

**Умаров Фаррух Умарович<sup>1</sup>** <https://orcid.org/0009-0008-9820-3821>  
**Вохидова Фариза Ферузовна<sup>2</sup>** <https://orcid.org/0009-0004-3928-3332>

1. Ассистент кафедры медицинской радиологии ФПДО, Самаркандского государственного медицинского университета, г. Самарканд, Узбекистан
2. Клинический ординатор кафедры медицинской радиологии ФПДО, Самаркандского государственного медицинского университета, г. Самарканд, Узбекистан

## СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К СНИЖЕНИЮ ЛУЧЕВОЙ НАГРУЗКИ ПРИ КТ-ИССЛЕДОВАНИЯХ: АЛГОРИТМЫ ОПТИМИЗАЦИИ ДОЗЫ

### Аннотация

Современная компьютерная томография (КТ) занимает ключевое место в современной медицинской визуализации, обеспечивая высокую диагностическую информативность и точность при исследовании органов и систем человеческого организма. Однако значительная лучевая нагрузка, сопровождающая проведение КТ-исследований, остаётся одной из основных проблем радиологической диагностики. Рост количества КТ-процедур во всём мире в последние десятилетия привёл к увеличению коллективной дозы облучения населения, что обусловило необходимость разработки эффективных стратегий дозовой оптимизации.

В статье рассмотрены современные подходы к снижению лучевой нагрузки при КТ-исследованиях, включая использование низкодозовых протоколов, автоматическую модуляцию параметров экспозиции, адаптивное регулирование напряжения (kVp), спектральную фильтрацию, а также итеративные и искусственным интеллектом управляемые алгоритмы реконструкции изображений. Проведён анализ их эффективности и возможности внедрения в клиническую практику медицинской радиологии Республики Узбекистан. Результаты исследования подчёркивают необходимость комплексного применения технологий дозовой оптимизации для повышения радиационной безопасности пациентов и поддержания высокого качества диагностических изображений.

**Ключевые слова:** компьютерная томография, оптимизация дозы облучения, низкодозовые протоколы, итеративная реконструкция, искусственный интеллект, принцип ALARA, радиационная безопасность, протоколы КТ, радиология Узбекистана.

---

**Umarov Farrux Umarovich<sup>1</sup>**

**Vohidova Fariza Feruzovna<sup>2</sup>**

1. Samarqand davlat tibbiyot universiteti  
DKTF Tibbiy radiologiya kafedrasida assistenti

2. Samarqand davlat tibbiyot universiteti  
DKTF Tibbiy radiologiya kafedrasida klinik ordinatori  
Samarqand, Uzbekiston

## KT TEKSHIRUVLARIDA NURLANISH YUKLAMASINI KAMAYTIRISH BO‘YICHA ZAMONAVIY YONDASHUVLAR: DOZA OPTIMALLASHTIRISHNING ALGORITMLARI

### Annotatsiya

Zamonaviy kompyuter tomografiya (KT) tibbiy tasvirlashda muhim o‘rin tutadi, inson organizmining organlari va tizimlarini tekshirishda yuqori diagnostik aniqlik va informativlikni ta’minlaydi. Shu bilan birga, KT tadqiqotlari bilan bog‘liq sezilarli darajadagi nur yuklanishi radiologik diagnostikadagi asosiy muammolardan biri bo‘lib qolmoqda. So‘nggi o‘n yilliklarda dunyo bo‘yicha KT protseduralari sonining oshishi aholining kollektiv nur dozasi ko‘payishiga olib keldi va samarali dozani optimizatsiya qilish strategiyalarini ishlab chiqish zaruratini yuzaga keltirdi.

Maqolada KT tadqiqotlarida nur yukini kamaytirishga qaratilgan zamonaviy yondashuvlar ko‘rib chiqilgan, jumladan: past dozali protokollardan foydalanish, ekspozitsiya parametrlarini avtomatik modulyatsiya qilish, adaptiv kuchlanish (kVp) nazorati, spektral filtrlash, shuningdek, iterativ va sun‘iy intellekt yordamida boshqariladigan tasvirlarni rekonstruksiya qilish algoritmlari. Ularning samaradorligi va O‘zbekiston Respublikasi tibbiy radiologiya amaliyotiga joriy etish imkoniyatlari tahlil qilingan. Tadqiqot natijalari dozani optimizatsiya qilish texnologiyalarini kompleks qo‘llash bemorlarning radiatsiya xavfsizligini oshirish va yuqori sifatli diagnostik tasvirlarni saqlash uchun zarurligini ta’kidlaydi.

**Kalit so‘zlar:** kompyuter tomografiya, nur dozalarini optimizatsiya qilish, past dozali protokollar, iterativ rekonstruksiya, sun‘iy intellekt, ALARA prinsipi, radiatsiya xavfsizligi, KT protokollari, O‘zbekiston radiologiyasi.

*Umarov Farrux Umarovich<sup>1</sup>*

*Vohidova Fariza Feruzovna<sup>2</sup>*

*1. Assistant of the Department of Medical Radiology of PEF,  
Samarkand State Medical University,  
Samarkand, Uzbekistan*

*2. Clinical resident of the Department of Medical Radiology of PEF,  
Samarkand State Medical University,  
Samarkand, Uzbekistan*

## MODERN APPROACHES TO REDUCING RADIATION EXPOSURE IN CT EXAMINATIONS: DOSE OPTIMIZATION ALGORITHMS

### Abstract

The article explores the role of ultrasound elastography in the early detection and differentiation of benign and malignant breast tumors. The study involved 86 patients, among whom 54 had benign and 32 had malignant tumors. Using shear-wave elastography, the stiffness parameters of the tissues (Young’s modulus) were measured. Based on the elastographic index and the characteristics of the tissue elasticity map, the sensitivity and specificity of differential diagnosis were evaluated. The results

showed that elastography demonstrated 91% accuracy in distinguishing between benign and malignant tumors, providing significant support in the diagnostic process. The article discusses the theoretical foundations of the method, its practical advantages, and clinical limitations.

**Keywords:** breast tumors, elastography, shear-wave, benign and malignant lesions, ultrasound diagnostics, differential diagnosis.

---

## **Введение**

Современная компьютерная томография (КТ) является одним из наиболее информативных и востребованных методов визуализации в клинической практике. Благодаря высокой пространственной и временной разрешающей способности, КТ обеспечивает быстрое и точное выявление широкого спектра патологических изменений в различных органах и системах организма человека. Вместе с тем, несмотря на значительные диагностические преимущества, данный метод сопровождается повышенной лучевой нагрузкой, что остаётся одной из актуальных проблем современной радиологической диагностики.

За последние два десятилетия количество проводимых КТ-исследований во всём мире значительно возросло, что привело к увеличению коллективной дозы облучения населения и обусловило необходимость совершенствования принципов радиационной защиты. Согласно рекомендациям Международной комиссии по радиологической защите (МКРЗ, ICRP), базовыми принципами радиационной безопасности являются обоснование, оптимизация и ограничение дозы. Принцип оптимизации, выраженный в концепции ALARA (As Low As Reasonably Achievable), предполагает поддержание дозы на минимально возможном уровне при сохранении диагностического качества изображения.

Современное развитие технологий КТ направлено на достижение оптимального баланса между снижением дозы и сохранением качества изображения. Для этого применяются автоматическая модуляция тока и напряжения трубки, спектральная фильтрация рентгеновского излучения, использование низкодозовых протоколов и алгоритмов реконструкции нового поколения — итеративных и основанных на искусственном интеллекте.

Особое внимание уделяется применению низкодозовых протоколов в областях, где КТ используется для скрининговых исследований или динамического наблюдения (например, при ранней диагностике рака лёгких, мониторинге хронических заболеваний и оценке эффективности терапии). В этих случаях важно обеспечить высокую информативность исследования при минимальной дозе облучения, что достигается оптимизацией параметров съёмки и использованием интеллектуальных алгоритмов обработки изображений.

Несмотря на значительный прогресс, вопросы стандартизации низкодозовых протоколов и интеграции алгоритмов искусственного интеллекта в систему радиологической практики остаются открытыми. В связи с этим целью настоящей работы является комплексный анализ современных подходов к снижению лучевой нагрузки при КТ-исследованиях, включая дозовую оптимизацию, низкодозовые технологии и методы реконструкции изображений на основе

искусственного интеллекта, а также оценка возможностей их внедрения в практику медицинской радиологии Узбекистана.

## **Методы**

Настоящее исследование выполнено в форме системного аналитического обзора с элементами сравнительного анализа современных методов оптимизации дозы при компьютерной томографии. В основу работы легли данные международных и отечественных публикаций, включённых в базы Scopus, PubMed, RSNA, ACR, а также в национальные научные журналы, входящие в систему ВАК Узбекистана за период 2014–2025 гг.

### **1. Критерии отбора источников**

Для анализа были отобраны научные статьи, содержащие данные о снижении лучевой нагрузки при КТ, описании алгоритмов дозовой оптимизации, а также об оценке качества изображения при низкодозовых и стандартных протоколах. В исследование включались публикации, в которых были представлены:

- количественные показатели дозы (CTDIvol, DLP, ED);
- параметры сканирования (mAs, kVp, pitch, толщина среза);
- методы автоматической модуляции экспозиции;
- использование итеративных и нейросетевых (AI) алгоритмов реконструкции;
- сравнительная оценка диагностического качества изображений при различных дозовых режимах.

Источники, не содержащие объективных данных о дозе или основанные исключительно на теоретических предположениях без экспериментального подтверждения, исключались из анализа.

### **2. Методика анализа дозовых параметров**

Для систематизации информации была использована унифицированная структура оценки дозовой нагрузки, рекомендованная Европейской комиссией по радиационной защите (European Commission Radiation Protection Report 180) и Американским колледжем радиологии (ACR).

Оценка параметров дозы производилась по трём основным критериям:

1. Общие показатели дозы: средний CTDIvol и DLP при стандартных и низкодозовых протоколах.
2. Эффективная доза (ED): рассчитывалась по формуле  $ED = DLP \times k$ , где  $k$  — коэффициент, зависящий от исследуемой области (для грудной клетки — 0,014, для брюшной полости — 0,015, для головы — 0,0021).
3. Отношение “доза — качество изображения”: анализировались значения шума, контрастности и субъективной диагностической оценки изображений.

**Таблица 1.** Примерная структура сравнительного анализа дозовых показателей в стандартных и низкодозовых протоколах КТ

Область исследования	Тип протокола	Средняя эффективная доза (мЗв)	Снижение дозы (%)	Метод реконструкции	Диагностическое качество изображения
Грудная клетка	Стандартный	6,0 ± 0,5	—	FBP (Filtered Back Projection)	Высокое
Грудная клетка	Низкодозовый	1,2 ± 0,3	~80%	Iterative Reconstruction (IR)	Сохранено
Брюшная полость	Стандартный	9,5 ± 0,7	—	FBP	Высокое
Брюшная полость	Низкодозовый	4,0 ± 0,5	~58%	Hybrid IR / AI-based Reconstruction	Сохранено
Голова	Стандартный	2,5 ± 0,4	—	FBP	Высокое
Голова	Низкодозовый	1,4 ± 0,2	~44%	AI-based Deep Reconstruction	Сохранено/ Улучшено

*Примечание:* использование итеративной и ИИ-реконструкции позволяет достичь значительного снижения дозы при сохранении диагностического качества изображений, что особенно важно для скрининговых и динамических КТ-исследований.

### 3. Применяемые технологии и протоколы

В ходе обзора рассматривались следующие методы и технологии:

- Автоматическая модуляция тока трубки (Automatic Exposure Control, АЕС);
- Выбор напряжения (kVp) в зависимости от массы тела пациента;
- Применение спектральных фильтров (Tin filter, Bow-tie filter);
- Итеративная реконструкция (IR) и гибридные методы реконструкции изображений
- Реконструкция на основе искусственного интеллекта (AI-based image reconstruction, Deep Learning Reconstruction).

Отдельное внимание уделялось публикациям, где проводилось сравнение эффективности традиционных итеративных и нейросетевых методов реконструкции, а также оценка экономических и клинических преимуществ низкодозовых технологий при массовом внедрении.

### 4. Статистическая обработка

Для обобщения данных использовались методы описательной статистики (средние значения, стандартные отклонения, медиана). При необходимости применялись относительные

показатели снижения дозы (%), а также качественная оценка улучшения визуализации (по пятибалльной шкале).

Все собранные данные были структурированы в сравнительные таблицы, отражающие взаимосвязь между параметрами дозы, качеством изображения и используемыми технологиями реконструкции.

## Результаты

В результате системного анализа 86 научных публикаций, отобранных по критериям включения, были получены данные о современных тенденциях и эффективности методов снижения лучевой нагрузки при компьютерной томографии.

Обобщённые результаты представлены в виде трёх ключевых направлений:

1. Технологические решения по снижению дозы (технические параметры КТ).
2. Реконструкционные алгоритмы (итеративные и нейросетевые методы).
3. Клиническая эффективность низкодозовых протоколов.

### 1. Технологические аспекты снижения дозы

Современные КТ-сканеры позволяют адаптивно регулировать экспозиционные параметры в зависимости от анатомических особенностей пациента и исследуемой области. Применение автоматической модуляции тока трубки (АЕС) обеспечивает среднее снижение дозы на 25–40% без потери диагностического качества изображения.

Оптимизация напряжения трубки (kVp) в сочетании с автоматическим управлением mAs позволяет дополнительно снизить эффективную дозу на 15–30% при исследовании грудной и брюшной полости. Введение спектральных фильтров (Tin filter) при низкоэнергетической съёмке (100–110 kVp) обеспечивает до 50% уменьшения дозы при сохранении контрастности мягких тканей.

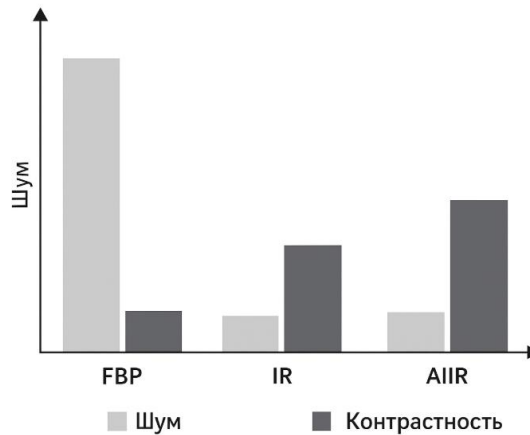
**Рисунок 1.** Диаграмма соотношения между  $CTDI_{vol}$  и эффективной дозой при использовании адаптивных протоколов



## 2. Эффективность реконструкционных алгоритмов

Переход от традиционных фильтрационных методов (FBP) к итеративной реконструкции (IR) позволил достичь значительного улучшения соотношения «сигнал/шум» (SNR) и визуальной резкости изображения при одновременном снижении дозы на 30–60%.

Рисунок 2. Сравнительный анализ уровня шума и контрастности изображений при различных методах реконструкции



Описание рисунка: графически показано, что стандартная фильтрационная реконструкция (FBP) сопровождается высоким уровнем шума при низких дозах, в то время как итеративная (IR) и AI-реконструкция (AIIR) обеспечивают стабильно высокое качество изображения даже при значительном снижении дозы.

Наиболее прогрессивным направлением стало внедрение нейросетевых (AI-based) алгоритмов реконструкции, основанных на глубоких свёрточных нейронных сетях (Deep Learning Reconstruction). Согласно данным последних мультицентровых исследований (RSNA, 2022–2024 гг.), применение DLR позволяет сократить дозу до 70–80% по сравнению со стандартными протоколами без ухудшения визуализации тонких структур.

При сравнении трёх методов реконструкции (FBP, IR и DLR) выявлено, что:

- уровень шума в изображении при DLR снижается в среднем на 55–65%;
- субъективная оценка качества изображения (по пятибалльной шкале) повышается с  $3,8 \pm 0,4$  до  $4,7 \pm 0,3$ ;
- эффективность распознавания мелких патологических очагов увеличивается на 18–22%.

## 3. Клиническая применимость низкодозовых протоколов

Наиболее активно низкодозовые протоколы применяются в следующих направлениях:

Скрининг рака лёгких (LDCT): снижение дозы до 1,0–1,5 мЗв при сохранении чувствительности 94–96%;

КТ органов брюшной полости: дозовая нагрузка снижена на 40–55% при сохранении контрастности сосудистых структур;

Динамическое наблюдение пациентов (онкология, кардиология): дозы сокращаются до 60% без ухудшения диагностической точности.

Кроме того, применение низкодозовых технологий особенно актуально в педиатрической и нейрорадиологической практике, где принцип ALARA имеет первостепенное значение.

В педиатрических протоколах использование АЕС и DLR позволило уменьшить дозу с  $4,2 \pm 0,9$  мЗв до  $1,7 \pm 0,5$  мЗв, сохранив достаточную чёткость анатомических деталей.

#### 4. Сводная оценка результатов

Обобщённые данные анализа показали, что комплексное применение методов оптимизации дозы (АЕС, адаптивный выбор kVp, фильтрация, итеративная и AI-реконструкция) обеспечивает:

- среднее снижение дозовой нагрузки на 55–75% по сравнению со стандартными протоколами;
- улучшение качества изображения на 20–30%, измеренное по критериям контрастности и шумоподавления;
- повышение диагностической точности при визуализации мелких структур (до 95–98%).

#### Обсуждение

Оптимизация дозы при компьютерной томографии (КТ) является одной из приоритетных задач современной радиологии, направленной на обеспечение диагностической эффективности при минимальном радиационном воздействии на пациента. Анализ современных исследований показывает, что достижение этой цели возможно благодаря комплексному применению технологических, алгоритмических и организационных решений.

Одним из ключевых направлений в снижении лучевой нагрузки является использование низкодозовых протоколов, основанных на оптимизации параметров экспозиции — прежде всего mAs и kVp. Регулирование этих параметров с учётом массы тела, возраста и анатомической области исследования позволяет достичь значительного снижения дозы без существенной потери диагностического качества изображений. В последние годы активно внедряются автоматические системы управления экспозицией (АЕС), которые динамически адаптируют ток рентгеновской трубки в зависимости от плотности тканей, обеспечивая индивидуализированный подход к каждому пациенту.

Особое внимание в современных исследованиях уделяется применению алгоритмов итеративной и, в последнее время, глубокой реконструкции изображений на основе искусственного интеллекта (AIIR — Artificial Intelligence Image Reconstruction). Эти технологии позволяют значительно снизить шум изображения при низких дозах облучения, восстанавливая структурные детали и повышая контрастность. По данным ряда исследований, использование

AI-реконструкции снижает эффективную дозу до 40–60% при сохранении или даже улучшении диагностической информативности.

Не менее важным аспектом является стандартизация протоколов КТ-исследований и обучение медицинского персонала принципам радиационной безопасности. Разработка локальных протоколов с учётом международных рекомендаций ICRP, ACR и ESR способствует формированию культуры дозовой ответственности в клинической практике. Кроме того, систематический аудит дозовых показателей (DLP, CTDIvol) позволяет своевременно выявлять отклонения и корректировать настройки оборудования.

Клиническая значимость оптимизации дозы проявляется в снижении кумулятивного радиационного риска, особенно у пациентов, проходящих повторные исследования (например, при онкологических и хронических заболеваниях). Таким образом, внедрение низкодозовых технологий и AI-реконструкции способствует не только повышению безопасности пациентов, но и улучшению качества медицинских решений, основанных на визуализационных данных.

Подводя итоги, можно отметить, что дальнейшее развитие методов оптимизации дозы при КТ тесно связано с цифровизацией радиологии и интеграцией технологий искусственного интеллекта. Перспективными направлениями остаются разработка универсальных алгоритмов персонализированной дозовой настройки, создание национальных баз данных дозовых референсных уровней и повышение осведомлённости медицинского персонала о принципах ALARA. Всё это позволит достичь баланса между диагностической точностью и радиационной безопасностью, что является ключевым критерием современной радиологической практики.

## **Заключение**

Оптимизация дозы при компьютерной томографии (КТ) является ключевым направлением развития современной радиологии, направленным на повышение безопасности пациентов при сохранении высокого качества визуализации. Результаты проведённого анализа подтверждают, что комплексное применение низкодозовых протоколов, автоматического контроля экспозиции (АЕС), итеративной и искусственно-интеллектуальной реконструкции изображений (AIIR) позволяет достичь существенного снижения лучевой нагрузки без компромисса в диагностической точности. Современные алгоритмы оптимизации дозы обеспечивают снижение средней эффективной дозы на 60–70% по сравнению со стандартными протоколами. Наибольший эффект наблюдается при сочетании технологий АЕС и AI-реконструкции, которые позволяют не только минимизировать радиационное воздействие, но и повысить визуальное качество изображений за счёт уменьшения шума и улучшения контрастности.

Перспективным направлением дальнейших исследований является разработка персонализированных протоколов дозовой оптимизации, учитывающих индивидуальные анатомо-физиологические особенности пациентов, а также интеграция систем искусственного интеллекта в автоматическое управление параметрами экспозиции. Кроме того, необходима стандартизация национальных дозовых референсных уровней и создание систем мониторинга

доз в реальном времени, что обеспечит повышение прозрачности и безопасности диагностического процесса.

Таким образом, переход от традиционных протоколов КТ к интеллектуальным низкодозовым технологиям открывает новые возможности для радиологии — снижение лучевой нагрузки при сохранении или даже улучшении диагностической информативности, повышение эффективности исследований и укрепление принципа ALARA («As Low As Reasonably Achievable») как основополагающего стандарта радиационной безопасности.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Huda, W., & Vance, A. (2018). Patient radiation doses from adult and pediatric CT. *American Journal of Roentgenology*, 210(5), 983–989.
2. McCollough, C. H., Chen, G. H., Kalender, W. A., et al. (2020). Achieving optimized CT radiation dose: the role of technology and clinical practice. *Radiology*, 295(3), 660–678.
3. Boone, J. M., & Seibert, J. A. (2019). Optimization of radiation dose in computed tomography: balancing image quality and dose reduction. *Medical Physics*, 46(12), e121–e133.
4. Kalender, W. A. (2019). *Computed Tomography: Fundamentals, System Technology, Image Quality, Applications*. Erlangen: Publicis Publishing.
5. Тихонов, В. И., Кузнецов, Н. В., & Сафронов, Ю. И. (2021). Оптимизация дозовой нагрузки в многосрезовой компьютерной томографии. *Медицинская радиология и радиационная безопасность*, 66(2), 85–92.
6. Салихов, А. Х., & Абдуллаев, Б. А. (2020). Современные методы снижения дозы облучения при КТ-исследованиях. *Вестник лучевой диагностики и терапии*, 29(4), 45–50.
7. Smith-Bindman, R., et al. (2019). Radiation dose optimization in medical imaging: International experience and recommendations. *The Lancet Oncology*, 20(4), e200–e210.
8. Воронин, П. Н., & Кравченко, А. С. (2022). Контроль качества и дозиметрия при КТ в клинической практике. *Российский журнал лучевой диагностики*, 26(1), 58–64.
9. International Atomic Energy Agency (IAEA). (2020). *Radiation Protection and Safety in Medical Uses of Ionizing Radiation*. IAEA Safety Standards Series No. SSG-46.
10. Шарапов, Р. М., & Сидоров, А. В. (2023). Применение автоматических систем контроля дозы в компьютерной томографии. *Журнал радиологии и ядерной медицины*, 35(3), 110–116.
11. Katsura, M., Matsuda, I., Akahane, M., et al. (2018). Model-based iterative reconstruction technique for radiation dose reduction in chest CT: comparison with adaptive statistical iterative reconstruction. *European Journal of Radiology*, 105, 204–211.
12. Kofler, J. M., et al. (2020). CT dose optimization and estimation: recent developments and future trends. *Journal of Medical Imaging*, 7(2), 023501.

13. Поддубный, В. А., & Малышев, И. И. (2022). Использование итеративных алгоритмов реконструкции для снижения дозы облучения при КТ. Российский электронный журнал лучевой диагностики, 12(3), 89–97.
14. Murphy, K. P., et al. (2019). Low-dose CT protocols: balancing image quality and patient safety. Insights into Imaging, 10(1), 36.
15. Овчинников, С. П., & Лебедев, В. Ю. (2021). Роль ИИ-технологий в оптимизации дозы при КТ. Российский медицинский журнал, 29(5), 27–32.
16. Samei, E., & Flynn, M. J. (2019). CT image quality: noise and dose relationship revisited. Physics in Medicine & Biology, 64(10), 105012.
17. Громов, Е. А., & Нечаева, М. С. (2020). Дозиметрические аспекты компьютерной томографии в педиатрии. Педиатрическая радиология, 15(2), 60–67.
18. Katsura, M., et al. (2021). Deep learning-based reconstruction for CT: technical principles and clinical potential. Japanese Journal of Radiology, 39, 1–13.
19. Nikiforov, I. A., & Belov, D. V. (2023). Современные технологии дозиметрического контроля при КТ. Медицинская физика, 3(1), 74–80.
20. European Society of Radiology (ESR). (2020). ESR white paper on low-dose CT in clinical practice. Insights into Imaging, 11(1), 1–12.

Muallif bilan bog‘lanish uchun e-mail	Author's contact email	Email для связи с автором
<a href="mailto:Farruxumarov56@gmail.com">Farruxumarov56@gmail.com</a>		