

РОЛЬ ИННОВАЦИОННЫХ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ОПТИМИЗАЦИИ ЛУЧЕВОЙ ДИАГНОСТИКИ СТАЦИОНАРА (ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ ПАКС)

Камышанская И.Г.

С целью изучения роли ПАКС в оптимизации отдела лучевой диагностики Городской Мариинской больницы проанализировали диагностическую и экономическую эффективность ПАКС с учётом развития коммуникаций и использования пост-обработки цифровых рентгенограмм. Материалом исследования были: система ПАКС; рентгенограммы для оценки влияния постпроцессинга на диагностическую эффективность; анкеты опроса врачей-рентгенологов о применении ими способов постпроцессинга; результаты анализа запросов в рентгеновский и электронный архив для оценки времени получения снимка; расчёт затрат на расходные материалы для оценки экономической целесообразности ПАКС. Получены результаты: 1. Внедрение ПАКС и переход на цифровую рентгенодиагностику являются экономически выгодными для ЛПУ в виду годовой экономии средств на рентгеновской плёнке и химических реактивах (около 3,19 млн. рублей). 2. В условиях пятнадцатилетней перспективы оптимальная модификация ПАКС является прибыльным объектом вложения денег. 3. Время получения цифрового снимка из электронного архива в среднем на 28 минут короче времени доставки плёночной рентгенограммы из рентгеновского архива. 4. Пост-обработка изображений достоверно повышает точность диагностики. 5. Более чем в 70% случаев врачи-рентгенологи (83% из них) проводят пост-обработку цифровых рентгенограмм.

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», кафедра онкологии СПб ГБУЗ «Городская Мариинская больница» г. Санкт-Петербург, Россия

Ключевые слова: цифровая рентгенодиагностика, пост-обработка цифровых рентгенограмм, система архивирования и передачи изображений (ПАКС), радиологическая информационная система (РИС), экономическая и диагностическая эффективность.

Контактный автор: Камышанская И.Г. irinaka@mail.ru

Для цитирования: Камышанская И.Г. Роль инновационных цифровых технологий в оптимизации лучевой диагностики стационара (опыт внедрения ПАКС). REJR. 2016; 6 (3):88-105. DOI:10.21569/2222-7415-2016-6-3-88-105.

Статья получена: 07.08.2016

Статья принята: 21.08.2016

THE ROLE OF INNOVATIVE DIGITAL TECHNIQUES IN OPTIMIZATION OF HOSPITAL RADIOLOGY (EXPERIENCE OF PACS INTRODUCTION)

Kamyshanskaya I.G.

In order to study the role of Picture Archiving and Communications Systems (PACS) in optimization of the "City Mariinsky Hospital" radiology department, economic and diagnostic efficacy of PACS were analyzed taking into account the development of communications and the usage of image post-processing after the introduction into clinical practice of digital X-rays. The material of the study included: PACS system; radiographs to assess the impact of post-processing on the diagnostic efficacy; questionnaire survey of radiologists on the use of post-processing methods; Query analysis in X-ray and an electronic archive to estimate the time when the photo was taken, the comparative calculations of the costs for consumables to assess the economic feasibility of PACS. The following results: 1. The introduction of PACS and the transition to Digital X-ray are economically beneficial to

Department of Oncology, Saint-Petersburg University. City Mariinsky hospital. St. Petersburg, Russia.

health facilities meaning annual savings on the X-ray film and chemical reagents (about 3.19 million rubles). 2. In the context of the prospects for the optimal modification of fifteen PACS is a lucrative object of investment. 3. The time of the digital image receipt from electronic archive by an average of 28 minutes shorter than the time of delivery of the X-ray film from X-ray archive. 4. The image post-processing significantly improves the accuracy of diagnosis. 5. More than 70% of radiologists, physicians (83% of them) are performing post-processing of digital X-ray.

Keywords: digital X-ray, post-processing of digital X-ray, Picture Archiving and Communication System (PACS), Radiology Information System (RIS), Economic and diagnostic efficiency.).

Corresponding author: Kamyshanskaya I.G., irinaka@mail.ru

For citation: Kamyshanskaya I.G. The role of innovative digital techniques in optimization of hospital radiology (experience of PACS introduction). REJR. 2016; 6 (3):88-105. DOI:10.21569/2222-7415-2016-6-3-88-105.

Received: 07.08.2016

Accepted: 21.08.2016

В 1981 году в радиологии появилась первая экспериментальная модель системы, которая получила название PACS (Picture Archiving and Communication System – система архивирования и передачи изображений). Она была установлена в Университете штата Канзас, Канзас-Сити, в 1982 году [1, 2]. В России разработка PACS (ПАКС) началась несколько позднее. С 2006 года Научно-исследовательская производственная компания (НИПК) «Электрон», специализирующаяся на выпуске рентгенодиагностической техники, приступила к его практической разработке и внедрению в практику. На сегодняшний день она имеет несколько версий систем архивирования и передачи диагностических изображений по сети. В Мариинской больнице, с которой сотрудничает «Электрон», в течение 7 лет апробировались и внедрялись разные версии ПАКС-Электрон [3].

Главный вопрос, интересующий руководство каждого лечебно-профилактического учреждения (ЛПУ), заключается в оценке целесообразности установки ПАКС. Переход к работе с данной системой сопровождается рядом сложностей, таких как существенные финансовые затраты на её установку, подготовка отделения для работы с ПАКС и обучение персонала новому порядку работы [4].

В литературе активно обсуждаются три основных фактора, касающихся работы с ПАКС. К их числу относятся время доступа к архивным материалам, изменение точности диагностики за счёт применения методов пост-обработки и финансовые аспекты, связанные с экономией средств на рентгеновскую пленку, химикалии для проведения плёночных рентгенограмм и содержание рентгеновского архива [5, 6].

Можно предположить, что затраты времени на вызов изображений из электронного архива должны быть меньше в сравнении с доступом к аналоговым плёночным изображениям, которые могут находиться не только в рентгеновском архиве пленки, но и в других местах, либо вовсе утрачены и недоступны. Поэтому с учетом особенностей работы рентгеновского архива в конкретном ЛПУ, было интересно уточнить минимальное время получения снимка.

По мнению многих зарубежных авторов, пост-обработка цифровых диагностических изображений (постпроцессинг) является эффективным диагностическим инструментом [7, 8]. Однако производители программного обеспечения для работы с диагностическими изображениями могут реализовывать инструменты пост-процессинга различным образом. Было необходимо проанализировать диагностическую эффективность инструментов цифровой обработки снимков, включенных в программный пакет диагностических рабочих станций ЛПУ и являющихся частью исследуемой ПАКС.

Плёночные рентгеновские снимки могут быть выполнены в стандартном, мягком, жёстком или переэкспонированном режиме. В ходе анализа плёнки невозможно как-то повлиять на качество изображения. Параметры съёмки на плёнку подбираются в соответствии с задачей исследования, плотностью и конституцией пациента, но далеко не всегда обеспечивают оптимальное качество изображения зоны интереса. Нередко плёночные рентгенограммы получаются недостаточного диагностического качества, что требует повторной съёмки и облучения пациента.

Переход на цифровые технологии дал возможность рентгенологу творчески подходить

к обработке первоначально полученного рентгеновского снимка. Благодаря большому динамическому диапазону, заложенному в цифровом снимке, из одного можно получать три и более изображения, изменяя при постпроцессинге уровень и ширину окна, визуализируя при этом больший диапазон плотностей. Таким образом, из первичного снимка можно выделить мягкотканые структуры, плотные костные либо прозрачные ткани без выполнения дополнительных снимков. Так исключаются бракованные снимки, их дублирование за счёт неверной экспозиции и, как следствие, снижаются дозы облучения пациентов. Вместе с тем, методические аспекты анализа цифровых изображений, также как и практические рекомендации оптимизации снимков при исследовании различных анатомических областей, изучены недостаточно, при этом нешироко и не в полной мере используются врачами.

Финансовая выгода от установки ПАКС является наиболее обсуждаемым вопросом из всех вышеизложенных. Имеются неоднозначные данные, приводимые зарубежными коллегами [5, 6]. Поэтому хотелось провести собственную оценку рентабельности установки ПАКС на примере оборудования компании «Электрон» с учетом стоимости цифровых рентгеновских аппаратов, количества проводимых исследований, закупочной стоимости расходных материалов и установки ПАКС.

Таким образом, оценка влияния ПАКС на эффективность диагностической работы ЛПУ представляется весьма актуальной.

Цель исследования: изучить роль ПАКС в оптимизации работы отдела лучевой диагностики в целом и рентгеновского отделения Мариинской больницы в частности.

Задачи исследования:

1. Проанализировать этапы внедрения ПАКС в Мариинской больнице.
2. Изучить структуру ПАКС, её преимущества и недостатки.
3. Оценить возможности способов постобработки изображений, их вклад в эффективность рентгенодиагностики.
4. Рассчитать временные затраты на получение снимка из рентгеновского архива и из цифрового.
5. Оценить финансовую целесообразность установки ПАКС в ЛПУ.

Материалы и методы.

Исследование проводилось на базе тысячекоечного многопрофильного стационара скорой помощи – СПб ГБУЗ «Городской Мариинской больницы», расположенной в центре г. Санкт-Петербурга. В отдел лучевой диагностики больницы входят следующие отделения: рентгеновское, ультразвуковое, компьютерной и магнитно-резонансной томографии, радионуклид-

ная лаборатория и отделение рентгенохирургических методов диагностики и лечения. Больница оснащена современной техникой и включает: два МРТ, два КТ, два ангиографа, тридцать различных рентгеновских аппаратов, десятки ультразвуковых установок. В 2017 году закончится строительство нового корпуса, где будут функционировать дополнительно: один МРТ, два КТ, два ангиографа и два стационарных рентгеновских аппарата. Вся эта техника должна быть охвачена единой радиологической информационной сетью (РИС), ядром которой является ПАКС, позволяющая архивировать и передавать цифровые изображения. Предметом нашего изучения была существующая информационная система, проблемы на этапах её внедрения, полученные преимущества.

Эффективность ПАКС в диагностической работе оценивали на примере рентгеновского отделения по трём характеристикам:

1. Точность заключения по цифровым рентгеновским снимкам. Ожидали повышения точности диагностики за счёт применения инструментов пост-обработки изображения.

2. Время получения снимка из цифрового архива. Предполагали, что время получения снимка из сетевого архива ПАКС существенно превысит время запроса снимка из обычного рентгеновского архива.

3. Экономическая целесообразность ПАКС. Установка подобной системы требует существенных финансовых затрат, однако при ней исключаются содержание рентгеновского архива, расходы на закупку рентгеновской плёнки, материалов для фотопроцесса (фиксирующий раствор, проявитель). Сопоставили затраты больницы на ПАКС и без неё. Получили данные, за какое время окупятся расходы на ПАКС.

Для оценки влияния постпроцессинга на диагностическую точность были отобраны рентгеновские цифровые изображения, выполненные в приемном отделении больницы за одну случайно выбранную неделю. Контрольную группу составили те же цифровые изображения, только распечатанные на термопленку без предварительной пост-обработки. Таким образом, материалом этой части работы было 60 цифровых изображений, мониторных и плёночных, 30 диагностических процедур (исследований). Изображения были предложены для описания семи врачам-рентгенологам, работающим в рентгеновском отделении Мариинской больницы. С целью исключения ошибки эксперимента, связанной с ожиданием экспериментатора (experimenter expectancy bias), описывать изображения давали в ходе ежедневной работы, без обращения внимания специалиста на факт участия конкретных снимков в настоящем исследовании. Учитывали время, затраченное на анализ изображения, и текст диагно-

стического заключения. Каждый врач, участвующий в эксперименте, получал для анализа равное количество мониторинжных и плёночных цифровых изображений, т.е. фиксированную долю материала из группы исследования и контрольной группы. Исключались ситуации, когда один специалист оценивал как цифровое, так и распечатанное изображение одного и того же пациента. Врач-эксперт сравнивал цифровые изображения с врачебными заключениями по ним. Заключения, полученные к каждому мониторинговому и плёночному цифровому изображению, врач-эксперт сравнивал между собой и устанавливал, имеют ли они клинически важные отличия.

Для анализа использования врачами-рентгенологами способов постпроцессинга была создана анкета, в которой каждому рентгенологу надо было ответить на вопрос о частоте применения того или иного способа цифровой пост-обработки изображений, а также для чего, в каких случаях, в исследовании каких органов и систем он его применяет. Всего проанализировано 18 анкет. На вопросы отвечали рентгенологи с трудовым стажем до 5 лет – 10 чел (55%), с 6 до 10 лет – 3 чел (17%) и 5 чел (28%), работающие по специальности более 10 лет. Для анализа были взяты следующие элементы пост-обработки: негатив/позитив (инверсия), фильтры/оптимизация динамического диапазона, обострение контуров и их сглаживание, увеличение изображения/лупа, уровень и ширина окна плотностей, гамма коррекция.

Для оценки скорости доступа к цифровому снимку (изображению) из электронного архива и получения снимка из рентгеновского архива были сформированы две группы, материалом каждой из которых были снимки 10 случайных пациентов, находящихся на лечении в больнице. Проведён замер времени по 20 запросам, по 10 в каждый архив. Рассчитано среднее время получения аналогового (плёночного) снимка и цифрового изображения. В первую группу вошли плёночные рентгенограммы, которые хранились в рентгеновском архиве, расположенном в отдельном здании. Для получения нужного снимка надо было позвонить архивариусу в рентгеновский архив, узнать о наличии снимка. После этого надо было за ним сходить в рентгеновский архив. Вторую группу составили цифровые снимки, которые хранились в ПАКС-архиве. Все снимки по одному запрашивали из архивов, фиксируя время их получения. Для уточнения различий скорости получения данных из архива результаты измерений времени в каждой группе усредняли и рассчитывали доверительный интервал для 95,5% вероятности.

Для оценки экономической целесообразности установки ПАКС был использован мате-

риал годового отчета о работе рентгеновского отделения Мариинской больницы. В экономическом отделе больницы были запрошены и получены данные о ценах на 2013 год по расходным материалам, таким как рентгеновская пленка, фиксирующий раствор, проявитель, данные о средней заработной плате рентгеновского лаборанта, врача-рентгенолога, архивариуса, данные о стоимости оборудования ПАКС и просмотровых станций. Рассчитывали среднюю стоимость одного рентгеновского плёночного снимка, складывая стоимость пленки, фиксирующего раствора, проявителя, оплату труда лаборанта, врача-рентгенолога и архивариуса. Также рассчитали среднюю стоимость одного цифрового снимка, суммируя только оплату труда лаборанта и врача-рентгенолога. На основании количества исследований, проведенных за год, была рассчитана экономия средств.

Была также учтена стоимость ПАКС при работе различных модификаций рентгеновского оборудования. На основании вышеизложенных расчётов, был посчитан срок окупаемости каждой модификации, дана оценка ПАКС, как объекта инвестиций. Для этого использовали методы «Денежный поток» и «Чистая приведенная стоимость».

Материалом исследования явилась документация по ПАКС компаний «Электрон» и «Fuji Film». Были изучены руководства пользователей ПАКС, документы по эксплуатации программного обеспечения рентгеновских аппаратов, в том числе для постпроцессорной обработки снимков. Изучена архитектура обеих систем, их возможности и недостатки в работе.

Обработку полученных данных осуществляли в программе Microsoft Excel 2007 для Windows. Статистический анализ выполняли в программе Statistica 7 для Windows с использованием методов хи-квадрат Пирсона и теста Фишера. Для оценки статистической значимости использовали критерий $p < 0,05$, позволяющий более чем с 95% точностью оценить статистическую значимость полученных результатов.

Результаты и их обсуждения.

Этапы внедрения ПАКС и РИС в Мариинской больнице.

В Мариинской больнице в 2009 году была установлена для апробации вторая версия ПАКС компании «Электрон». К этому времени стационар уже был укомплектован достаточным количеством цифровых диагностических аппаратов.

Развитие цифровых технологий лучевой диагностики в Мариинской больнице началось с 2003 года, когда были установлены односпиральный рентгеновский компьютерный томограф «Somatom Emotion» «Siemens» (Германия) и первые модели отечественного цифрового телеуправляемого рентгеновского комплекса «КРТ» и

ангиографического аппарата «Анкор» «Электрон» (Россия). Благодаря этому оборудованию у рентгенологов появился первый опыт работы на цифровых диагностических рентгеновских установках. Персонал отработывал навыки постпроцессорной компьютерной обработки изображений, анализа снимков на мониторе компьютера, печати и хранения снимков.

Внедрение цифровых изображений в клиническую практику было не простым делом. Врачи, привыкшие рассматривать рентгеновскую плёнку на негатоскопе, поначалу, отказывались воспринимать изображения с монитора компьютера. Постепенное освоение цифрового рентгеновского оборудования и привыкание к восприятию их продуктов сопровождалось ежегодным увеличением доли цифровых и снижением плёночных снимков. В 2005 году больница получила второй ангиограф «Innova-3000» «GE» (США). В 2008 году начал эксплуатироваться магнитно-резонансного томограф «Avanto» «Siemens» (Германия) цифровой рентгеновский комплекс «КРТ-ОКО» и цифровой флюорограф «ФЦ» «Электрон» (Россия). В это время в стационаре компанией «Электрон» была организована первая локальная ПАКС, которая объединила в сеть два рентгеновских кабинета главного корпуса, кабинет МРТ, пять автоматизированных рабочих мест (АРМ) врача-рентгенолога и ПАКС-сервер. Было установлено фирменное программное обеспечение (ПО) врача, имеющее необходимые инструменты для работы с диагностическими изображениями разных модальностей.

В 2010 году Мариинская больница вместе с тремя медицинскими учреждениями города в рамках пилотного проекта по инициативе Комитета Здравоохранения и Медицинского Информационного Центра города Санкт-Петербурга (МИАЦ) объединилась в Единую Мультисервисную Телекоммуникационную Систему (ЕМТС) с целью создания в городе единой межклинической базы цифровых изображений отделений лучевой диагностики. В рамках этого пилотного проекта силами компании «Fuji Film» в больнице было установлено два CR-комплекса для цифровой рентгенографии на фотостимулируемых люминофорах и также пять АРМ лаборанта и врача-рентгенолога. Телекоммуникационной службой Смольного была проложена оптоволоконная сеть, которая должна была объединить четыре корпуса больницы с ЕМТС МИАЦ, заложив основы для более серьёзной по масштабу РИС больницы.

Хотя эта сеть не была реализована в полном объёме, тем не менее, с её помощью появилась возможность передавать диагностические изображения в удалённый архив ЕМТС МИАЦ с односрезового рентгеновского компьютерного томографа, магнитно-резонансного томографа

и рентгеновские снимки с двух CR-систем. Наряду с этим имела место возможность запрашивать и получать из архива ЕМТС МИАЦ снимки пациентов, выполненных как в Мариинской больнице, так и в других двенадцати медицинских учреждениях города. По сути это был прорыв в городском здравоохранении в направлении сетевой коммуникации, возможности передачи и архивирования радиологических изображений из различных учреждений мегаполиса.

Создание на базе больницы регионального сосудистого центра и оснащение его современным мультиспиральным 64-срезным компьютерным томографом «Definition AS» «Siemens» (Германия), а также участие больницы в городской программе модернизации привело в конце 2011 года к полной замене всего аналогового оборудования на цифровые установки. По программе модернизации здравоохранения больница приобрела пять диагностических просмотровых станций врача-рентгенолога, тринадцать просмотровых станций врач-клинициста и ПАКС-сервер. Таким образом, в 2011 году существовали две несвязанные между собой системы ПАКС. Была подготовлена основа для создания в больнице более полноценной, глобальной РИС.

С помощью компании «Витасофт» в 2013 году Мариинская больница стала одним из учреждений города, где внедрялся пилотный проект по организации госпитальной информационной системой (ГИС). Шли параллельные работы по внедрению ГИС и РИС в работу многопрофильного стационара скорой помощи с перспективой их интеграции.

В 2014 году в больнице появилась новая версия ПАКС с неполноценной РИС, которую установили представители компании «Fuji Film». Наконец-то были подключены в сеть все пять корпусов больницы, все аппараты отдела лучевой диагностики, кроме ультразвуковых установок. Помимо 13 клинических и 5 диагностических просмотровых станций в сеть также были подключены рентгеновский архив и два актовых конференц-зала для демонстрации цифровых изображений.

В процессе эксплуатации ПАКС и РИС столкнулись со следующими трудностями:

- периодически отключались просмотровые станции из-за сбоев в сети;
- не все модальности цифрового оборудования могли отправлять изображения в ПАКС-сервер из-за несовпадения стандарта Digital Imaging and Communication in Medicine (DICOM – цифровые изображения и их передача в медицине), поэтому не были подключены в сеть РИС;
- не смогли добиться полной интеграция ГИС и РИС;

– не получилось отработать систему единой записи и регистрации пациентов на радиологические диагностические исследования;

– не смогли решить проблему с присвоением единого индивидуального номера пациента (ID), удовлетворяющего все модальности лучевой диагностики и ГИС;

– не смогли решить кадровые и финансовые проблемы со специалистами IT, фирмами сопровождения ПАКС и РИС.

Несмотря на вышеперечисленные трудности организации и внедрения ПАКС и РИС в структуры стационара, первые шаги по работе с информационными системами сразу же показали их главенствующую роль в повышении эффективности лучевой диагностики. Врач-рентгенолог теперь может войти в ПАКС с любого компьютера, подключенного в РИС, запросить и получить снимки пациента, выполненные на разных диагностических аппаратах (модальностях) в разное время. Можно быстро провести контроль над динамикой патологических изменений органов и косвенно судить об эффективности лечения пациента. ПАКС-архив стал активно использоваться в ежедневной врачебной, диагностической, педагогической, научной и учебной работе не только сотрудниками больницы, но и преподавателями кафедр, студентами, врачами интернами, ординаторами. Теперь цифровые изображения разных модальностей можно легко выбрать из ПАКС-архива и вставить в презентации к научно-практическим конференциям и т.д..

Врачи-рентгенологи получили следующие положительные аспекты в своей работе: быстрый поиск пациента по базе данных; уменьшение процента потери снимков; повышение точности диагностики; удобство проведения консультаций и конференций; экономия рабочего времени.

Общепользовательские хирургические и терапевтические утренние конференции, как и конференции рентгеновского отделения Мариинской больницы, теперь проходят с демонстрацией на большом экране рентгеновских, МРТ и КТ изображений, запрашивая их с ПАКС-сервера. Стало возможным проводить сопоставления снимков разных диагностических модальностей, оценивать в динамике лучевые симптомы заболеваний, выявлять неточности и ошибки заключений врачей-диагностов, таким образом, повышая качество диагностики и профессиональный уровень врачей.

В 2015 году в больнице заработали обе системы РИС и ГИС, выполнена частичная их интеграция, пришло осознание необходимости полноценного использования в работе больницы ПАКС и РИС. Теперь врач-рентгенолог мог получить с терминала ГИС черновик протокола

диагностического исследования. Черновик протокола формировался автоматически при печати клиницистом направления на исследование пациента. Полученный черновик врач-рентгенолог превращал в законченное заключение по диагностическому исследованию и сохранял его в папке готовых заключений. Можно было выбрать из системы РИС снимки пациента и сохранить их в папке ГИС. Обмен информацией между системами РИС и ГИС позволял клиницисту получить протокол описания снимка на своём рабочем месте на терминале ГИС, а также увидеть снимки пациента на просмотровой станции. Это дало возможность клиницистам не печатать и не сканировать протоколы диагностических исследований, а копировать их при создании медицинских документов, в том числе выписного эпикриза. Используя просмотровую станцию, врач-клиницист мог запросить и получить снимки пациента, сопоставить протокол-описание с диагностическим изображением, самостоятельно находить лучевые симптомы патологических процессов. Используя на практике электронный архив изображений, протоколы диагностических исследований, электронную историю болезни в условиях больницы скорой помощи врач-клиницист теперь может более оперативно и эффективно работать, т.е. назначать лечение, отслеживать динамику заболевания, создавать выписной эпикриз. Чёткая работа информационных сетей в стационаре может ускорить документооборот различных отчётов, запросов и ответов на них.

Таким образом, внедрение в работу отдела лучевой диагностики ПАКС и РИС привело к постепенному освоению их возможностей, использованию их преимуществ, повысив эффективность диагностики как рентгеновского отделения, так и стационара в целом. ПАКС в работе врачей-клиницистов способствовала повышению уровня знаний о возможностях и недостатках отдельных методов лучевой диагностики, помогала в выборе алгоритма лучевого обследования пациентов. В перспективе дальнейшее внедрение и эксплуатация ПАКС и РИС наряду с экономией больницы расходов на твердые копии изображений должно продолжить наращивать эффективность лучевой диагностики, дать отдачу в виде повышения уровня образования и врачебных знаний не только среди лучевых диагностов, но и других специалистов стационара.

Архитектура ПАКС компании «Электрон».

После общения с заместителем технического директора по IT проектам компании «Электрон» и изучения сопроводительной к системе документации мы смогли представить в общем виде схему работы модели ПАКС компании «Электрон» (Рис. 1). Как можно заметить,

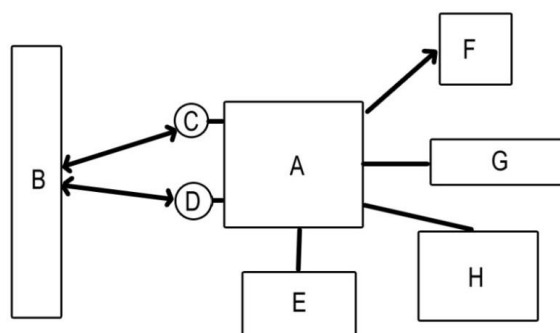


Рис.1.

Рис. 1. Архитектура PACS "Электрон" в общем виде.

A – ПАКС-сервер.

B – Рабочая станция, с которой изображение поступает на сервер и на которую приходит изображение после запроса.

C – Модуль обработки запроса стандарта HL7. Подобный модуль не является обязательным для ПАКС, однако его наличие придает большую гибкость системе.

D – Модуль обработки запросов стандарта DICOM. Этот модуль, в свою очередь, является обязательным атрибутом ПАКС.

E – Web-архив для доступа с клинической (ознакомительной) диагностической станции.

F – База данных для хранения сопроводительных к диагностическим снимкам данных, PostgreSQL.

G – Блок хранения диагностических снимков. Хранение их в базе данных в теории возможно, но на практике не применяется, раздельное хранение дает преимущество в скорости работы системы.

H – Блок управления. Технический блок в процессе работы непосредственно не используется.

здесь представлена современная централизованная модель архитектуры ПАКС. Её конструкция, согласно литературным данным [9, 10, 11], соответствует современным тенденциям в развитии ПАКС.

В централизованной системе есть только 2 элемента: ядро (A, E, F, G, H) и рабочая станция (B). Механизм работы системы с подобной архитектурой выглядит следующим образом: запрос из РИС по протоколу стандарта HL7 (Health Level 7 – седьмой уровень для здравоохранения) приходит в ПАКС, процесс обработки и сбора информации более не происходит в брокере, этот функционал выполняет ПАКС. Происходит проверка данных, определяется модальность (modality), готовится информация к дальнейшей передаче. После того, как получены диагностические снимки, весь материал передается по протоколу DICOM на PACS DICOM сервер, изображения сохраняются в архиве, копии изображений сохраняются в специальных разделах. В этой модели нет посредников, через которых передается информация. Это существенно ускоряет процесс работы системы и обеспечивает удобство её использова-

ния врачами лучевой диагностики. Здесь нет технической необходимости группировать рабочие станции по назначению, как это было в распространённой устаревшей модели. Еще одно существенное преимущество централизованной системы ПАКС – в возможности её расширения, причем как с точки зрения добавления нового диагностического оборудования и новых модальностей, так и с точки зрения увеличения объема работ [11, 12].

Оценка влияния постпроцессинга на диагностическую точность результатов анализа рентгенологических снимков.

Из 30 заключений по снимкам с постобработкой 12 (40%) имели важные клинические отличия от соответствующих им заключений по снимкам без обработки. В то же время из 30 заключений к снимкам без постобработки 5 (17%) имели важные клинические отличия от соответствующих им заключений по снимкам с обработкой. Эти данные представлены в таблице 1 и на рисунках 2 и 3.

Было доказано, что применение способов постпроцессинга статистически значимо влияет на диагностическую точность рентгенологиче-

Таблица 1. Результаты оценки эффективности применения способов постпроцессинга.

	Заключение по снимку с применением способов пост-обработки	Заклучение по снимку без применения способов пост-обработки
Более информативно	12	5
Менее или так же информативно	18	25
Всего	30	30

ских заключений в работе врача-рентгенолога. Цифровая обработка рентгеновских снимков позволяла с большей долей вероятности находить детали изображения, новые патологические симптомы, следовательно, точнее выносить заключение по обработанному снимку в сравнении со снимком без пост-обработки. Статистическая значимость полученных результатов была подтверждена с помощью метода хи-

квадрат Пирсона (p=0,045). Доверительная вероятность составила 95,5%.

Анализ использования способов постпроцессорной обработки в повседневной работе врачей-рентгенологов.



Рис.2.

Рис. 2.

Доля случаев, когда в ходе просмотра снимков с применением пост-обработки были выявлены клинически значимые расхождения в заключениях по снимкам без неё.

квадрат Пирсона (p=0,045).

Интересен тот факт, что времени для заключения по цифровому снимку с пост-обработкой было затрачено в среднем 4,6±0,447 минут, что достоверно больше по сравнению со временем для заключения по необработанному снимку, которое составило в среднем 3,1± 0,368 минут (Рис. 4).

На рисунке 4 видно, что интервалы времени, затраченного для анализа рентгенограмм и их описание, не пересекаются. Это говорит о том, что представленные различия достоверно

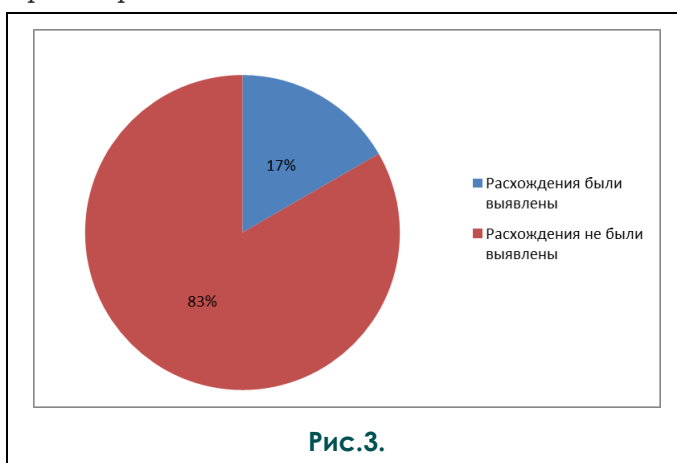


Рис.3.

Рис. 3.

Доля случаев, когда в ходе просмотра снимков без применения пост-обработки были выявлены клинически значимые расхождения в заключениях по снимкам с применением пост-обработки.

По результатам анкетирования касательно частоты анализа рентгенограмм в негативе либо позитиве 17 чел (95%) рентгенологов ответили, что предпочитают негативное изображение позитивному. В таком виде плотные структуры (кости) выглядят белыми, а прозрачные (лёгкие) – чёрными. Рассматривает любые рентгенограммы и в позитиве, и в негативе лишь 1 чел (5%). Предпочитает рассматривать только негативное изображение, не применяя инверсию, также 1 (5%) врач. Используют в работе то и другое изображение при патологии скелета – 1 чел (5%), при заболеваниях мочеполовой системы – 2 чел (11%), в сложных диагностических случаях – 3 чел (17%), только при патологии лёгких – 3 чел (17%). Семь врачей (39%) используют негатив и позитив обязательно при патологии лёгких, скелета, живота. Позитивное изображение органов грудной полости делает лёгочную ткань яркой, а кости и плотные патологические очаги – тёмными. На светлом фоне хорошо контрастируются плотные элементы, дифференцируются переломы рёбер. Двум

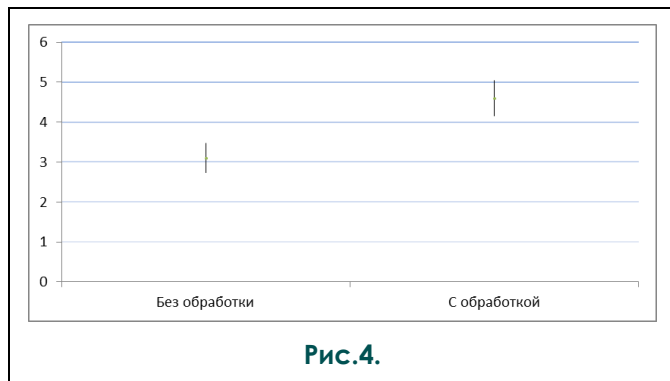


Рис. 4.

Сравнение затрат времени (в минутах) на формирование заключения по рентгенограммам с пост-обработкой и без неё.

рентгенологам легче находить в позитиве камни в почках и мочеточниках.

Фильтрация с помощью математических алгоритмов позволяет избавиться изображение от помех, нечёткостей, шума, вызванных как самим пациентом, так и техникой, токами в электрических цепях. Обостряет контуры команда Sharpen, делая границы тканей более чёткими. Команда Sharpen, так называемый «псевдорельеф» может быть разной величины: 2x2, 3x3, 5x5. Команда Smooth делает изображение плавным, убирает зернистость, т.е. шумы. Она также различается по величине: 3x3, 5x5. Специальные фильтры Fon Equalize Low, Middle, High, а также программа оптимизации динамического диапазона значительно улучшают визуальную картину для пользователя. Нативное цифровое изображение 16 битное и имеет 65 536 оттенков серого. Монитор компьютера может отразить 256 оттенков серого, а глаз человека различает лишь 60-80 оттенков. Программы фильтров и оптимизации динамического диапазона настраивают изображение для глаза пользователя. В программе компании «Электрон» заложены два последовательных алгоритма фильтрации. Первичное изображение обрабатывается одним из предложенных фильтров, например, Sharpen 3x3, а затем полученное изображение вновь обрабатывается, но уже другим фильтром, например, Smooth. Комбинацию фильтров подбирает врач-рентгенолог. Компания производитель предлагает использовать последовательность фильтрации: сначала Sharpen для повышения чёткости изображения, а затем – Smooth для устранения зернистости фрагментов снимка. В последних программах пост-обработки, вместо специальных фильтров Fon Equalize, предлагается оптимизация динамического диапазона с коэффициентом от 1 до 15 единиц. В своей практической работе 3 (17%) рентгенолога больницы вообще не используют фильтрацию, остальные же 15 (83%) используют ту или иную фильтрацию. По частоте

использования 3 (17%) врача всегда применяют фильтрацию, 5 (28%) – не более, чем в 50% случаев, а 10 (55%) рентгенологов включают фильтрацию при анализе снимков в 50-100% случаев. Чаще всего предпочитают High Fon Equalize. В зависимости от исследуемого органа 4 (22%) врача используют все величины фильтрации (Low, Middle, High). Шесть (33%) врачей всегда включает фильтрацию при патологических изменениях в лёгких либо в скелете.

По мнению 4 (22%) рентгенологов обострение контуров структур изображения (Sharpen) необходимо только для лучшей визуализации патологии в лёгких и в костях, 6 (34%) врачей применяют обострение в 100% случаев, какой бы орган или область человека не обследовали. В повседневной работе обострение контуров использует 11 (61%) врачей с частотой более 50%. Важно не забывать, что опция Sharpen придаёт выразительность лёгочному рисунку, что можно принять за пневмофиброз. В связи с этим, первоначально рентгенограмму органов грудной клетки надо рассматривать без обострения контуров.

Команда сглаживания (Smooth) на практике используется реже обострения, лишь в 10% случаев. Только 6 (33%) врачей применяют данную опцию. Из них одна половина сглаживает изображение после обострения контуров (Smooth 3x3), другая – перед печатью снимка, чтобы убрать зерна шума. Команду Smooth 5x5 никто не использует. Не видят вообще никакого смысла в сглаживании 12 (67%) врачей, поэтому и не реализуют положительные возможности данной обработки.

Часть снимка, выделенная в окно области просмотра, можно масштабировать, т.е. увеличивать или уменьшать изображение, делая более или менее подробными фрагменты снимка. Это требуется чаще всего при анализе каких-либо мелких деталей изображения. Просмотр снимка в разном масштабе определяется коэффициентами. По данным анкетирования 16 (89%) рентгенологов используют увеличение при анализе цифровых рентгенограмм. Этой опцией пользуются 12 (67%) врачей не чаще, чем в 50% случаев. Только 4 (22%) врача применяют увеличение в 70% случаев и чаще. Увеличивает фрагмент снимка в 2 раза 6 (33%) врачей, в 1,5 раза – 4 (22%). Применяют увеличение 10 (56%) рентгенологов при анализе рентгенограмм с патологией лёгких и скелета. Лупа позволяет детализировать изображение, оценивать структуру и контуры очагов, рисунок и интенсивность мелких деталей объекта, определять целостность костной ткани. Лишь некоторые рентгенологи масштабируют изображение для рассмотрения лёгочного рисунка и бронхиального дерева для уточнения «свежести» патологического очага в лёгком.



Рис.5,а.



Рис.5,б.

Рис. 5. Цифровые флюорограммы.

Синдром очаговой диссеминации в верхне-средних отделах лёгких.

а - до обработки.

б - после фильтрации Fon Equalize High и обострения Sharpen 2x2.

В цифровой рентгенографии имеется понятие шкалы плотностей камеры с диапазоном от 0 до 4095 условных единиц. Регулировка изображения осуществляется врачом при изменении ширины окна шкалы плотностей (window width) и уровня окна шкалы (window level). Окно шкалы определяется верхней и нижней границей видимого диапазона плотностей камеры аппарата. Уровень окна – это среднее значение между верхней и нижней границей шкалы плотностей в выбранном окне. Верхняя граница плотности показывает максимальное его значение и отражается на негативном изображении белым цветом. Нижняя граница плотностей, соответственно, имеет минимальное значение и проявляется чёрным цветом. Изменяя уровень окна и его ширину, мы можем на снимке более детально рассмотреть ткани определённой, выбранной плотности. Известны такие понятия, как лёгочное, средостенное, костное окно, которые указывают на возможность рассмотрения деталей этих структур в данных окнах. Гамма коррекция или регулировка яркости снимка, определяется коэффициентом γ , который можно изменять в диапазоне от 0,2 до 5. Применительно к негативным снимкам, при перемещении движка вправо по шкале гамма коррекции, коэффициент γ увеличивается, а изображении становится более тёмным. При перемещении движка влево, коэффициент γ уменьшается, а изображении становится более светлым. Чаше данную опцию используют вместе с окном/уровнем. По результатам нашего исследования этими приёмами обработки снимков пользуются почти все рентгенологи – 17 (95%). В 100% случаев изменяют уровень и ширину окна вместе с гамма коррекцией 7 (39%) врачей, в 50% случаев и более используют данную опцию в работе 12 (68%) рентгенологов. Только

при визуализации лёгких применяют данную опцию 3 (17%) врача, столько же – при анализе рентгенограмм скелета. Пользуются данной обработкой изображения 5 (28%) врачей при анализе рентгенограмм лёгких, костей и живота. Эта опция помогает рентгенологам рассмотреть единичные патологические очаги и диссеминацию в лёгких, лёгочный рисунок, пневмоторакс. По мнению рентгенологов больницы, при исследовании костно-суставной системы лучше дифференцируются переломы, при исследовании живота – кишечные уровни жидкости и малый пневмоперитонеум.

На вопрос о частоте использования пост-обработки в диагностической работе 15 (83%) рентгенологов ответили, что применяют её в 70 и более процентах случаев. Только 3 (17%) врача не утруждают себя обработкой изображений, используя её менее чем в 30% случаев. Это оказались молодые врачи с небольшим стажем работы. Рентгенологи со стажем более 10 лет (28%) применяют пост-обработку в 100% случаев. Пример пост-обработки рентгеновских снимков представлен на рисунке 5.

На рентгенограмме, выполненной на ФЦ (Рис. 5), нативное изображение (А) гораздо менее информативно. После оптимизации снимка (Б) стали чётче дифференцироваться патологические очаги, их количество, структура, контуры, размеры. Стал лучше визуализироваться лёгочный рисунок, проявились сквозь сердце и живот тени позвоночника и рёбер. Если сравнивать разрешающую способность детекторов различных цифровых рентгеновских установок и программ препроцессинга (машинной обработки), то можно с уверенностью сказать, что снимки, полученные на аппарате с плоской панелью – АРЦ-Электрон (Рис. 6 а), гораздо лучше по качеству, чем на ФЦ (Рис. 5 а). Применив к

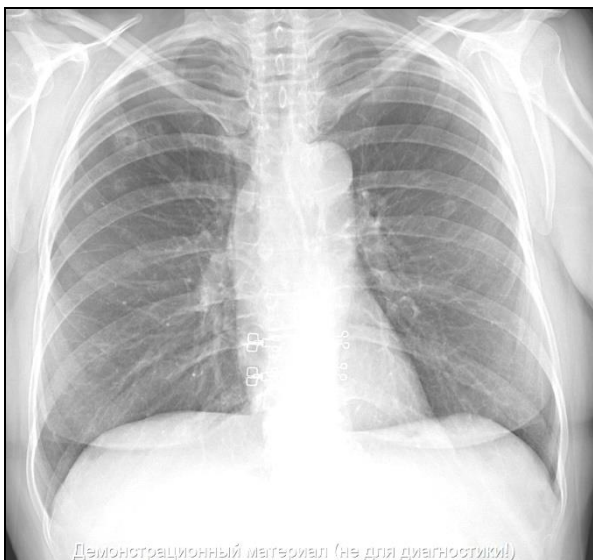


Рис. 6,а.

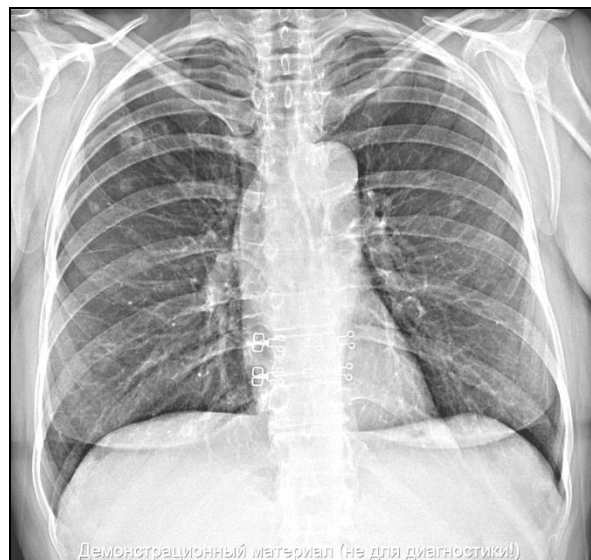


Рис. 6,б.

Рис. 6.

Контрольные рентгенограммы, выполненные на цифровом аппарате АРЦ с плоской панелью детектора.

а - без цифровой обработки.

б - с оптимизацией динамического диапазона в 6 ед.

цифровому нативному снимку (Рис. 6 а) пост-обработку в виде только оптимизации динамического диапазона в 6 единиц, можно получить снимок значительно лучшего качества (Рис. 6 б).

Таким образом, исследования показали, что большинство врачей-рентгенологов (83%) Мариинской больницы используют те или иные способы пост-обработки цифровых рентгеновских изображений более чем в 70 % случаев. Отдельные опции обработки изображений применяются чаще всего (до 90-100%), например, окно/уровень, увеличение, обострение контуров. Редко (33%) используется сглаживание контуров, вероятно, из-за непонимания сути этой опции. Незаслуженно мало применяется оптимизация динамического диапазона. Эта опция появилась недавно на современных цифровых аппаратах компании «Электрон» (Россия). На более поздних моделях рентгеновских аппаратов эта опция была представлена специальной фильтрацией – Fon Equalize. На наш взгляд, это самый лучший инструмент пост-обработки. Он не встречался нам на практике ни в одной просмотровой программе, либо системе, в том числе ПАКС компании «Fuji Film». Понимание возможностей всех способов пост-обработки рентгеновских снимков и их активное внедрение в практику рентгенологов позволят улучшить качество рентгенодиагностики.

Оценка времени получения снимка из архивов.

Проведен замер промежутка времени от

запроса искомого снимков до момента их получения из определённого архива. Рассчитаны средние значения времени. По результатам измерений была составлена таблица 2.

Опыт поиска рентгенограмм показывал, что от 10% до 30% случаев пленочные снимки по разным причинам отсутствуют в архиве. Часть рентгенограмм выдаются на руки пациентам по запросу лечебных учреждений, часть снимков передаются для приобщения к судебным делам по запросу следственных органов и прокуратуры, а потом, несмотря на существующие правила, не возвращаются обратно в архив. Оседают снимки в шкафах и на столах лечащих врачей в ординаторских, в личных архивах учёных и педагогов, используются при написании статей и в учебном процессе со студентами. Некоторые снимки теряются при внутрибольничных переводах пациентов в реанимацию и обратно в отделение, могут быть оставлены на консилиумах и утренних конференциях.

С целью определения среднего времени получения рентгеновского снимка, имеющегося в рентгеновском архиве и в цифровом, выполнен хронометраж. Результаты проведенных исследований представлены в таблице 2.

Как видно из приведенной табл. 2, время ожидания снимка, запрошенного в рентгеновском архиве, составило в среднем $30,2 \pm 3,05$ мин, время ожидания снимка из электронного архива – $2,6 \pm 1,05$ мин. Доверительная вероятность различий – 95,5%.

Затраченное время получения цифрового

Таблица 2. Сравнение затрат времени, требуемого для получения снимка, запрошенного в архивах разных типов.

Номер исследования	Время получения плёночного снимка из рентгеновского архива (мин)	Время получения цифрового снимка из электронного архива (мин)
1	29	2
2	37	2
3	35	3
4	20	3
5	27	4
6	28	2
7	32	3
8	35	2
9	29	3
10	30	2
Средние значения	30,2±3,05	2,6±1,05

снимка в 11,6 раз короче времени получения из архива плёночного снимка (Рис. 7).

Таким образом, как показали проведенные исследования, экономия времени при запросе снимка из электронного архива, составила почти 28 минут.

Оценка экономической целесообразности ПАКС.

Была рассчитана экономическая эффективность установки ПАКС в ЛПУ. Для этого были использованы данные годового отчета по работе рентгеновского отделения больницы, по закупочным ценам расходных материалов (рентгеновская пленка, фиксирующий раствор, проявитель), о заработной плате рентгенолаборанта, врача-рентгенолога и архивариуса, информация о стоимости компонентов системы и оборудования, необходимого для установки ПАКС.

Помимо самой ПАКС в анализ была вклю-



Рис. 7.

Рис. 7. Время ожидания снимка, запрошенного в архивах.

чена стоимость устройств для получения цифровых снимков, потому как для работы с ПАКС нужны именно цифровые снимки, и эта часть расходов составляет от 30% до 70% стоимости модификации отделения лучевой диагностики. На самом деле эта часть расходов может составлять даже большие суммы, однако модификации именно с таким вкладом в общую стоимость будут рассмотрены далее. Этот анализ не учитывал функциональных преимуществ и новых возможностей, которые привносятся ПАКС. Был проведен финансовый анализ перехода рентгеновского отделения на работу с цифровыми изображениями и установку ПАКС. Была дана оценка проекту, как объекту инвестиций. За пример исходного взято рентгеновское отделение Мариинской больницы г. Санкт-Петербурга, которое включает 6 рентгеновских кабинетов, один из которых находится в приемном покое и работает круглосуточно. В каждом из кабинетов можно получить плёночные и цифровые рентгеновские снимки.

Для проведения расчетов были рассмотрены 2 вида модификаций рентгеновского отделения, различия в которых касались исключительно способов получения цифрового диагностического изображения:

1) Минимальная модификация подразумевала закупку для каждого из 6 кабинетов набора стандартных многоразовых кассет на основе фотостимулируемых люминофоров, дигитайзеров – сканеры для считывания и оцифровки информации с кассет, а также диагностические просмотрные станции, подключенные к той же сети, что и ПАКС-сервер. Для получения изображений используются те же рентгеновские аппараты, что и для плёночных снимков. Положительные стороны такой модификации заключаются в существенно более низкой стоимо-

сти, по сравнению с ниже следующим вариантом. Недостатками является возможность получать изображения только для модальности CR (Computed radiography) без возможности получить DR (Digital Radiography) изображения.

2)Оптимальная модификация подразумевала закупку 2 цифровых рентгеновских аппаратов, позволяющих получить изображение модальности DR, и четырех комплектов CR кассет и сканеров. Модификация, которая проведена в Мариинской больнице, несколько отличается в выгодную сторону, и её можно назвать максимальной. В 6 рентгеновских кабинетах в настоящее время имеется 4 аппарата КРТ, 2 АРЦ, 1ФЦ и 2 CR системы.

Помимо описанной выше аппаратуры, каждая модификация включает закупку и установку ПАКС-сервера, прокладку радиологической сети между рабочими станциями и ПАКС-сервером, закупку диагностических рабочих станций и программного обеспечения для них. В наш расчет не была включена закупка клинических просмотровых станций, потому как их функцию могут выполнять любые компьютеры с выходом в интернет. Это традиционная тенденция, которая получила свое распространение в последние годы. Благодаря ей удается существенно снизить стоимость устанавливаемой системы без потери в качестве работы.

Стоимость минимальной модификации составило: ПАКС-сервер – 2,5 млн. руб., проводка сети – 0,5 млн. руб., 6 комплектов CR кассет и сканеров – 6х0,5 млн. руб., 6 диагностических рабочих станций – 6х0,65 млн. руб. = 9,9 млн. руб.

Стоимость оптимальной модификации: ПАКС-сервер – 2,5 млн. руб., проводка сети 0,5 млн. руб., 4 комплекта CR кассет и сканеров – 4х0,5 млн. руб., 6 диагностических рабочих станций – 6х0,65 млн. руб., 2 аппарата КРТ и АРЦ-ОКО – 22,5 млн. руб. = 30,4 млн. руб.

Известно, что при наличии уже установленной аппаратуры, стоимость одного аналогового исследования выше стоимости одного цифрового исследования за счёт расходов на пленку, фиксирующий раствор, проявитель и затраты на работу архивариуса. Для проведения экономического анализа необходимо было провести расчёт реальной стоимости аналогового и цифрового исследований.

Мы считали целесообразным рассчитать отдельно стоимость одного рентгеновского снимка, полученного в рентгеновском кабинете приемного покоя, и в остальных рентгеновских кабинетах в силу следующих причин:

- 1.Рентгеновский кабинет в приемном покое работает 24 часа в сутки.
- 2.В кабинете приемного покоя работают одновременно 2 лаборанта, в то время как в

остальных кабинетах – по одному.

3.Смена фиксирующих растворов и проявителя для приемного покоя производится в два раза чаще (1 раз в неделю), по сравнению с другими рентгеновскими кабинетами.

После того, как рассчитали стоимость одного снимка в рентгеновском кабинете приемного покоя и в других рентгеновских кабинетах, эти стоимости были усреднены в соответствии с их удельным весом в общем количестве исследований для получения средней стоимости одного рентгеновского снимка.

Определение стоимости одной единицы пленки:

Единица пленки разного размера имела стоимость: пленка 18х43 см – 16,5 руб., 24х30 см – 10,5 руб., 30х40 см – 27,5 руб., 35х35 см – 25,3 руб. Из годового отчета было известно, что выполнено 83093 снимков, из них на пленке размером 18х43 см – 16730, на пленке 24х30 см – 5480, на пленке размером 30х40 см и 35х35 см – в равном количестве по 330442.

Стоимость одной единицы пленки рассчитывали:

$$(16,5 \times 16730 + 10,5 \times 5480 + 27,5 \times 30441,5 + 25,3 \times 30442) / 83093 = 23,36$$

Таким образом, стоимость одной единицы пленки была 23,36 руб.

Расчет стоимости одного рентгеновского снимка в приемном отделении:

Стоимость аналогового снимка определяли по совокупности факторов:

- 1)Стоимость пленки (из годового отчета было выполнено 37058 снимков, как определено выше, по 23,36 руб.);
- 2)Фиксирующий раствор (менялся 1 раз в неделю, 52 раза за год, стоимость одной замены составляла 2200 руб.);
- 3)Проявитель (менялся 1 раз в неделю, 52 раза за год, стоимость одной замены 4290 руб.);
- 4)Оплата труда двух лаборантов (стоимость суточной смены одного лаборанта – 2182 руб. из расчета оклада 12000 руб.);
- 5)Оплата услуг одного врача-рентгенолога (стоимость суточной смены одного врача – 2909 рублей из расчета оклада 16000 руб.);
- 6)Оплата услуг архивариуса (стоимость хранения одного снимка – 0,8 руб. из расчета зарплаты архивариуса 8000 руб.).

За год в рентгеновском кабинете приемного отделения было выполнено 37058 снимков. Расчёт денежных средств на эти исследования был следующим: $23,36 \times 37058 + 52 \times 2200 + 52 \times 4290 + 2 \times 365 \times 2182 + 365 \times 2909 + 0,814 \times 37058 = 3\,887\,964,9$

Стоимость одного аналогового снимка в приемном покое рассчитывали: $3\,887\,964,9 / 37058 = 104,9$.

Таким образом, стоимость одного аналогового снимка в приемном отделении –104,9

руб.

Стоимость цифрового снимка определяли совокупностью факторов:

1) Оплата услуг двух лаборантов (стоимость суточной смены одного лаборанта – 2182 рубля из расчета оклада 12000 руб.);

2) Оплата услуг одного врача-рентгенолога (стоимость суточной смены одного врача – 2909 рублей из расчета оклада 16000 руб.).

Стоимость одного цифрового снимка в приемном – покое рассчитывали: $(2 \times 365 \times 2182 + 365 \times 2909) / 37058 = 71,63$.

Таким образом, стоимость одного цифрового снимка в приемном отделении – 71,63 руб.

Расчёт стоимости одного пленочного снимка в рентгеновских кабинетах на отделении помимо приёмного покоя:

Стоимость аналогового снимка определяли совокупностью факторов:

1) Стоимость пленки (из годового отчета известно, что было использовано 46035 единиц пленки стоимостью, как определено выше, 23,36 руб. за единицу);

2) Фиксирующий раствор (меняется 1 раз в две недели, 26 раз за год, стоимость одной замены – 2200 рублей);

3) Проявитель (меняется 1 раз в 2 недели, 26 раз за год, стоимость одной замены – 4290 рублей);

4) Оплата услуг одного рентгенолаборанта в кабинете (оклад 12000 руб.);

5) Оплата услуг одного врача-рентгенолога в кабинете (оклад 16000 руб.);

6) Оплата услуг архивариуса (стоимость хранения одного снимка 0,8 руб.).

За год в пяти рентгеновских кабинетах рентгеновского отделения было получено 46035 снимков, стоимостью равной: $23,36 \times 46035 + 26 \times 2200 + 26 \times 4290 + 5 \times 12 \times 12000 + 5 \times 12 \times 16000 + 0,814 \times 46035 = 3\ 636\ 550,1$

Стоимость одного аналогового снимка в рентгеновском кабинете рассчитывали: $3\ 636\ 550,1 / 46035 = 79$.

Таким образом, стоимость одного аналогового снимка в рентгеновских кабинетах отделения – 79 руб.

Расчёт стоимости цифрового снимка.

Стоимость цифрового снимка в рентгеновском кабинете включала следующее:

1) Оплата услуг одного лаборанта в кабинете (оклад 12000 руб.);

2) Оплата услуг одного врача-рентгенолога в кабинете (оклад 16000 руб.).

Стоимость одного цифрового снимка в рентгеновском кабинете рассчитывали: $(5 \times 12 \times 12000 + 5 \times 12 \times 16000) / 46035 = 36,5$.

Таким образом, стоимость одного цифрового снимка в рентгеновском кабинете – 36,5 руб.

Расчет средней стоимости одного рентге-

новского снимка.

Общее количество снимков за год – 83093, в приемном отделении выполнено 37058 (44,6% от всех), стоимость аналогового снимка – 104,9 руб., стоимость цифрового – 71,63 руб.. В других рентгеновских кабинетах отделения выполнено 46035 снимков (55,4% от всех), стоимость аналогового снимка – 79 руб., стоимость цифрового – 36,5 руб. Среднюю стоимость аналогового снимка рассчитывали: $0,446 \times 104,9 + 0,554 \times 79 = 90,56$. Среднюю стоимость цифрового снимка рассчитывали: $0,446 \times 71,63 + 0,554 \times 36,5 = 52,17$.

Таким образом, средняя стоимость аналогового снимка составила 90,56 руб., а цифрового – 52,17 руб.

Годовой объем экономии при использовании цифровой аппаратуры по сравнению с использованием аналоговой рассчитывали: $83093 \times (90,56 - 52,17) = 3\ 189\ 940,3$

Таким образом, годовой объем экономии при использовании цифровой аппаратуры по сравнению с использованием аналоговой составил 3,19 млн. руб.

Методы анализа финансовой выгоды от внедрения ПАКС в ЛПУ

Существуют несколько методов, которые могут оказаться полезными для анализа экономической выгоды установки в ЛПУ ПАКС. Часто оказывается полезным провести расчёт, используя сразу несколько методов, потому как каждый из них дает оценку с разных точек зрения.

Денежный поток (Cash flow) – большая часть методов анализа инвестиций основывается на этом понятии. Под cash flow понимают отчет о движении денежных средств, в котором отражаются все имеющие место притоки денежных средств и их расходования. Представим денежный поток в виде таблицы 3 и 4 для двух рассматриваемых модификаций с предполагаемым сроком работы 15 лет.

Срок окупаемости (Payback period) – это время, необходимое для того, чтобы объект инвестиций окупился. Также является переломным моментом, после которого объект начинает приносить прибыль. Для минимальной модификации срок окупаемости составит 3,1 года, для оптимальной модификации – 9,5 лет (табл. 3 и 4).

Чистая приведенная стоимость (Net present value - NPV) – это сумма дисконтированных (приведенных к определенному моменту времени, в этом частном случае, сегодняшнему дню) значений денежного потока. Показатель NPV представляет собой разницу между всеми денежными притоками и оттоками, приведенными к текущему моменту времени (моменту оценки инвестиционного проекта). Он показывает величину денежных средств, кото-

Таблица 3. Денежный поток в миллионах рублей. Минимальная модификация. Предполагаемый срок работы системы 15 лет.

Год	Отток денежных средств	Приток денежных средств	Годовой денежный поток	Итоговый денежный поток
0	9,9		-9,9	-9,9
1		3,19	3,19	-6,71
2		3,19	3,19	-3,52
3		3,19	3,19	-0,33
4		3,19	3,19	2,86
5		3,19	3,19	6,05
6		3,19	3,19	9,24
7		3,19	3,19	12,43
8		3,19	3,19	15,62
9		3,19	3,19	18,81
10		3,19	3,19	22
11		3,19	3,19	25,19
12		3,19	3,19	28,38
13		3,19	3,19	31,57
14		3,19	3,19	34,76
15		3,19	3,19	37,95

рую инвестор ожидает получить от проекта после того, как денежные притоки окупят его первоначальные инвестиционные затраты и периодические денежные оттоки, связанные с осуществлением проекта. NPV можно представить как общую прибыль инвестора.

NPV является наиболее широко используемым и уважаемым методом оценки инвестиционной привлекательности проекта [13].

Большим достоинством метода является то, что он показывает, какой из объектов инвестиций способен принести больше денежных средств в долговременной перспективе. Для этого анализа за альтернативный вариант инвестиций была взята средняя ставка банковского процента по депозитам в рублях, которая составляла 10% годовых. Общее правило для трактовки значения NPV:

1) NPV > 0 – оцениваемый объект инвестиций более привлекательный в сравнении с сравниваемым;

2) NPV < 0 – оцениваемый объект инвестиций менее привлекательный в сравнении с сравниваемым;

3) NPV = 0 – оцениваемый объект инвестиций принесет точно такую же прибыль, как альтернативный вариант;

4) Важно подчеркнуть, что речь в данном подсчете будет идти исключительно о финансовой оценке целесообразности внедрения ПАКС и не учитывает другие преимущества;

5) NPV рассчитывается следующим образом:

где t – количество периодов, в данном случае за период взят один год, расчет приве-

ден к 15 годам, CF – величина денежного потока в каждый отдельный год, i – ставка дисконтирования, IC – инвестиционный капитал.

Ставка дисконтирования – это процентная ставка, используемая для перерасчета будущих потоков доходов в единую величину текущей стоимости. Она складывается из разных факторов, которые определяются индивидуально для каждого инвестиционного проекта. В данном частном случае ставка дисконтирования будет включать в себя ставку альтернативного вложения в банковский депозит (10%) и среднюю годовую инфляцию за последние три года (6,2%).

Таким образом, рассчитанная величина NPV станет ответом на вопрос: «куда сегодня более выгодно вложить деньги на 15 лет при учёте ежегодной инфляции на протяжении всего времени в 6,2%: в банковский депозит под 10% годовых или в ПАКС?».

NPV для минимальной модификации: $-9,9 + 3,19/1,162 + 3,19/1,35 + 3,19/1,569 + 3,19/1,823 + 3,19/2,119 + 3,19/2,46 + 3,19/2,86 + 3,19/3,324 + 3,19/3,862 + 3,19/4,49 + 3,19/5,215 + 3,19/6,06 + 3,19/7,042 + 3,19/8,183 + 3,19/9,501 = 7,724$

NPV для оптимальной модификации: $-30,4 + 3,19/1,162 + 3,19/1,35 + 3,19/1,569 + 3,19/1,823 + 3,19/2,119 + 3,19/2,46 + 3,19/2,86 + 3,19/3,324 + 3,19/3,862 + 3,19/4,49 + 3,19/5,215 + 3,19/6,06 + 3,19/7,042 + 3,19/8,183 + 3,19/9,501 = -12,776$

Таким образом, NPV для минимальной модификации и оптимальной модификации составляет 7,724 и -12,776, соответственно.

NPV для оптимальной модификации имеет

Таблица 4. Денежный поток в миллионах рублей. Оптимальная модификация. Предполагаемый срок работы системы 15 лет.

Год	Отток денежных средств	Приток денежных средств	Годовой денежный поток	Итоговый денежный поток
0	30,4		-30,4	-30,4
1		3,19	3,19	-27,21
2		3,19	3,19	-24,02
3		3,19	3,19	-20,83
4		3,19	3,19	-17,64
5		3,19	3,19	-14,45
6		3,19	3,19	-11,26
7		3,19	3,19	-8,07
8		3,19	3,19	-4,88
9		3,19	3,19	-1,69
10		3,19	3,19	1,5
11		3,19	3,19	4,69
12		3,19	3,19	7,88
13		3,19	3,19	11,07
14		3,19	3,19	14,26
15		3,19	3,19	17,45

отрицательные значения, что говорит о том, что размещение денег в банковском депозите является более выгодно с точки зрения получения финансовой прибыли через 15 лет, в то время как NPV для минимальной модификации имеет положительное значение, что говорит о том, что выгоднее инвестировать в ПАКС, нежели положить сумму денег в банковскую ячейку на 15 лет. Таким образом, установка ПАКС является более выгодным проектом.

Рассчитаем NPV только с учетом инфляции (6,2%). Это даст ответ на вопрос: «является ли инвестиция в ПАКС прибыльной, с учетом ежегодной инфляции в 6,2% или нет?».

NPV для минимальной модификации: $-9,9 + 30,581 = 20,681$

NPV для оптимальной модификации: $-30,4 + 30,581 = 0,181$

Эти числа говорят о том, что как минимальная, так и оптимальная модификация ПАКС – это вложения, которые принесут инвестору прибыль, с учетом того, что суммы приведены к сегодняшнему дню. Однако, как было рассчитано выше, NPV для оптимальной модификации в сравнении с банковским депозитом дал отрицательное значение, что говорит о том, что поместив сумму, требуемую для установки оптимальной модификации, можно получить большую финансовую прибыль через 15 лет, чем установив оптимальную модификацию в ЛПУ. Этот анализ не учитывал иных преимуществ ПАКС. В литературе встречаются разные отношения к ПАКС. У одних авторов установка ПАКС показывает себя как инструмент, позволяющий существенно снизить стоимость исследова-

ований и получить финансовую выгоду [6]. У других зарубежных коллег установка ПАКС не привела к существенной финансовой экономии [5]. Наиболее весомыми для этого анализа факторами стали стоимость ПАКС и количество исследований, проводимых в ЛПУ за год.

Таким образом, подсчитано, что внедрение минимальной модификации ПАКС окупается через 3,1 года, оптимальная модификация окупится через 9,5 лет. Расчёт чистой приведенной стоимости (NPV – наиболее авторитетного проекта как объекта для инвестиций) показал, что минимальная модификация ПАКС является существенно более выгодным объектом для инвестиций, чем размещение суммы денег в виде банковского депозита под 10% годовой прибыли (NPV = 7,724). Это при условии срока работы 15 лет и инфляции в 6,5% в год. В то же время установка оптимальной модификации ПАКС является менее привлекательным объектом инвестиций, чем размещение суммы денег в виде банковского депозита под 10% годовой прибыли с учетом инфляции 6,5% в год (NPV = -12,776). Подсчет NPV при учете только ежегодной инфляции показал, что установка ПАКС – есть эффективное вложение средств, а NPV для минимальной и оптимальной модификации равны 20,681 и 0,181, соответственно.

Важно отметить, что выбор модификации ПАКС не должен строиться только на результатах экономического анализа. Должны быть подробно проанализированы и учтены преимущества модальности DR перед CR, пропускная способность рентгеновского аппарата, возможность проведения качественных рентгенодиа-

гностических исследований, доза облучения пациента.

Выводы:

1. В Мариинской больнице имеется несколько локальных и один глобальный ПАКС, функционирование которых на сегодняшний день частично разобщено. Помимо многих трудностей эксплуатации ПАКС и РИС, не достигнуто полной интеграции с ГИС.

2. Внедрение ПАКС и переход на цифровую рентгенодиагностику являются для ЛПУ экономически выгодными инвестициями в виду годовой экономии средств на рентгеновской плёнке, химических реактивах, содержании рентгеновского архива (около 3,19 млн. руб.).

3. В условиях пятнадцатилетней перспективы оптимальная модификация ПАКС является прибыльным объектом вложения денег.

4. Время получения цифрового снимка из электронного архива в среднем на 28 минут короче времени доставки плёночной рентгенограммы из привычного рентгеновского архива.

5. Пост-обработка изображений удлиняет время анализа рентгеновского снимка всего лишь на 1,5 минуты, но при этом достоверно повышает точность диагностики.

6. Большинство рентгенологов (83%) рентгеновского отделения Мариинской больницы используют пост-обработку рентгенограмм более чем в 70% случаев, применяя часто (до 90-100%) окно/уровень, увеличение, обострение изображения, незаслуженно редко – оптимизацию динамического диапазона.

Благодарности.

Автор данной работы благодарит персонал рентгеновского отделения Мариинской больницы, зав. отделом лучевой диагностики профессора Черемисина Владимира Максимовича, главного врача больницы Емельянова Олега Владиславовича за поддержку и помощь в выполнении исследования. Автор также благодарит врача-рентгенолога Дроздова Александра Андреевича за расчёты экономической целесообразности ПАКС.

Источник финансирования и конфликт интересов.

Авторы данной статьи подтвердили отсутствие финансовой поддержки исследования и конфликта интересов, о которых необходимо сообщить.

Список литературы:

1.Каперусов С.Ю., Коштрицкий А.В. История развития PACS-систем (система архивирования, передачи и визуализации медицинских диагностических изображений). Радиология-практика. 2008; 5: 46-58.
 2.Duerinckx A.-J, Pisa E.J. Filmless Picture Archiving and Communication System (PACS) in Diagnostic Radiology. Reprinted in IEEE Computer Society Proceedings of PACS'82, order № 388. Proc SPIE. 1982; 318; 9-18.
 3.Камышанская И.Г., Элинсон А.М., Еникеева Д.А., Федотов А.В. PACS Компании «Электрон». Специальный выпуск 4 Алматинского радиологического форума «Инновационные диагностические технологии в медицине», г. Алматы, 14 июня, 2012г. Здоровье и болезнь. 2012; 3 (105): 35-45.
 4.Емельянов О.В., Щеглова Л.В., Черемисин В.М., Камышанская И.Г. Настоящее и будущее радиологической информационной системы Мариинской больницы. г. Санкт-Петербург, 6 сентября, 2012г. Труды Мариинской больницы. 2012; 9: 8-9.
 5.Don MacDonald, Doreen Neville Evaluating the Implementation of Picture Archiving and Communication Systems in Newfoundland and Labrador a Cost Benefit Analysis. Journal Digit Imaging. 2010; 23 (6): 721-731.
 6.Malathi Srinivasan, MD; Eric Liederman, MD, MPH; Noralyn Baluyot, MHA, Robert Jacoby, MD Saving Time, Improving Satis-

References:

1.Kaperusov S.Yu., Kostritskiy A.V. History of PACS-systems (archiving system, transmission and visualization of medical diagnostic images) Russian journal. 2008; 5: 46-58 (in Russian).
 2.Duerinckx A.-J, Pisa E.J. Filmless Picture Archiving and Communication System (PACS) in Diagnostic Radiology. Reprinted in IEEE Computer Society Proceedings of PACS '82, order № 388.

faction: The Impact of a Digital Radiology System on Physician Workflow and System Efficiency. Journal of Healthcare Information Management. 2019; 20 (2).
 7.H. Page McAdams, MD, Ehsan Samei, PhD, James Dobbins, PhD, Georgia D. Tourassi, PhD ,Carl E. Ravin, MD Recent Advances in Chest Radiography. Radiology. 2006; 241: 663-683.
 8.Koenker R. Improved conspicuity of key X-ray findings using advanced post-processing techniques: clinical examples. Medicamundi. 2005; 49 (3).
 9.Onken M.A. DICOM architecture for clinicians and researchers. Stud Health Technol Inform. 2012; 180: 539-543.
 10.Taira R.K., Stewart B.K., Sinha U. PACS database architecture and design. Comput Med Imaging Graph. 1991; 15 (3): 171-176.
 11.Tellis W.M., Andriole K.P. Finding the optimal picture archiving and communication system (PACS) architecture: a comparison of three PACS designs. Journal Digit Imaging. 2001; 14 (2): 72-76.
 12.Keith J. Dreyer, Amit Mehta, and James H. Thrall PACS: a Guide to the Digital Revolution. Springer. 2006; 579.
 13.Виленский П.А., Лившиц В.Н., Смоляк С.А. Оценка эффективности инвестиционных проектов. Теория и практика. Москва, Дело, 2008. 1104 с.

Proc SPIE. 1982; 318; 9-18.
 3.Kamyshanskaya I.G., Elinson A.M., Enikeeva D.A., Fedotov A.V. PACS Company «Electron». Special Issue 4 Radiological Almaty Forum "Innovative Diagnostic Technologies in Medicine". Health and Disease. 2012; 3 (105): 35-45 (in Kazakh).
 4.Emel'yanov O.V., Shcheglova L.V., Cheremisin V.M., Ka-

- myshanskaya I.G. *The present and future radiological Mariinsky Hospital Information System. Proceedings of the Mariinsky Hospital.* 2012; 9: 8-9 (in Russian).
5. MacDonald D., Neville D. *Evaluating the Implementation of Picture Archiving and Communication Systems in Newfoundland and Labrador a Cost Benefit Analysis. Journal Digit Imaging.* 2010; 23 (6): 721-731.
6. Srinivasan M., Liederman E., Baluyot N., Jacoby R. *Saving Time, Improving Satisfaction: The Impact of a Digital Radiology System on Physician Workflow and System Efficiency. Journal of Healthcare Information Management.* 2019; 20 (2).
7. McAdams H. P., Samei E., Dobbins J., Tourassi G.D., Ravin C.E. *Recent Advances in Chest Radiography. Radiology.* 2006; 241: 663-683.
8. Koenker R. *Improved conspicuity of key X-ray findings using advanced post-processing techniques: clinical examples. Medicamundi.* 2005; 49 (3).
9. Onken M.A. *DICOM architecture for clinicians and researchers. Stud Health Technol Inform.* 2012; 180: 539-543.
10. Taira R.K., Stewart B.K., Sinha U. *PACS database architecture and design. Comput Med Imaging Graph.* 1991; 15 (3): 171-176.
11. Tellis W.M., Andriole K.P. *Finding the optimal picture archiving and communication system (PACS) architecture: a comparison of three PACS designs. Journal Digit Imaging.* 2001; 14 (2): 72-76.
12. Keith J. Dreyer, Amit Mehta, and James H. Thrall *PACS: a Guide to the Digital Revolution. Springer.* 2006; 579.
13. Vilenskiy P.L., Livshits V.N., Smolyak S.A. *Evaluating the effectiveness of investment projects. Theory and practice. Moscow, Delo, 2008. 1104 p. (in Russian).*