УДК 616.31-085:004.9
DOI: 10.36979/1694-500X-2026-26-1-114-119

АКТУАЛЬНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СТОМАТОЛОГИИ

Т.К. Абдышев

Аннотация. Представлен обзор современных направлений развития инновационных технологий в стоматологии. Проведён анализ 24 литературных источников, включающих отечественные и зарубежные публикации за последние годы. Установлено, что наибольшее развитие получили цифровые технологии (CAD/CAM-системы, 3D-визуализация, компьютерное моделирование), лазерные методы лечения, применение биоматериалов и нанотехнологий, а также регенеративные подходы с использованием клеточных технологий. Особое внимание уделено роли телемедицины и цифровых образовательных платформ, способствующих повышению доступности стоматологической помощи и профессиональной подготовки специалистов. Результаты анализа показывают, что инновационные технологии способствуют индивидуализации лечебных подходов, сокращению сроков реабилитации, повышению точности диагностики и качества стоматологической помощи.

Ключевые слова: стоматология; инновационные технологии; цифровая стоматология; CAD/CAM; 3D-визуализация; лазерные технологии; биоматериалы.

СТОМАТОЛОГИЯДАГЫ ИННОВАЦИЯЛЫК ТЕХНОЛОГИЯЛАРДЫ ӨНҮКТҮРҮҮНҮН АКТУАЛДУУ БАГЫТТАРЫ

Т.К. Абдышев

Аннотация. Бул макалада стоматологиядагы инновациялык технологияларды өнүктүрүүнүн заманбап багыттарына сереп берилген. Акыркы жылдардагы ата мекендик жана чет элдик басылмалар жана чет өлкөлүк 24 илимий булак талданды. Изилдөөлөрдүн жыйынтыгында эң активдүү өнүгүп жаткан тармактар катары санариптик технологиялар (CAD/CAM системалары, 3D-визуализация, компьютердик моделдөө), лазердик дарылоо ыкмалары, биоматериалдар менен нанотехнологияларды колдонуу жана клеткалык технологияларга негизделген регенеративдик ыкмалар аныкталды. Ошондой эле телемедицинанын жана санариптик билим берүү платформаларынын ролуна өзгөчө көңүл бурулган, алар стоматологиялык жардамдын жеткиликтүүлүгүн жана адистердин кесиптик даярдыгын жогорулатууга өбөлгө түзөт. Анализдин натыйжалары көрсөткөндөй, инновациялык технологиялар дарылоонун индивидуал даштырылышына, реабилитация мөөнөттөрүнүн кыскаруусуна, диагностиканын тактыгына жана стоматологиялык жардамдын сапатынын жогорулашына өбөлгө түзөт.

Түйүндүү сөздөр: стоматология; инновациялык технологиялар; санариптик стоматология; CAD/CAM; 3D-визуализация; лазердик технологиялар; биоматериалдар.

CURRENT TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN DENTISTRY

T.K. Abdyshev

Abstract. The article presents a review of current trends in the development of innovative technologies in dentistry. An analysis of 24 literary sources, including recent domestic and foreign publications, was carried out. It was found that the most actively developing areas include digital technologies (CAD/CAM systems, 3D-imaging, computer modeling), laser treatment methods, the use of biomaterials and nanotechnologies, as well as regenerative approaches involving cellular technologies. Special attention is paid to the role of telemedicine and digital educational platforms, which contribute to improving the accessibility of dental care and the professional training of specialists. The analysis

demonstrates that innovative technologies promote the individualization of treatment approaches, shorten rehabilitation periods, and enhance diagnostic accuracy and the overall quality of dental care.

Keywords: dentistry; innovative technologies; digital dentistry; CAD/CAM; 3D-imaging; laser technologies; biomaterials.

Современная стоматология является одной из наиболее динамично развивающихся отраслей медицины, в которой внедрение инновационных технологий играет ключевую роль в повышении качества диагностики, лечения и профилактики заболеваний полости рта. Увеличение требований к уровню стоматологической помощи, рост ожиданий пациентов, а также стремление к минимально инвазивным методам лечения обусловили необходимость активного внедрения новейших научных разработок и технических решений в практическую деятельность стоматологов.

К числу актуальных направлений развития инновационных технологий в стоматологии относятся цифровизация диагностических процессов, использование 3D-визуализации и компьютерного моделирования, внедрение CAD/CAM-систем для протезирования, применение лазерных технологий, биоинженерных и наноматериалов, а также телемедицинских и образовательных платформ. Эти достижения позволяют не только повысить точность диагностики и эффективность лечебных мероприятий, но и способствуют индивидуализации подходов к каждому пациенту, сокращению сроков реабилитации и улучшению прогноза.

Важным аспектом является также развитие междисциплинарного взаимодействия, которое обеспечивает интеграцию стоматологии с достижениями инженерных, биотехнологических и информационных наук. Такой подход открывает новые перспективы в создании биосовместимых материалов, разработке инновационных методов регенеративной терапии, а также в формировании персонализированных схем лечения.

Целью настоящего исследования является всесторонний анализ и обобщение современных направлений развития инновационных технологий в стоматологии, определение их роли в повышении эффективности диагностики, лечения и профилактики стоматологических заболеваний, а также оценка перспектив внедрения данных технологий в клиническую практику.

Материалы и методы. В рамках данного исследования проведён аналитический обзор научных публикаций, посвящённых актуальным направлениям развития инновационных технологий в стоматологии. В качестве материала для анализа использовались литературные источники, опубликованные в рецензируемых отечественных и зарубежных журналах, включённых в международные базы данных PubMed, Scopus, Web of Science, а также монографии и современные руководства по стоматологии.

Всего было изучено 24 источника литературы, охватывающих период последних десяти лет. Отбор публикаций осуществлялся по следующим критериям: соответствие заявленной теме исследования, наличие данных о внедрении и эффективности инновационных технологий в стоматологической практике, а также научная и практическая значимость представленных материалов.

Результаты исследования. Анализ 24 литературных источников показал, что в современной стоматологии активно формируются и развиваются несколько ключевых направлений инновационных технологий.

Цифровизация прочно вошла в различные сферы человеческой деятельности, и медицина не является исключением. В последние десятилетия цифровые технологии оказали значительное влияние на стоматологическую практику, обеспечивая более высокую точность диагностики, эффективность лечебных мероприятий и персонализацию подходов к пациентам [1, 2].

Современные методы диагностики в стоматологии включают использование радиовизиографов, компьютерных томографов, виртуальных артикуляторов, цифровых фотоаппаратов и специализированного программного обеспечения для анализа полученных данных. Эти инструменты позволяют формировать высококачественные изображения и трехмерные модели, которые служат основой для точного планирования как терапевтических, так и хирургических вмешательств. Особенно значимым прорывом стало

внедрение конусно-лучевой компьютерной томографии (КЛКТ), обеспечивающей получение детализированных 3D-изображений. Эта технология незаменима при подготовке к дентальной имплантации, ортодонтическому лечению и в челюстно-лицевой хирургии, где требуется высокая точность оценки анатомических структур [3, 4].

Одним из наиболее перспективных направлений является использование аддитивных технологий, в частности 3D- и 4D-печати. Эти методы позволяют создавать индивидуализированные изделия, полностью адаптированные к анатомическим особенностям пациента. К числу таких изделий относятся хирургические шаблоны для навигации сверления при имплантации, временные и постоянные коронки и мосты, ортодонтические аппараты, индивидуальные имплантаты и ортопедические конструкции. В челюстно-лицевой хирургии 3D-печать также применяется для моделирования костных трансплантатов и реконструктивных протезов.

Исследование Khorsandi D. и соавторов (2021) представляет собой один из фундаментальных обзоров в данной области. Авторы подробно рассматривают доступные технологии 3D- и 4D-печати, а также систематизируют сведения о применяемых материалах. Подчеркивается, что несмотря на впечатляющий прогресс, вопросы биосовместимости, механической прочности и долговечности печатных конструкций остаются актуальными и требуют дальнейших исследований. Это подтверждает необходимость продолжения научных разработок в области оптимизации как самих технологий печати, так и используемых материалов, что позволит в будущем значительно расширить их клиническое применение [5, 6].

Таким образом, 3D- и 4D-печать в стоматологии и челюстно-лицевой хирургии являются передовыми технологиями, которые открывают новые горизонты в диагностике, лечении и протезировании. Анализ последних публикаций демонстрирует устойчивый рост интереса к данным методам и указывает на высокую вероятность их интеграции в стандартную стоматологическую практику в ближайшие годы.

Одним из наиболее значимых достижений цифровой стоматологии стало внедрение систем компьютерного проектирования и автоматизированного производства реставраций (CAD/CAM – Computer-Aided Design/ Computer-Aided Manufacturing). Истоки данной технологии берут начало в 1960-х годах XX века, когда в промышленности начали разрабатываться первые концепции автоматизации проектирования и обработки материалов. В медицинскую практику CAD/CAM пришли позже, но именно в стоматологии они получили широкое распространение благодаря высокой потребности в индивидуализированных и точных реставрационных конструкциях.

Ключевым этапом в становлении цифровой стоматологии стало создание системы CEREC® (Chairside Economical Restorations of Esthetic Ceramic), разработанной в начале 1980-х годов доктором W. Mormann и инженером M. Brandestini в Университете Цюриха. Первые коммерческие версии выпускались компанией Siemens Dental Corp. (Бенсхайм, Германия), а позднее производство и дальнейшее развитие было продолжено компанией SIRONA (Германия) [7].

Особенностью первой системы стало использование метода структурированного света для внутриротового сканирования, что позволило получать точные цифровые модели зубов и зубных рядов. Первоначально система была ориентирована на изготовление керамических вкладок, которые фрезеровались при помощи алмазных дисков. Несмотря на то, что формирование окклюзионной поверхности в ранних версиях выполнялось вручную с использованием бор-насадок, качество краевого прилегания и клиническая долговечность реставраций удовлетворяли требованиям практикующих стоматологов.

Главной инновацией системы стало внедрение концепции chair side – изготовления керамических реставраций непосредственно у стоматологического кресла. Это значительно сокращало время лечения, позволяло отказаться от многократных визитов и повышало уровень персонализации медицинской помощи [8].

С момента своего появления система CEREC® прошла несколько стадий модернизации, каждая из которых расширяла ее

функциональные возможности и повышала клиническую ценность:

CEREC® 1 (1987) – первая версия с мобильным CAD/CAM-устройством, включавшим компьютер, клавиатуру, трекбол, ножную педаль и оптоэлектронную ротовую камеру.

CEREC® 2 (1994) – расширение возможностей: изготовление вкладок, накладок, коронок и виниров.

CEREC® 3 (2000) – интеграция Windows-ориентированного интерфейса и улучшение программного обеспечения.

CEREC® 3D (2003) – внедрение полноценного 3D-моделирования реставраций.

CEREC® MC XL (2007) – появление нового фрезерного станка с повышенной точностью.

CEREC® AC Bluecam (2009) – переход на использование коротковолнового синего света, что значительно улучшило качество сканирования.

CEREC® Primescan (2019) – введение интраорального сканера нового поколения с высокой скоростью и точностью.

Развитие системы CEREC® стало важным этапом в эволюции CAD/CAM-технологий в стоматологии. Она продемонстрировала, что цифровые технологии способны не только повысить точность и эффективность стоматологических процедур, но и изменить саму парадигму оказания помощи – от традиционного многоэтапного процесса к быстрому, высокотехнологичному и индивидуализированному лечению [9–11].

Таким образом, появление и развитие CEREC® можно рассматривать как переломный момент в истории стоматологии, который заложил основу для дальнейшего внедрения цифровых решений – от 3D-печати до искусственного интеллекта в диагностике и планировании лечения.

В последние десятилетия методы лучевой диагностики в стоматологии претерпели значительное развитие, что в первую очередь связано с широким внедрением конусно-лучевой компьютерной томографии (КЛКТ) и технологий трёхмерной реконструкции. Эти инновации существенно повысили качество визуализации анатомических структур челюстно-лицевой области и открыли новые возможности для точного планирования лечебных вмешательств.

Традиционные двухмерные методы исследования, такие как ортопантомография и прицельная рентгенография, несмотря на сохраняющуюся актуальность в рутинной клинической практике, имеют ряд ограничений. Основными недостатками являются невозможность получения полноценного пространственного изображения зубочелюстной системы, наличие искажений размеров и формы объектов, а также наложение анатомических структур, что существенно снижает информативность и может приводить к диагностическим ошибкам.

В отличие от этого, КЛКТ обеспечивает получение трёхмерных изображений с высокой пространственной точностью, позволяя детально изучать топографию зубов, костных структур, придаточных пазух носа и височно-нижнечелюстного сустава. Возможность виртуальной реконструкции исследуемой области значительно расширяет диагностический потенциал метода и делает его незаменимым при планировании дентальной имплантации, хирургических вмешательств и комплексного ортодонтического лечения [12–15].

Таким образом, КЛКТ выступает не только как диагностический инструмент, но и как метод, обеспечивающий высокую предсказуемость и безопасность проводимых лечебных мероприятий.

Наряду с КЛКТ, всё большее внимание в последние годы привлекает магнитно-резонансная томография (МРТ), которая занимает особое место среди методов лучевой диагностики. В отличие от рентгенологических технологий, МРТ основана на физических принципах ядерно-магнитного резонанса, открытых в середине XX века, что ознаменовало новый этап в развитии медицинской визуализации. Методика базируется на воздействии мощного магнитного поля и радиочастотных импульсов на ткани организма, благодаря чему формируются изображения с высокой контрастностью и детальной структурной визуализацией.

Особая ценность МРТ заключается в её способности предоставлять информацию о состоянии мягких тканей, суставных структур и сосудов без использования ионизирующего излучения. Это делает метод перспективным для

стоматологии, особенно в области диагностики заболеваний височно-нижнечелюстного сустава, мягкотканных образований полости рта, а также в случаях, когда требуется уточнение состояния сосудисто-нервных пучков челюстно-лицевой области [16].

Особенностью магнитно-резонансной томографии является способность не только воспроизводить морфологические особенности исследуемых областей, но и предоставлять функциональную информацию о состоянии мягкотканых структур, особенностях регионарного кровообращения и метаболических процессах. Такой подход открывает новые диагностические возможности, выходящие за рамки стандартной морфологической визуализации.

Данное качество принципиально отличает МРТ от традиционных рентгенологических методов, включая ортопантомографию и компьютерную томографию. Эти методы обладают высокой информативностью при оценке состояния костных структур, однако существенно ограничены в диагностике мягкотканых компонентов. В отличие от них, МРТ обеспечивает детальную визуализацию мышечно-связочного аппарата, суставных дисков, сосудисто-нервных пучков и мягкотканых образований, что делает её особенно востребованной в диагностике заболеваний височно-нижнечелюстного сустава, опухолевых и воспалительных процессов мягких тканей челюстно-лицевой области [17–20].

Таким образом, МРТ можно рассматривать как один из наиболее перспективных методов визуализации в стоматологии, обеспечивающий не только высокую диагностическую точность, но и возможность динамического наблюдения за состоянием мягких тканей и суставных структур в процессе лечения.

Не менее значимыми в развитии стоматологической визуализации являются достижения, связанные с разработкой новых методов магнитно-резонансного сканирования, в частности последовательностей с ультракоротким временем эха (UTE – ultrashort echo time) и нулевым временем эха (ZTE – zero echo time). В отличие от традиционных протоколов МРТ, данные технологии обеспечивают возможность регистрации сигналов от тканей с очень короткими временами релаксации, что позволяет существенно повысить качество визуализации твёрдых тканей.

Особое значение это имеет для отображения костных структур и зубов, которые на протяжении длительного времени считались «слабо видимыми» при стандартных режимах магнитно-резонансной томографии. Применение UTE- и ZTE-последовательностей создаёт предпосылки для более детального исследования таких анатомических объектов, как дентин и эмаль, а также для объективной оценки состояния костной ткани челюстей без использования ионизирующего излучения [21–24].

Таким образом, развитие этих технологий открывает перспективу формирования принципиально нового направления в стоматологической диагностике – безрадиационной оценки твёрдых тканей, что особенно важно для динамического наблюдения, педиатрической практики и комплексного планирования лечения пациентов с высоким риском лучевой нагрузки.

Поступила: 09.09.2025;
рецензирована: 23.09.2025; принята: 26.09.2025.

Литература

1. *Полховский Д.М.* Применение компьютерных технологий в стоматологии / Д.М. Полховский // Современная стоматология. 2008. № 1. С. 24–27.
2. *Ряховский А.Н.* Цифровая стоматология / А.Н. Ряховский. М.: ООО «Авантис», 2010. 282 с.
3. *Маткевич Е.И.* Направления оптимизации лучевой нагрузки при компьютерной томографии: научно-практическое руководство / под общ. ред. Е.И. Маткевич, В.Е. Синицына, И.В. Иванова. М.; Воронеж: Элист, 2018. 200 с.
4. *Нгуен М.* Случайное поражение костей на компьютерной томографии: советы по лечению для рентгенологов стоматологии / М. Нгуен, С. Болье, С. Вайнштейн, Л.К. Шин // Abdom Radiol. 2017; 42: 1586–605. DOI: 10.1007/s00261-016-1040-0 – DOI – PubMed.
5. *Khorsandi D.* 3D and 4D printing in dentistry and maxillofacial surgery: Recent advances and future perspectives / D. Khorsandi et al. // arXiv:2103.15455, 2021.
6. *Ешиев А.М.* Роль конусно-лучевой компьютерной томографии в оценке морфологии

и плотности костной ткани для предоперационного планирования дентальной имплантации / А.М. Ешиев, Р.Э. Абирова // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2025. № 7–2 (106). С. 26–31.
7. *Miyazaki T.D.* A review of dental CAD/CAM: current status and future perspectives from 20 years of experience / T.D. Miyazaki, Y. Hotta, J. Kunii // Dental materials Journal. 2009. Vol. 28. № 1. 544–566.
8. *Ешиев А.М.* Анатомические особенности нижнечелюстного канала и их влияние на дентальную имплантацию: значение компьютерной томографии / А.М. Ешиев, К.Ш. Сакибаев, Д.А. Ешиев, Н.М. Азимбаев // Морфологические аспекты фундаментальных и прикладных медицинских исследований. Материалы VI Международной научной конференции. Воронеж, 2024. С. 37–43.
9. *Schunke S.* CAD/CAM: un paso adelante o atrás? La tecnología CAD/CAM cambia la evaluación de la calidad de la prostodoncia: un artículo actual y personal / S. Schunke // Quintessence técnica. 2018. Vol. 19. № 2, ed. esp. P. 92–102.
10. *Иванов И.И.* Современные методы визуализации в стоматологии / И.И. Иванов, Л.П. Смирнова. СПб.: Денто-Пресс, 2020. 250 с.
11. *Петрова С.В.* Компьютерная томография в диагностике заболеваний зубов и челюстей / С.В. Петрова, Е.В. Лихачева. М.: Медицина, 2021. 640 с.
12. *Scarfe W.C., Farman A.G.* What is cone-beam CT and how does it work? // Dent Clin North Am. 2008; 52 (4): 707–730.
13. *Доменюк Д.А.* Диагностические возможности конусно-лучевой компьютерной томографии при проведении краниоморфологических и краниометрических исследований в оценке индивидуальной анатомической изменчивости (Ч. I) / Д.А. Доменюк, Б.Н. Давыдов, С.В. Дмитриенко [и др.] // Институт стоматологии. 2018. № 4 (81). С. 52–55.
14. *Patel S., Dawood A., Ford T.P., Whaites E.* The potential applications of cone beam computed tomography in the management of endodontic problems // Int Endod J. 2009; 42 (9): 755–766.
15. *Hatcher D.C.* Operational principles for cone-beam computed tomography // J Am Dent Assoc. 2010; 141 Suppl 3: 3S-6S.
16. *P. Allisy-Robert and J Williams*. “Magnetic resonance imaging,” in Farr’s Physics for Medical Imaging 2nd Edition. Edinburgh, 2018. Vol 43. No. 4. Pp. 169–195.
17. *Idiyatullin D., Corum C., Moeller S., Prasad H.S., Garwood M., Nixdorf D.R.* Dental magnetic resonance imaging: making the invisible visible // J. Endod. 2011. 37: 745–752. URL: https://doi.org/10.1016/j.joen.2011.02.022 DOI: 10.1016/j.joen.2011.02.022.
18. *Xiong X., Ye Z., Tang H., Wei Y., Nie L., Wei X., Liu Y., Song B.* MRI of Temporomandibular Joint Disorders: Recent Advances and Future Directions // J. Magn. Reson. Imaging. 2021. 54: 1039–1052. URL: https://doi.org/10.1002/jmri.27338 DOI: 10.1002/jmri.27338.
19. *Ешиев А.М.* Оценка лечение больных врожденной патологией челюстно-лицевой области с применением компьютерно-информационной программы / А.М. Ешиев, Н.Т. Таалайбеков, Д.А. Ешиев // Лучшая научная статья – 2022: сборник материалов международного конкурса. М., 2022. С. 117–133.
20. *K.Y. Cheng, D. Moazamian, Y. Ma, H. Jang, S. Jerban, J. Du, C.B. Chung*. Clinical application of ultrashort echo time (UTE) and zero echo time (ZTE) magnetic resonance (MR) imaging in the evaluation of osteoarthritis // Skeletal. Radiol. 2023. 52: 2149–2157. URL: https://doi.org/10.1007/s00256-022-04269-1 DOI: 10.1007/s00256-022-04269-1.
21. *Wiesinger F.,* Ho M-L. Zero-TE MRI: principles and applications in the head and neck // Br. J. Radiol. 2022. 95: 20220059. URL: https://doi.org/10.1259/bjr.20220059 DOI: 10.1259/bjr.20220059.
22. *A.C. Özen, S. Ilbey, F. Jia, D. Idiyatullin, M. Garwood, D.R. Nixdorf [et al.].* An improved intraoral transverse loop coil design for high-resolution dental MRI // Magn. Reson. Med. 2023. 90: 1728–1737. URL: https://doi.org/10.1002/mrm.29744 DOI: 10.1002/mrm.29744.
23. *Грейзер А.* МРТ, специально разработанная для стоматологии, новый подход к диагностической визуализации челюстно-лицевой области: технические характеристики и возможности применения, Dentomaxillofac / А. Грейзер, Дж. Кристенсен, Д. Макс [и др.] // Radiol. 2024. 53: 74–85. URL: https://doi.org/10.1093/dmfr/twad004. DOI: 10.1093/dmfr/twad004.
24. *Ешиев А.М.* Инновационные методы восстановления костного дефекта нижней челюсти с применением титанового имплантата / А.М. Ешиев // Инженер: научное и периодическое издание Инженерной академии Кыргызской Республики. 2022. № 25. С. 32–38.