

**ОТЗЫВ официального оппонента**  
**на диссертацию на соискание ученой степени кандидата**  
**физико-математических наук Лисовской Анастасии Олеговны на тему:**  
**«Оценка поглощенной дозы в биологическом объекте при**  
**межфракционном изменении его физических параметров в фотонной**  
**лучевой терапии»**  
**по специальности 1.5.1 Радиобиология**

Диссертация Лисовской Анастасии Олеговны посвящена важнейшей области исследования в медицинской физике, а именно усовершенствованию подхода к проведению лучевой терапии (ЛТ) пациентов с онкологическими заболеваниями. Данная работа имеет особую ценность, поскольку она ориентирована улучшить качество лечения детей. Как правило, пациентам, проходящим радиотерапию, однократно выполняют компьютерную томографию перед началом облучения для получения информации о внутренней анатомии пациента и последующего расчета дозиметрического плана лечения. На протяжении всего курса лучевой терапии, который зачастую длится больше месяца, опухоль облучается согласно этому первоначальному плану. Однако от сеанса к сеансу у пациентов могут наблюдаться различные изменения анатомии. В большинстве случаев эти изменения никак не учитываются, тем не менее, они могут повлиять на распределение поглощенной дозы в организме пациента и стать причиной дефицита дозы в мишени или избыточной лучевой нагрузки на интактные ткани. Быстрая оценка этих произошедших с пациентом изменений и определение их пороговых значений для внесения поправок в текущее лечение при необходимости – очень нетривиальная и трудоемкая задача. Данная диссертационная работа направлена на решение этой проблемы. **Целью** работы являлась разработка алгоритма экспресс-оценки межфракционных изменений физических параметров биологического объекта, а именно его объема и пространственного распределения линейного

коэффициента ослабления с помощью конусно-лучевой компьютерной томографии для контроля дозиметрических параметров облучения при фотонной лучевой терапии.

Диссертационная работа имеет традиционную структуру. Она состоит из введения, трех глав, заключения и выводов. Материалы изложены на 114 страницах машинописного текста, список литературы содержит 127 наименований.

Во введении представлен глубокий анализ значимости исследования, в котором убедительно доказывается актуальность выбранной темы, четко сформулированы цель и задачи, обосновывается научная новизна, раскрывается практическая значимость и достоверность результатов работы, описывается личный вклад автора работы, приводится перечень научных публикаций и выступлений на конференциях.

Первая глава посвящена литературному обзору. В ней изложены основные аспекты применения конусно-лучевой компьютерной томографии в лучевой терапии с целью учета межфракционных изменений во время курса лечения. Рассмотрены особенности взаимодействия рентгеновского излучения с веществом, основные способы получения изображений в лучевой терапии, акцент сделан на изображения конусно-лучевой компьютерной томографии (КЛКТ), получаемые с целью дальнейшего расчета поглощенной дозы. Описаны различные виды межфракционных изменений анатомии пациентов и существующие способы учета таких изменений.

Вторая глава посвящена материалам и методам, используемым в работе. Представлено описание ретроспективного анализа межфракционных изменений анатомии пациентов детского возраста отделения лучевой терапии ФГБУ НМИЦ ДГОИ им. Дмитрия Рогачева МЗ РФ за 1 календарный год. Предложены количественные характеристики изображений КЛКТ и дозовые коэффициенты для поиска корреляций между изменением пространственного распределения линейного коэффициента ослабления

облучаемого объекта и изменением распределения поглощенной дозы. Приведены подробные описания экспериментальной установки, используемых в работе метрик, определяющих качество изображений КЛКТ, а также предложенной методики оценки поглощенной при КЛКТ дозы в объекте сканирования. Детально описаны два предлагаемых подхода к получению модифицированных изображений КЛКТ, а именно – на основе геометрического преобразования воксельной решетки пространственного распределения коэффициента ослабления и на основе преобразования распределения линейных коэффициентов ослабления в значения относительной электронной плотности. Представлены используемые в работе способы качественного и количественного анализа полученных данных для валидации обоих разработанных подходов.

В третьей главе представлены полученные автором результаты. Созданная численная антропоморфная модель позволила имитировать типичные анатомические изменения в области живота и таза у детей между фракциями и определить корреляции между этими анатомическими изменениями и распределением поглощенной дозы, получаемой в результате проведения лучевой терапии. Автором экспериментально определены оптимальные режимы КЛКТ-сканирования для ускорителя Synergy (Elekta), минимизирующие лучевую нагрузку при сохранении необходимой визуализационной ценности. Предложены два методических подхода к формированию модифицированных КЛКТ-изображений для расчета фактической поглощенной при лучевой терапии дозы с целью определения её соответствия запланированной дозе в начале курса ЛТ без проведения повторных топометрических исследований на компьютерном томографе. Продемонстрирована высокая достоверность дозиметрических расчетов с использованием модифицированных изображений, полученных обоими подходами, на основе целого ряда экспериментов с гетерогенными фантомами. На основе всех полученных результатов создан алгоритм экспресс-оценки, позволяющий оперативно прогнозировать дозиметрические

несоответствия. Практическая апробация алгоритма на базе действующего отделения лучевой терапии подтвердила эффективность его применения у пациентов педиатрического профиля.

При общей высокой положительной оценке работы, к ней имеется ряд вопросов и замечаний, которые, однако, не снижают научной и практической ценности диссертации и носят дискуссионный или уточняющий характер:

1. О границах применимости подхода № 1. В работе предложен подход, основанный на деформационной регистрации изображений (подход № 1). Насколько корректен перенос данных о плотности (HU) с планирующего КТ на измененную геометрию КЛКТ в областях с сильным изменением градиента плотности (например, граница "кость-мягкие ткани" при изменении положения пациента или граница "газ-кишечник")? Проводилась ли визуальная или количественная проверка сохранения топологии органов риска в этих зонах?
2. О статистической значимости выборки для выводов. Вывод № 6 и данные п. 3.6 основаны на анализе 21 пациента (309 фракций). Выборка репрезентативна для первичной апробации, однако для утверждения о том, что "у 5% пациентов наблюдается значительное уменьшение дозы в опухоли", хотелось бы видеть доверительные интервалы для этой оценки. Насколько стабилен этот процент при расширении выборки?
3. О технической реализации скриптов. В работе упоминается создание полуавтоматических скриптов (в MIM Maestro) для реализации подходов. Насколько критична роль оператора (человека) в процессе? Требуется ли ручная коррекция контуров или результатов деформации, и если да, то каковы критерии для такой коррекции?

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности 1.5.1. Радиобиология (по физико-

математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова. Диссертационное исследование оформлено согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Таким образом, соискатель Лисовская Анастасия Олеговна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.5.1 Радиобиология.

Официальный оппонент:

Кандидат физико-математических наук,  
научный сотрудник лаборатории медицинской физики Института ядерных исследований Российской академии наук

Яковлев Иван Андреевич

Дата подписания

16.03.2026