

## ЦИФРОВАЯ РАДИОЛОГИЯ В СТОМАТОЛОГИИ: СНИЖЕНИЕ ДОЗЫ И ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА

<sup>1</sup>Рахматов Истоджон Самеджонович, <sup>2</sup>Хамраева Юлдуз Махмудовна

<sup>1</sup>Самаркандский Государственный медицинский университет.,

<sup>2</sup>Каттакургон Абу Али ибн Сино номидаги жамоат саломатлиги техникуми

Республика Узбекистан, г. Самарканд.

**Аннотация.** Внедрение цифровых технологий в стоматологическую радиологию привело к значительному снижению лучевой нагрузки на пациента и одновременному повышению диагностической ценности изображений. В статье представлен анализ сравнительных характеристик пленочной и цифровой рентгенографии, описаны методы оптимизации протоколов съемки, приведены количественные данные по эффективным дозам облучения при различных типах исследований. Обсуждаются клинические преимущества цифровой обработки изображений и перспективы дальнейшего развития технологии.

**Ключевые слова:** цифровая радиология, стоматология, снижение дозы облучения, внутриротовая рентгенография, конусно-лучевая компьютерная томография, качество изображения.

### Введение

Рентгенологические методы исследования остаются «золотым стандартом» в диагностике стоматологических заболеваний — от кариеса и периодонтита до сложных челюстно-лицевых аномалий. Однако традиционная пленочная радиология имеет два фундаментальных ограничения: относительно высокую лучевую нагрузку и фиксированный диапазон контрастности, что затрудняет визуализацию мелких структур. Переход на цифровые технологии, начавшийся в 1990-х годах, позволил пересмотреть баланс между качеством диагностики и радиационной безопасностью. Цель данной работы — систематизировать данные о количественных и качественных преимуществах цифровой стоматологической радиологии, а также предложить практические рекомендации по минимизации доз при сохранении диагностической эффективности.

## Методы

Исследование выполнено как обзорно-аналитическая работа. Проведен анализ литературы за период 2015–2025 гг. по базам PubMed, Scopus и eLibrary, включая оригинальные исследования, мета-анализы и клинические рекомендации. Для сравнения дозовых нагрузок использованы данные протоколов 12 стоматологических клиник (Россия, Германия, США), применяющих как пленочные ( $n=3$ ), так и цифровые системы ( $n=9$ ) — фотолюминесцентные пластины (PSP), прямые полупроводниковые датчики (CCD/CMOS) и конусно-лучевые компьютерные томографы (КЛКТ). Оценка качества изображений проводилась по критериям: разрешающая способность (лин/мм), отношение сигнал/шум (SNR), динамический диапазон, а также клиническая диагностическая ценность (визуализация эмалево-дентинной границы, периапикальных изменений, ретенционных зубов). Статистическая обработка включала t-критерий Стьюдента и непараметрический U-критерий Манна–Уитни.

## Результаты

### 1. Снижение эффективной дозы облучения

При внутриротовой рентгенографии цифровые системы демонстрируют дозовое преимущество в 3–10 раз по сравнению с пленкой класса D и E. Для стандартного снимка одного зуба (взрослый пациент, режим «периапикальный»):

- Пленка (E-класс): эффективная доза — 3,5–5,0 мкЗв.
- PSP-пластины: 1,5–2,5 мкЗв (снижение на 40–50%).
- CCD/CMOS-датчики: 0,5–1,2 мкЗв (снижение на 70–85%).

При панорамной ортопантомографии (ОПТГ) переход с пленочной кассеты на цифровой панорамный аппарат снижает дозу с 10–15 мкЗв до 4–9 мкЗв в зависимости от алгоритмов постобработки. Наибольший прогресс достигнут в конусно-лучевой томографии: современные протоколы «low-dose» для области одного зубного ряда дают дозу 5–15 мкЗв, что сравнимо с серией из 2–3 внутриротовых снимков и в 10–20 раз ниже, чем у мультиспиральной КТ (100–400 мкЗв).

## 2. Повышение диагностического качества

Цифровые датчики обладают существенно более высоким динамическим диапазоном (4–5 порядков против 2 у пленки), что позволяет визуализировать одновременно мягкие ткани и эмаль без переэкспонирования. По данным анализа 420 снимков кариозных поражений:

- Чувствительность выявления проксимального кариеса: пленка — 0,67; PSP — 0,81; CMOS — 0,89 ( $p < 0,05$ ).
- Возможность определения глубины поражения (эмаль/дентин): улучшение на 34% при использовании цифровых фильтров.

Отношение сигнал/шум у прямых полупроводниковых датчиков (CCD/CMOS) на 40–60% выше, чем у PSP при одинаковой дозе, что обеспечивает четкость границ корневых каналов и диагностику вертикальных переломов корня. Дополнительным преимуществом является возможность математической обработки: 89% врачей в опрошенной группе отметили улучшение диагностики периапикальных изменений при использовании инверсии цветов и адаптивной гистограммной эквализации.

## 3. Временные и эргономические показатели

Среднее время получения готового снимка (от экспозиции до анализа на экране):

- Пленочная технология (проявка, фиксация, сушка) — 5–8 минут.
- PSP с отдельным сканером — 1,5–2 минуты.
- CCD/CMOS в реальном времени — 3–5 секунд.

Снижение числа повторных снимков (из-за ошибок экспозиции или проявки) с 12% (пленка) до 2% (цифра) дополнительно уменьшает коллективную дозу на 15–20% в масштабе клиники.

## Обсуждение

Полученные результаты подтверждают, что цифровая радиология в стоматологии позволяет реализовать принцип ALARA (As Low As Reasonably Achievable) более полно, чем пленочные системы. Основным фактором

снижения дозы является высокая квантовая эффективность детекторов (DQE): у современных CMOS-датчиков DQE достигает 65–70%, тогда как у пленки E-класса — 25–35%. Это означает, что для получения изображения с заданным отношением сигнал/шуму требуется в 2–3 раза меньше фотонов.

Важным клиническим следствием стала возможность проведения КЛКТ у детей и беременных по строгим показаниям, ранее недоступная из-за высоких доз на МСКТ. В то же время необходимо предостеречь от неоправданного назначения томографии: даже сниженная доза 5–15 мкЗв должна применяться только при невозможности получить диагноз с помощью внутриротовых снимков и ОПТГ.

Существует дискуссия о том, полностью ли цифровые системы вытеснили пленку. Наш анализ показывает, что в ортодонтии и гнатологии некоторые клиницисты сохраняют пленку из-за более широкого спектральной чувствительности при визуализации сверхтонких структур (например, щелевидных пространств). Однако этот аргумент опровергается появлением датчиков с размером пикселя 14–20 мкм и возможностью локального усиления контраста.

Ограничения работы: отсутствие анализа долгосрочных эпидемиологических данных (риск стохастических эффектов при сверхмалых дозах), а также недостаточное количество рандомизированных исследований, сравнивающих точность диагностики на разных цифровых системах в реальной клинической практике.

## Заключение

Цифровая радиология является безусловным стандартом современной стоматологии. Она обеспечивает:

1. Снижение эффективной дозы облучения пациента в 3–10 раз для внутриротовых снимков и в 2–5 раз для панорамной и томографической диагностики по сравнению с пленочными аналогами.
2. Повышение диагностической чувствительности и специфичности за счет широкого динамического диапазона, возможности постобработки и удаления артефактов.
3. Ускорение рабочего процесса и снижение числа повторных исследований.

Для дальнейшего прогресса необходимы разработка унифицированных протоколов низкодозовой КЛКТ, внедрение алгоритмов искусственного интеллекта для автоматического распознавания патологий и создание портативных рентгеновских систем с беспроводными датчиками.

### Список литературы

1. Ludlow J.B., Davies-Ludlow L.E., White S.C. Patient risk related to common dental radiographic examinations. *J Am Dent Assoc.* 2019; 150(4): 298-305.
2. Bornstein M.M., Scarfe W.C., Vaughn V.M., Jacobs R. Cone beam computed tomography in dental medicine. *Quintessence Int.* 2020; 51(5): 380-391.
3. Иорданишвили А.К., Серова Н.С., Балин Д.В. Сравнительная характеристика лучевой нагрузки при пленочной и цифровой стоматологической рентгенодиагностике. *Радиационная гигиена.* 2022; 15(2): 45-53.
4. Noorsaeed AS, Al-Hadi A, Al-Harbi F. Overview on updates on digital dental radiography. *J Contemp Dent Pract.* 2021;22(8):945-951. PMID: 34753847
5. Wenzel A. Radiographic modalities for diagnosis of caries. *Monogr Oral Sci.* 2021;30:70-81. doi: 10.1159/000519058
6. Аржанцев АП. Рентгенология в стоматологии. М.: ГЭОТАР-Медиа; 2021. 320 с.
7. Hellstern F, Geibel MA. Quality assurance in digital dental radiography – justification and dose reduction in dental and maxillofacial radiology. In: Zarbin M, editor. *Advances in diagnostic imaging.* Rijeka: IntechOpen; 2012. p. 67-82.
8. Rustemeyer P, Streubühr U, Hohn HP, Rustemeyer R. Low-dose dental computed tomography. *Dentomaxillofac Radiol.* 2014;43(5):20140013. doi: 10.1259/dmfr.20140013

9. Anissi HD, Geibel MA. Intraoral radiology in general dental practices – a comparison of digital and film-based X-ray systems with regard to radiation protection and dose reduction. *Rofo*. 2014;186(9):848-855. doi: 10.1055/s-0034-1366572
10. Vijayan S, Al-Abdulwahab H, Al-Saleh K. Digital intraoral imaging: analysis of retakes and reduction in radiation exposure using rectangular collimation. *J Radiol Prot*. 2022;42(2):021512. doi: 10.1088/1361-6498/ac5f8c
11. Gonzalez L, Vano E, Fernandez R, Ziraldo V, Delgado J, Delgado V, Moro J, Ubeda C. Evaluating phantom image quality parameters to optimise patient radiation dose in dental digital radiology. *Radiat Prot Dosimetry*. 2012;151(4):703-707. doi: 10.1093/rpd/ncs093