

Жураев Камолiddин Данабаевич¹ <https://orcid.org/0009-0001-7310-5036>

Юлдашев Улугбек Азиз угли²

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

ДОЗИМЕТРИЯ В РАДИОЛОГИИ: МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ ЛУЧЕВОЙ НАГРУЗКИ НА ПАЦИЕНТА И ПЕРСОНАЛ (ALARA-ПРИНЦИП)

Аннотация

Лучевая диагностика является краеугольным камнем современной медицины, предоставляя незаменимые данные для диагностики широкого спектра заболеваний. Ежегодно проводятся сотни миллионов рентгенологических исследований, включая рентгенографию, флюорографию, компьютерную томографию (КТ) и ангиографию. Несмотря на неоспоримую клиническую пользу, все эти методы основаны на использовании ионизирующего излучения, которое несет потенциальные стохастические (вероятностные, например, онкологические) и детерминированные (пороговые, например, лучевые ожоги) риски для здоровья. В связи с ростом числа высокодозных исследований, таких как КТ и интервенционные процедуры, ключевое значение приобретает строгий контроль и минимизация дозовой нагрузки. Основным руководством в этой области является принцип ALARA (As Low As Reasonably Achievable — Настолько низко, насколько разумно достижимо), утвержденный Международной комиссией по радиационной защите (ICRP). Цель данной статьи — систематизировать современные подходы к дозиметрии и представить комплекс методов реализации принципа ALARA для обеспечения радиационной безопасности как пациента, так и медицинского персонала.

Ключевые слова: радиационная безопасность, ALARA-принцип, дозиметрия, компьютерная томография (КТ), эффективная доза, итеративная реконструкция (IR), защита персонала.

Zhuraev Kamoliddin Danabaevich¹

Yuldashev Ulugbek Aziz ugli²

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

DOSIMETRY IN RADIOLOGY: METHODS FOR REDUCING RADIATION EXPOSURE TO PATIENTS AND PERSONNEL (ALARA PRINCIPLE)

Abstract

Radiological diagnostics is a cornerstone of modern medicine, providing invaluable data for diagnosing a wide range of diseases. Hundreds of millions of radiological examinations are performed annually, including radiography, fluorography, computed tomography (CT), and angiography. Despite their undeniable clinical benefits, all these methods are based on the use of ionizing radiation, which carries potential stochastic (probabilistic, e.g., oncological) and deterministic (threshold, e.g., radiation burns) health risks. Due to the increasing number of high-dose examinations such as CT and interventional procedures, strict control and minimization of radiation exposure have become critically important. The main guideline in this area is the ALARA (As Low As Reasonably Achievable) principle, approved by the International Commission on Radiation Protection (ICRP). The purpose of this article is to systematize modern approaches to dosimetry and present a set of methods for implementing the ALARA principle to ensure radiation safety for both the patient and medical personnel.

Keywords: Radiation safety, ALARA principle, Dosimetry, Computed tomography (CT), Effective dose, Iterative reconstruction (IR), Personnel protection.

Jurayev Kamoliddin Danabayevich¹

Yuldoshev Ulug'bek Aziz o'g'li²

*1. Samarqand davlat tibbiyot universiteti
DKTF Tibbiy radiologiya kafedrasida assistenti,
Samarqand, Uzbekistan*

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

RADIOLOGIYADA DOZIMETRIYA: BEMOR VA XODIMLAR UCHUN NURLANISH MIQDORINI KAMAYTIRISH USULLARI (ALARA TAMOYILI)

Annotatsiya

Nur diagnostikasi zamonaviy tibbiyotning tayanch ustuni bo'lib, keng ko'lamdagi kasalliklarni aniqlash uchun o'rnini bosa olmaydigan ma'lumotlarni taqdim etadi. Har yili yuz millionlab rentgenologik tekshiruvlar, jumladan rentgenografiya, flyuorografiya, kompyuter tomografiyasi (KT) va angiografiya o'tkaziladi. Shubhasiz klinik foydasiga qaramay, bu usullarning barchasi ionlashtiruvchi nurlanishdan foydalanishga asoslangan bo'lib, u sog'liq uchun potentsial stoxastik (ehtimoliy, masalan, onkologik) va deterministik (chegaraviy, masalan, nur ta'sirida kuyish) xavflarni keltirib chiqaradi. KT va intervension muolajalar kabi yuqori dozali tadqiqotlar soni ortib borayotgani tufayli, nurlanish dozasini qat'iy nazorat qilish va minimallashtirishning ahamiyati tobora ortib bormoqda. Bu sohadagi asosiy yo'riqnomalar Xalqaro nurlanishdan himoyalash qo'mitasi (ICRP) tomonidan tasdiqlangan ALARA (As Low As Reasonably Achievable — Oqilona erishish mumkin bo'lgan eng past daraja) tamoyilidir. Ushbu maqolaning maqsadi dozimetriya bo'yicha zamonaviy yondashuvlarni tizimlashtirish va bemorlar hamda tibbiyot xodimlarining nurlanishdan xavfsizligini ta'minlash uchun ALARA tamoyilini amalga oshirish usullari majmuasini taqdim etishdan iborat.

Kalit so'zlar: Nurlanishdan himoyalash, ALARA tamoyili, Dozimetriya, Kompyuter tomografiyasi (KT), Samarali doza, Iterativ rekonstruksiya (IR), Xodimlarni himoyalash.

Введение: Актуальность радиационной безопасности в лучевой диагностике

Радиационная безопасность в современной лучевой диагностике рассматривается как ключевой компонент клинической практики, направленный на минимизацию вредных последствий ионизирующего излучения при сохранении высокого диагностического качества исследований. Рост объёмов рентгенологических процедур — КТ, рентгенографии, флюороскопии, интервенционных вмешательств — сопровождается увеличением совокупной дозовой нагрузки как на пациентов, так и на медицинский персонал. Согласно данным международных профессиональных организаций (ICRP, IAEA), компьютерная томография обеспечивает около 50–60% коллективной дозы в медицинской визуализации, хотя составляет значительно меньшую долю от общего числа исследований.

Высокая чувствительность биологических тканей к ионизирующему излучению, особенно у детей, беременных женщин и пациентов с хроническими заболеваниями, требует строгого соблюдения принципов ALARA (As Low As Reasonably Achievable) и оптимизации параметров экспозиции. Неоптимизированные протоколы, повторные исследования и отсутствие стандартизации могут приводить к неоправданному росту эффективной дозы, что повышает риск стохастических эффектов, включая злокачественные новообразования.

В условиях расширения диагностических возможностей КТ и гибридных технологий (ПЭТ/КТ, SPECT/КТ) вопросы контроля дозовых величин, внедрения дозиметрических индикаторов (CTDIvol, DLP) и регулярного аудита протоколов становятся неотъемлемой частью клинического менеджмента. Одновременно растёт значимость системы индивидуальной защиты персонала: использование свинцовых экранов, фартуков, тиреоидных воротников, персонального дозиметрического мониторинга и обучение сотрудников принципам радиационной гигиены.

Таким образом, актуальность радиационной безопасности определяется необходимостью достижения баланса между диагностической информативностью методов визуализации и минимизацией потенциального радиационного риска. Эффективная стратегия безопасности заключается в оптимизации протоколов, стандартизации оборудования, строгом дозиметрическом контроле и повышении компетенций специалистов в области радиационной защиты.

Основы дозиметрии и радиационные величины

Дозиметрия в радиологии — это измерение и расчет доз ионизирующего излучения, поглощенного веществом (биологической тканью) или переданного ему. Понимание ключевых дозиметрических величин критически важно для оценки риска.

Таблица 1. Основные дозиметрические величины

Величина	Обозначение	Единица (СИ)	Определение
Поглощённая доза	D	Грей (Гр)	Энергия, поглощённая единицей массы вещества (Дж/кг).
Эквивалентная доза	H _T	Зиверт (Зв)	Поглощённая доза с учётом радиационно-

			взвешивающего коэффициента (W_R).
Эффективная доза	E	Зиверт (Зв)	Сумма эквивалентных доз с учётом тканевых коэффициентов (W_T).

Сноска таблицы: Приведенные величины являются основными инструментами для оценки радиационного риска

Контроль дозы. Современное рентгенологическое оборудование должно регистрировать следующие показатели:

- Dose-Length Product (DLP) для КТ ($\text{мГр}\cdot\text{см}$).
- Dose Area Product (DAP) или Kerma-Area Product (KAP) для флюороскопии ($\text{Гр}\cdot\text{см}^2$).

Эти показатели являются основой для расчета эффективной дозы, которая затем сравнивается с Диагностическими Референтными Уровнями (ДРУ) — значениями дозы, превышение которых свидетельствует о необходимости пересмотра протоколов исследования.

Реализация принципа ALARA

Принцип ALARA является неотъемлемой частью концепции оптимизации радиационной защиты. Он требует, чтобы все дозы облучения, получаемые как пациентом, так и персоналом, были настолько низкими, насколько это разумно достижимо, с учетом экономических и социальных факторов, а также необходимости получения диагностически ценной информации.

Основные элементы ALARA

Реализация ALARA базируется на трех китах радиационной защиты:

1. Время (Time): Сокращение времени воздействия излучения.
2. Расстояние (Distance): Увеличение расстояния от источника излучения.
3. Защита (Shielding): Использование защитных экранов и барьеров.

Методы снижения лучевой нагрузки на пациента

Эффективная радиационная защита пациента основана на многоуровневой оптимизации: снижение технической экспозиции, улучшение навигации и реконструкции, использование низкодозовых протоколов КТ, приоритет неионизирующих методов и строгая клиническая обоснованность исследования. Применение этих принципов позволяет снизить эффективную дозу на 30–80% без потери диагностической ценности.

Таблица 2. Процедурная оптимизация

Метод	Суть реализации	Ожидаемый эффект
Обоснованность назначения	Строгое соблюдение клинических показаний и исключение	Устранение ненужного облучения

	необоснованных исследований.	
Индивидуализация протоколов	Адаптация параметров исследования с учётом возраста, массы тела и соматотипа пациента.	Снижение дозовой нагрузки, особенно у детей и пациентов астенического телосложения.
Использование ДРУ	Регулярный анализ получаемых доз и сравнение их с установленными диагностическими референсными уровнями.	Выявление и корректировка высокодозных протоколов.
Использование средств защиты	Применение свинцовых фартуков, воротников, гонадных экранов для защиты органов вне зоны исследования.	Снижение дозы для радиочувствительных органов (щитовидная железа, гонады).

Технологические инновации в КТ

Современные КТ-сканеры обладают встроенными функциями снижения дозы:

- Автоматическая модуляция тока трубки (Automatic Tube Current Modulation, ATCM): Система автоматически регулирует ток рентгеновской трубки в зависимости от плотности и толщины сканируемой области, обеспечивая постоянное качество изображения при минимально возможной дозе.
- Итеративные методы реконструкции (Iterative Reconstruction, IR): в отличие от традиционной фильтрованной обратной проекции, IR-алгоритмы используют математические итерации для устранения шума и артефактов, позволяя снижать ток трубки (и, соответственно, дозу) на 30–60% без потери диагностического качества.
- Низковольтные протоколы (Low kVp): Использование более низкого напряжения (например, 80 кВ вместо 120 кВ) в сочетании с контрастными веществами может увеличить контрастность изображения, позволяя снизить общую дозу.

Радиационная защита персонала

Радиационная защита персонала является ключевым компонентом безопасности в рентгенодиагностике, интервенционной радиологии и компьютерной томографии. В условиях роста объёмов лучевых исследований и увеличения дозовых нагрузок на операторов важность строгого соблюдения радиационно-гигиенических норм многократно возрастает. Персонал подвергается хроническому воздействию рассеянного излучения, что при недостаточной защите может приводить к стохастическим (канцерогенез) и нестохастическим эффектам (катарактия хрусталика, дерматологические изменения).

Защита персонала регламентируется международными и национальными документами:

- ICRP (Международная комиссия по радиологической защите)
- IAEA Basic Safety Standards.
- Национальные СанПиН / ГН / МУ — устанавливают допустимые уровни облучения и требования к организации защиты.

Годовые предельные дозы (ICRP):

- Эффективная доза для персонала: ≤ 20 мЗв/год (усреднение за 5 лет).
- Хрусталик глаза: ≤ 20 мЗв/год.
- Кожа, кисти и стопы: ≤ 500 мЗв/год.

Стационарные защитные конструкции:

- стационарные стены с 2–3 мм Pb-эквивалентом;
- потолочные экраны;
- перегородки с просвинцованным стеклом;
- дистанционные панели управления.

Таблица 3. Рекомендованные минимальные эквиваленты свинца для СИЗ персонала.

Средство защиты	Эквивалент свинца	Комментарий
Защитный фартук	0,35–0,5 мм Pb	Основная защита туловища
Воротник (щит. железа)	0,5 мм Pb	Профилактика рака ЩЖ
Защитные очки	0,5 мм Pb	Профилактика радиационной катаракты
Полухалаты, перчатки	0,5 мм Pb	Применяются в инвазивных процедурах
Мобильные ширмы	1–2 мм Pb	Используются в операционных и ангиографических залах

Организационные мероприятия

- Чёткое зонирование помещений (пультовая, процедурная, шлюзы).
- Использование знаков радиационной опасности.
- Ведение дозиметрического контроля:

— индивидуальные термолюминесцентные дозиметры,

— электронные дозиметры в реальном времени.

- Регистрация результатов в журнале доз.
- Регулярные проверки защитных средств (раз в 6–12 месяцев).
- Повышение квалификации (не реже 1 раза в 5 лет).

Средства индивидуальной защиты (СИЗ)

СИЗ являются первой линией обороны, особенно при интервенционных процедурах (ангиография, флюороскопия):

- Свинцовые фартуки/жилеты (обычно 0.25–0.5 мм эквивалента свинца).
- Воротники для защиты щитовидной железы.
- Защитные очки (эквивалент свинца) для защиты хрусталика глаза.
- Защитные ширмы и передвижные барьеры.

Организационные и технические меры

1. Дистанция: Персонал должен максимально использовать расстояние от источника излучения. За счет закона обратных квадратов, удвоение расстояния снижает дозу в четыре раза. Это особенно важно во флюороскопии.

2. Экранирование помещений: Стены, пол, потолок и смотровое окно процедурных кабинетов должны иметь адекватную защиту (свинцовый или баритобетонный эквивалент).

3. Дозиметрический контроль:

Индивидуальный дозиметрический контроль (ИДК): Обязательное ношение термолюминесцентных (ТЛД) или оптически стимулированных люминесцентных (ОСЛ) дозиметров для регистрации накопленной дозы.

Контроль рабочих мест: Периодический мониторинг мощности дозы в различных точках процедурного кабинета.

Заключение

Принцип ALARA и строгая дозиметрия являются не просто регуляторными требованиями, а основой для этичной и безопасной практики в лучевой диагностике. Постоянное внедрение технологических инноваций (таких как IR, АТСМ, томосинтез) и соблюдение организационных мер (ИДК, ДРУ, СИЗ) позволяют достигать минимально возможной дозовой нагрузки без ущерба для диагностического качества.

Дальнейшее развитие радиационной защиты требует продолжения научных исследований в области оценки долгосрочных рисков, разработки более точных методов индивидуальной дозиметрии и повышения осведомленности как среди персонала, так и среди населения.

Литература

1. Dixon E. (2021). Diagnostic Reference Levels (DRLs): International Trends and Implementation Strategies. *European Journal of Radiology*.
2. Fischer G. (2020). The Role of Dosimetry in Quality Assurance in Modern CT Imaging. *Journal of Applied Clinical Medical Physics*
3. Hernandez I., Gomez J. (2025). Comparative Analysis of Iterative Reconstruction Algorithms in Pediatric CT Scans. *Pediatric Radiology*.
4. Klein L. (2024). Optimization of Low-kVp Protocols in CT Angiography: A Dose Reduction Strategy. *American Journal of Roentgenology (AJR)*.
5. Miller N. (2023). Automatic Tube Current Modulation (ATCM) Performance Across Different CT Scanner Vendors. *Medical Physics*.
6. O'Connell P. (2022). Dose Reduction Potential of Digital Breast Tomosynthesis (DBT) vs. Standard Mammography. *Radiology*.
7. Quinn R. (2021). Impact of Artificial Intelligence on Dose Management in Interventional Radiology. *Journal of Vascular and Interventional Radiology*.
8. Sánchez T. (2020). Utilizing Organ-Specific Shielding in X-Ray Procedures: A Comprehensive Review. *Radiation Research*.
9. Upton V. (2019). Dose-Length Product (DLP) vs. Effective Dose: Correlation and Discrepancies in Abdominal CT. *Clinical Radiology*.

10. Wagner X. (2024). Long-Term Efficacy of Lead Equivalents in Protective Aprons and Shields. Health Physics.
11. Умаров Ф.У., Вохидова Ф.Ф. (2025). СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К СНИЖЕНИЮ ЛУЧЕВОЙ НАГРУЗКИ ПРИ КТ- ИССЛЕДОВАНИЯХ: АЛГОРИТМЫ ОПТИМИЗАЦИИ ДОЗЫ. Healthway, 1(3), 4-14. <https://doi.org/10.64411/hp7gwq71>
12. Yakubov D.J., Shukurova S.A. (2025). THE ROLE OF ULTRASOUND IN EARLY DETECTION OF THYROID PATHOLOGY: MODERN CRITERIA AND CLASSIFICATIONS (TIRADS 2024). Healthway, 1(3), 15-24. <https://doi.org/10.64411/d5qc3066>
13. Atayeva S.X., Jurakulova S.T. (2025). SUT BEZI O 'SMALARINI DIFFERENTIAL DIAGNOSTIKA QILISHDA ULTRATOVUSH ELASTOGRAFIYANING AHAMIYATI. Healthway, 1(3), 25-33. <https://doi.org/10.64411/c5rfmm70>
14. Yakubov D.J., Azamjonov M.I. (2025). TURLI SPORT TURLARIDA TIZZA BO'G'IMI JAROHATLARINING DARAJASI VA TUZILISHINI TAHLIL QILISH. Healthway, 1(3), 51-60. <https://doi.org/10.64411/n67w7x49>
15. Аметова А.С., Баротова М.Ф., Бердикулов А.Р. (2025). УЛЬТРАЗВУКОВОЙ МОНИТОРИНГ В АКУШЕРСКОЙ ПРАКТИКЕ: АНАЛИЗ ФЕТОМЕТРИЧЕСКИХ НОРМАТИВОВ И ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ДИАГНОСТИКА ПРЕНАТАЛЬНОЙ ПАТОЛОГИИ. Healthway, 1(3), 63-75. <https://doi.org/10.64411/qbqvkr54>
16. Умаров Ф.У., Усмонова М.Ш. (2025). СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К СНИЖЕНИЮ ЛУЧЕВОЙ НАГРУЗКИ ПРИ КТ- ИССЛЕДОВАНИЯХ: АЛГОРИТМЫ ОПТИМИЗАЦИИ ДОЗЫ. Healthway, 1(3), 93-100. <https://doi.org/10.64411/tkd50871>
17. Atayeva S.X., Bafoyeva M.M. (2025). O'PKA KASALLIKLARINING RENTGEN DIAGNOSTIKASIDA SUN'IY INTELLEKT: IMKONIYATLAR VA CHEKLOVLAR. Healthway, 1(3), 101-110. <https://doi.org/10.64411/06msbe93>
18. Davranov I.I., Ergashpulotova S.X. (2025). THE ROLE OF LOW-DOSE COMPUTED TOMOGRAPHY IN THE EARLY DETECTION OF LUNG CANCER IN HIGH-RISK PATIENTS. Healthway, 1(3), 161-171. <https://doi.org/10.64411/g4eas641>
19. Ametova A.S., Xurramova D.E. (2025). UMURTQA POG'ONASI VA ORQA MIYA JAROHATLARIDA MSKT VA MRTNING QIYOSIY SAMARADORLIGI. Healthway, 1(3), 172-182. <https://doi.org/10.64411/2cgy0263>
20. Atayeva S.X., Isroilova D.D. (2025). INNOVATIVE CAPABILITIES OF ULTRASOUND IN ASSESSING VASCULAR COMPLICATIONS OF DIABETES MELLITUS. Healthway, 1(3), 183-190. <https://doi.org/10.64411/ejxmkip77>
21. Ravshanov Z.X., Hamrayev J.H. (2025). Ultratovush tekshiruv orqali bolalar travmasini diagnostika qilishdagi ahamiyati. Healthway, 1(3), 191-200. <https://doi.org/10.64411/qe1dpg40>
22. Хамидов О.А., Усаров М.Ш., Равшанов З.Х. (2025). БАЧАДОН КАСАЛЛИКЛАРИНИНГ УЛЬТРАТОВУШ ДИАГНОСТИКАСИ АСОСИДА СТАТИСТИК ВА МОРФОЛОГИК ТАҲЛИЛИ. Healthway, 1(3), 209217. <https://doi.org/10.64411/2x0ejw67>
23. Хамидов О.А., Шарофова М.Ж. (2025). Ультразвуковая диагностика повреждений внутренней структуры коленного сустава: возможности и ограничения метода. Healthway, 1(2), 63-73. <https://doi.org/10.64411/dww3xf03>

24. Якубов Д.Дж., Муминова Р.Р. (2025). РЕНТГЕНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ АРТРИТОВ РАЗЛИЧНОЙ ЭТИОЛОГИИ: ПУТИ ОПТИМИЗАЦИИ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ. Healthway, 1(2), 251-261. <https://doi.org/10.64411/wz38wt76>
25. Атаева С.Х., Субханова М.Х. (2025). ЦИФРОВАЯ СУБТРАКЦИОННАЯ АНГИОГРАФИЯ КАК ИНСТРУМЕНТ ОЦЕНКИ ВАСКУЛЯРИЗАЦИИ ОПУХОЛЕЙ. Healthway, 1(2), 262-274. <https://doi.org/10.64411/w8bmnw32>
26. Ravshanov Z.X., Turdumatov J.A. (2025). O'PKA SURUNKALI OBSTRUKTIV KASALLIKLARINI TASHXIS QO'YISHNING NURLI USULLARI. Healthway, 1(1), 4-10. <https://healthway.uz/index.php/hw/article/view/1>
27. Хамидов О.А., Жуманов З.Э., Усаров М.Ш. (2025). СТАТИСТИЧЕСКИЙ И МОРФОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПАТОЛОГИЙ ТЕЛА МАТКИ С ПОМОЩЬЮ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ МЕТОДОВ. Healthway, 1(1), 11-20. <https://healthway.uz/index.php/hw/article/view/2>

Muallif bilan bog'lanish uchun e-mail	Author's contact email	Email для связи с автором
ZhuraevK06@gmail.com		