

ОТЗЫВ

председателя диссертационного совета на диссертацию Камышанской Ирины Григорьевны на тему «Инновационные технологии в цифровой рентгенодиагностике для решения проблемы распознавания заболеваний и повреждений в многопрофильном стационаре», представленную на соискание ученой степени доктора медицинских наук по научной специальности 3.1.25. Лучевая диагностика.

Актуальность темы диссертации и её связь с практическими проблемами здравоохранения

Начало нынешнего столетия ознаменовалось бурным развитием цифрового рентгеноаппаратостроения, переходом на беспленочные технологии в рентгенологии, тем самым инициировав новые решения в традиционной рентгенодиагностике. Переход к цифровизации рентгенологии был непрост и открыл ряд проблем и вопросов. К ним можно отнести: особенности методик исследований ряда органов и систем на технически новом цифровом оборудовании; организацию труда врачей-рентгенологов и рентгенолаборантов в условиях формирования локальных и глобальных радиологических сетей, с коммуникацией и передачей изображений для анализа и консультаций, с постобработкой цифровых снимков. Появилась необходимость в научном изучении путей снижения лучевой нагрузки на пациентов и медицинский персонал при проведении цифровых рентгенодиагностических процедур. Такие цифровые новации, как постпроцессинг рентгенограмм и нейросетевой компьютерный анализ изображений, требовали не только разработки и внедрения, но и анализа точности диагностики. Перечисленные проблемы имели высокую актуальность, поскольку от их решения зависели эффективность рентгенодиагностики и успех от проводимого лечения пациентов. Этим объясняется высокая ценность диссертационного исследования, как для отдельно взятого пациента, в алгоритме которого присутствует цифровая традиционная рентгенодиагностика, так и для практического здравоохранения в целом.

Научная новизна исследования, полученных результатов, выводов и практических рекомендаций, сформулированных в диссертации

Данное диссертационное исследование является обобщающим научным трудом, посвященным основным проблемам цифровизации традиционной рентгенодиагностики. Автором впервые глубоко изучены возможности цифровых технологий в рентгенодиагностике, при этом разработаны и внедрены в клиническую практику инновационные низкодозовые методики проведения цифровых рентгеновских

исследований груди и живота. Найдены пути снижения дозы облучения пациента за счёт разработки низкодозовых протоколов рентгенографического и рентгеноскопического исследований при решении конкретных клинических задач, с обязательным использованием расширенного пакета постобработки изображений. Впервые проведены клинические испытания и внедрён в работу рентгеновского отделения новый метод постобработки с использованием цветового контрастирования, основанного на квантовой гипотезе цветового зрения. Доказана конкретная экономическая выгода внедрения к клиническую практику цифровой рентгенографии на основе проведенного хронометража рентгеновских процедур, сопоставления временных и материальных затрат на рентгеновскую диагностику. Впервые проанализированы материальные и временные затраты многопрофильного стационара на использование ПАКС в работе рентгенодиагностического отделения. Диссертант инициировала и приняла участие в разработке отечественной компьютерной программы нейросетевого анализа плоскостопия по рентгенограммам стоп, которая при клинических испытаниях в Мариинской больнице показала свою высокую диагностическую эффективность.

Значение полученных результатов для теории и практики

Диссертационное исследование Камышанской И.Г. является ярким сплавом науки и практики. Большинство задач, поставленных в диссертационной работе, определились в процессе эксплуатации новой цифровой рентгеновской техники. Автором диссертации продемонстрированы оптимизированные по дозе методики цифровой рентгенографии и линейной томографии органов грудной клетки (ОГК). Особое место уделено протоколам проведения низкодозовых методик контрастного исследования пищевода, желудка, толстой кишки, как для стандартного их обследования, так и при определённых заболеваниях – дивертикулах пищевода, перфорации стенки желудочно-кишечного тракта (ЖКТ). Определены и сопоставлены дозы облучения пациентов при цифровых и аналоговых рентгеновских процедурах, а также дозы, полученные при разных физико-технических параметрах проведения цифрового рентгенологического исследования ОГК и ЖКТ с контрастированием. Впервые получены коэффициенты перехода, необходимые для современных расчётов эффективной дозы рентгеноскопических процедур ЖКТ, что очень важно и актуально для решения задач радиационного контроля и радиационной безопасности населения. Предложенные автором оптимизированные протоколы проведения рентгеновских исследований отдельных органов, не только способствуют снижению доз облучения пациента, но и не понижают диагностического качества изображений. Это подтверждено применением методик оценки качества снимков в группе

экспериментальных исследований на антропоморфных фантомах при подборе оптимальных параметров проведения цифровой рентгенографии и линейной томографии ОГК. Оказалось, возможным снижение доз пациентов при рентгеноскопическом контрастном исследовании ЖКТ путём подбора оптимального количества сеансов рентгеноскопий и рентгенографий органов в определённых проекциях, с минимальной скоростью (частотой) просвечивания (кадров в секунду). Теоретическое и научно-обоснованное устранение отсеивающего раstra в рентгенографии с использованием виртуальных растров и рациональной постобработки, на практике доказало снижение доз облучения без потери качества снимка. Автором проанализированы возможности и частота использования компьютерного программного обеспечения для анализа и постобработки цифровых рентгеновских снимков, в результате чего разработаны рекомендации по алгоритму применения элементов постобработки рентгеновских изображений. Важно отметить, что диссертант является соавтором патента на изобретение РФ № 2718481 от 29.06.2019 «Способ контрастирования рентгенограмм цветом», а также соавтором базы данных РФ № 2020621045 «База данных продольного плоскостопия второй степени» (FLATFOOT2), свидетельство о государственной регистрации которой получено 18.05.2020 года.

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов

Степень достоверности научных положений, выводов и практических рекомендаций определяется большим объемом обследованных пациентов, сопоставлением протоколов рентгенологических исследований с результатами других инструментальных и лабораторных методов, а также с эффективностью лечения.

Автором выполнен полноценный анализ фактического материала, сделаны логичные и исчерпывающие выводы. Основные положения, выносимые на защиту, полностью отражают суть проведенной работы. Выводы и практические рекомендации сформулированы в соответствии с задачами исследований.

Основные результаты исследования были доложены и обсуждались на российских и зарубежных научно-практических конференциях: «Невском радиологическом форуме»; Евразийском радиологическом форуме в городах Астана (Нур-Султан), Алма-Ата, Ташкент, на телефорумах по цифровой медицине в Сколково и Санкт-Петербурге. По методикам цифрового рентгеновского исследования желудочно-кишечного тракта сделаны доклады на заседаниях городских ассоциаций рентгенологов в городах: Сыктывкар, Вологда, Нижний Новгород, Сочи, Псков, Архангельск, Казань, Бишкек, Караганда, Нур-Султан. Всего проведено около 60 докладов по различным аспектам

диссертационного исследования. Подготовлены учебно-методические пособия с практическими рекомендациями по методикам проведения контрастного рентгенологического исследования пищевода, желудка, толстой кишки на рентгеновском телеуправляемом комплексе «КРТ», по цифровой линейной томографии и рентгенографии ОГК на цифровом аппарате «АРЦ». Разработаны рекомендации по постобработке цифровых изображений при заболеваниях и повреждениях костно-суставной, пищеварительной и дыхательной систем. Оценены потенциальные возможности цветового контрастирования (кодирования) цифровых рентгенограмм и искусственного интеллекта в рентгенодиагностике.

По материалам диссертации опубликовано более 100 работ, из них 30 статей в научных специализированных журналах, из которых 13 рекомендованы ВАК Министерства образования и науки РФ, 17 представлены в базах данных Web of Science и Scopus.

Оценка структуры и содержания работы

Диссертация Камышанской Ирины Григорьевны изложена на 491 страницах машинописного текста и состоит из введения, 7 глав, включающих обзор литературы, материал и методы исследования и 5 глав собственно результатов исследования, а также заключения, выводов, практических рекомендаций, списка сокращений и списка литературы. Работа иллюстрирована 179 рисунками, в основном рентгенограммами, содержит 88 таблиц и 32 формулы. Список литературы включает 481 источник (282 отечественных и 199 зарубежных).

Во введении освещена актуальность исследуемой темы, сформулированы цель и задачи диссертационной работы. Задачи исследования соответствуют поставленной цели. Научная новизна, практическая значимость, положения, выносимые на защиту, апробации и внедрения результатов научной работы обосновано отражены в диссертации и в полной мере соответствуют требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени доктора медицинских наук.

Первая глава представляет собой обзор литературы по тематике исследования и отражает современное состояние проблемы. В ходе подготовки обзора литературы соискателем проведен глубокий и полноценный анализ существующих русско- и англоязычных публикаций по теме исследования. Это позволило автору определить существующую проблему в традиционной рентгенодиагностике, связанную с внедрением разнообразных цифровых технологий, диагностическая эффективность которых была недостаточно изучена, а сами технологии мало использовались, например постпроцессинг

рентгенограмм. В конце обзора литературы автор делает заключение, где отражает актуальность поставленной цели и приоритетных задач диссертационного исследования.

Вторая глава посвящена описанию материалов и методов исследования. В ней подробно изложены методологии исследования согласно поставленным задачам и способам их решения. Вначале дана общая характеристика материалу и методам. Для удобства изложения и восприятия весь материал диссертационного исследования в данной главе разделён на 5 частей согласно поставленным задачам исследования.

Материал исследования обширный и разнообразный. Так в диссертационной работе были использованы рентгеновские исследования 6899 пациентов, из которых 870 выполнены рентгеновские исследования органов грудной клетки, 2785 – контрастное исследование желудочно-кишечного тракта, 2592 – рентгенография стоп в боковой проекции с нагрузкой. Выполнено 381 цифровое рентгеновское исследование фантома грудной клетки, из которых 312 составляли цифровые рентгенограммы и 69 – цифровые линейные томограммы. На нескольких рентгеновских аппаратах произведено 120 цифровых рентгенограмм разных тест-объектов. Для цветового контрастирования было использовано 167 чёрно-белых рентгеновских снимков, получив из них 5802 цветных изображения, представленных в негативе и позитиве, в 4-х вариантах цветовой насыщенности (25,50,75,100%) и 7 вариантах цветовых гамм. Проанализированы результаты двух вариантов анкетирования по вопросам возможностей традиционной постпроцессорной обработки и цветового контрастирования в рентгенодиагностике, проведенного среди 45 врачей-рентгенологов. В машинном обучении и тестировании разрабатываемой искусственной нейронной сети для оценки продольного плоскостопия было использовано 5184 рентгенограмм стоп в боковой проекции. Диссертантом изучен опыт апробации четырёх систем ПАКС, которые сменяли друг друга в Мариинской больнице на протяжении 10 лет: «Электрон» (Россия) 2009г., «Synapse» (Япония) 2010г., «Esaote» (Италия) 2014г., «Архимед» (Россия) 2018г. Для расчёта и анализа материальных затрат на проведение плёночных и цифровых рентгенограмм были использованы годовые отчёты работы рентгеновского отделения городской Мариинской больницы за десятилетний период с 2010 года, акцентируя внимание и сопоставляя данные 2010, 2012 и 2018 годов.

Из методов исследования использовали рентгенографию, рентгеноскопию, цифровую линейную томографию, методы цветового контрастирования и нейросетевого анализа рентгеновских изображений, методы статистического анализа и др., что позволило получить достоверные результаты и научно-обоснованные выводы.

Глава третья, посвящена планово-экономическим аспектам, связанным с переходом от аналоговой к цифровой рентгенодиагностике. В данной главе дана сравнительная оценка расчётов материальных и временных затрат на плёночные и цифровые рентгеновские снимки. Впервые был выполнен анализ материальных затрат на проведение всех плёночных и цифровых рентгенограмм за отчётный период и затрат на один снимок. Для этого предложено использовать авторские не сложные формулы расчёта. Проведен всесторонний анализ рабочего времени, затраченного на выполнение отдельных рентгеновских процедур. В результате хронометража аналоговых и цифровых рентгенологических исследований были получены данные, которые сопоставлены между собой и с временем на рентгеновскую процедуру, указанную в приказе № 132. Оказалось, что цифровые рентгеновские исследования по материальным затратам экономически более выгодны. Время на проведение сравниваемых рентгеновских процедур было практически одинаковым и не превышало величин. Этому способствовали временные затраты на цифровую постобработку снимков, печать протокола исследования на компьютере, ведения двойного документооборота из-за неполноценной РИС. Вместе с тем, выигрыш цифровых рентгеновских исследований кроется в надёжном их хранении в электронных архивах, в передаче снимков для телеконсультаций и телеконференций, в возможности повышения качества изображений и эффективности диагностики.

Четвертая глава посвящена вопросу анализа уровней облучения пациентов при проведении цифровых и аналоговых рентгеновских исследованиях и разработке референтных диагностических уровней (РДУ). В начале данной главы представлено теоретическое обоснование возможного снижения доз облучения на современном цифровом рентгеновском оборудовании. Диссертант проанализировала современное состояние рентгенотехники в России, что частично представлено в обзоре литературы, и дала в четвертой главе короткий аналитический обзор потенциальных технических возможностей снижения облучения пациента путем рационального построения и использования каждого из функциональных узлов цифрового рентгенодиагностического комплекса. Фирмам-производителям рентгеновского оборудования эта информация полезна и важна для создания безопасной рентгеновской техники, особая конструкция которой может снизить дозу облучения пациента не менее чем в 10 раз. Далее в главе дан анализ сопоставления доз пациентов при проведении рентгенографии органов грудной клетки, как наиболее частой рентгеновской методики. Исследования проводились на базе многопрофильной Мариинской больницы, где в период осуществления государственной программы модернизации медицины имелись, как отечественные аналоговые, так и цифровые рентгеновские установки. Данная исследовательская работа была направлена на

разработку РДУ и выполнялась совместно с НИИРГ имени проф. П. В. Рамзаева (Санкт-Петербург) и Агентством радиационной защиты (SSI) Швеции. В результате проведенных исследований был получен первый срез данных о дозах пациентов при рентгенографии ОГК на разных аналоговых и одном цифровом аппаратах. Оказалось, что эффективная доза облучения на цифровом рентгеновском оборудовании в 3,5 раз меньше. Продолжение данного исследования позволило решить ряд задач по разработки системы РДУ на регионарном уровне Санкт-Петербурга. В результате исследования автор приходит к выводу, что для внедрения в отечественную практику оптимизации радиационной защиты пациента с помощью РДУ наиболее пригодны дозиметрические характеристики – произведение дозы на площадь (ПДП) и эффективная доза (ЭД). Предложена основная дозиметрическая характеристика для установления РДУ – эффективная доза, рассчитанная на основе измерений радиационного выхода рентгеновского аппарата. Новый подход к понятию «стандартного пациента» для определения уровней облучения также был подробно представлен в данной главе. Для стандартного пациента автором предложено использовать комбинацию из индекса массы тела и толщины области исследования (например, грудной клетки) при возрасте не выше 45 лет.

Пятая глава полностью посвящена оптимизации доз пациентов при рентгеновском исследовании органов грудной клетки и содержат данные собственных экспериментальных исследований соискателя, выполненных на антропоморфных фантомах груди. Одна часть данного исследования выполнялась совместно с НИИРГ имени проф. П. В. Рамзаева (Санкт-Петербург), другая часть – по заданию компании НИПК «Электрон». Автором описаны результаты снижения доз облучения путем устранения отсеивающего раstra при цифровой рентгенографии ОГК, путём выбора оптимальных физико-технических параметров проведения цифрового рентгеновского исследования ОГК, как при традиционной рентгенографии, так и при линейной томографии (ЛТ). В результате работы были предложены оптимизированные низкодозовые протоколы рентгенологического исследования ОГК. В низкодозовой цифровой ЛТ разработанные протоколы учитывали конституцию пациента. Важным результатом данной части исследования является впервые выполненный расчёт коэффициентов перехода от ПДП к ЭД для цифровой линейной томографии ОГК. Заканчивается пятая глава результатами разработки методики оценки качества цифровой рентгенограммы ОГК путем экспериментального исследования качества рентгенограмм фантома грудной клетки, выполненных при разных режимах съёмки.

В шестой главе приведены результаты разработки инновационных низкодозовых методик цифрового рентгенологического исследования ЖКТ с использованием контрастных веществ. Диссертант убедительно показала, что исследование ЖКТ должно учитывать конструктивные особенности цифровой телеуправляемой рентгенодиагностической техники, отличной от подобной аналоговой аппаратуры для проведения рентгеноскопии. В работе представлены методические аспекты цифрового рентгенологического исследования ЖКТ с контрастированием для диагностики конкретных патологических состояний – перфорации полого органа и дивертикулах пищевода, а также для стандартного рентгеноскопического исследования с контрастом верхнего отдела ЖКТ и толстой кишки (ирригоскопии). Результаты внедрения данных методик демонстрируют возможность получения максимальной диагностической информации при минимальной лучевой нагрузке. Впервые рассчитаны и предложены для применения коэффициенты перехода от ПДП к ЭФ для цифрового рентгенологического исследования верхнего отдела ЖКТ и толстой кишки с использованием контрастных веществ. Доказано, что на дозы облучения при данных исследованиях влияет время проведения исследования, скорость импульсной рентгеноскопии и геометрия облучения.

Седьмая глава посвящена новым горизонтам, которые открывает цифровизация рентгеновской диагностики. В частности, автор анализирует опыт внедрения различных информационных систем ПАКС и их роль в работе многопрофильного стационара. Диссертант показывает этапы внедрения ПАКС за 10-летний период на примере городской больницы, где в течение времени сменялось аналоговое рентгеновское оборудование на цифровое, появлялись современные модальности лучевой диагностики, менялись производители ПАКС. По результатам исследования автор указывает на новые возможности и преимущества, связанные с использованием ПАКС в стационаре. Это в первую очередь повышение эффективности диагностики благодаря применению постпроцессинга. Диссертант обосновывает рентабельность покупки информационной системы на примере экономических расчётов. В седьмой главе также представлен анализ использования традиционной постобработки и нового метода цветового контрастирования (ЦК), разработанного совместно с НИПК «Электрон». Данный метод уже сейчас внедрён в работу рентгеновских кабинетов некоторых медицинских учреждений, а также в программное обеспечение для постобработки цифровых изображений рентгеновского оборудования, выпускаемого компанией «Электрон». По результатам исследования даны рекомендации по алгоритму использованию элементов постобработки цифровых рентгенограмм, а также показаны диагностические возможности ЦК. К новым цифровым технологиям, которые проникли в медицину, относится искусственный интеллект (ИИ), в

основе которого лежат машинное обучение искусственных нейронных сетей. В результате проведенных исследований разработана компьютерная программа анализа цифровых рентгенограмм стоп с целью объективной оценки степени плоскостопия, не зависящей от субъективной оценки рентгенолога. На примере нейросетевой экспертизы продольного плоскостопия автор диссертации демонстрирует возможности, открывающиеся в рентгенодиагностике, с применением ИИ, как помощника врача-рентгенолога.

В разделе заключение и обсуждение полученных результатов автор делает короткое обобщение проведенного многопланового исследования. Обсуждаются собственные результаты исследования в сопоставлении с данными литературы. Заключение оставляет чувство целостности и завершенности научного труда и вместе с тем в нём есть место для полета мысли, дальнейшего поиска, взгляда в будущее цифровой рентгенодиагностики, связанного с развитием технологии искусственного интеллекта, новых цифровых способов постобработки изображений.

Выводы логичны и обоснованы, соответствуют поставленным задачам и закономерно вытекают из полученных результатов. Практические рекомендации актуальны и содержат основные предложения по клиническому применению полученных результатов. В работе имеются опечатки и стилистические ошибки, но в целом работа заслуживает положительной оценки.

После изучения работы хотелось бы получить ответы на следующие вопросы:

1. Какие видит диссертант перспективы в дальнейшем улучшении качества цифровых рентгеновских изображений?
2. Ваше представление о месте линейной томографии в мире томографов?
3. Какие Вы видите перспективы цветового контрастирования рентгеновских изображений?
4. Существует ли, с Вашей точки зрения, опасность вытеснения врача-рентгенолога в связи с внедрением в практику алгоритмов автоматического анализа изображений / искусственного интеллекта?

Заключение

На основании рассмотренной диссертации Камышанской И. Г. следует заключить, что по своей актуальности, объему проведенного анализа, научной новизне и практической значимости, данное диссертационное исследование является законченной самостоятельной научно-квалификационной работой, решающей научную проблему повышения эффективности рентгенодиагностики. Диссертационное исследование Камышанской Ирины Григорьевны на тему: «Инновационные технологии в цифровой рентгенодиагностике для решения проблемы распознавания заболеваний и повреждений в

многопрофильном стационаре», полностью соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О Порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», а соискатель Камышанская Ирина Григорьевна заслуживает присуждения учёной степени доктора медицинских наук по научной специальности 3.1.25. Лучевая диагностика. Пункты 9 и 11 указанного Порядка диссертантом не нарушены.

Председатель диссертационного совета, доктор медицинских наук, профессор, руководитель Научно-клинического и образовательного центра "Лучевая диагностика и ядерная медицина" медицинского факультета федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет»; Главный внештатный специалист по лучевой и инструментальной диагностике СЗФО РФ и Комитета по здравоохранению Санкт-Петербурга.

«8» августа 2022г.

дата



подпись

Трофимова Татьяна Николаевна