

**КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И CAD/CAM-ПРОТЕЗИРОВАНИЕ:
СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И КЛИНИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ****Джалолидинова Шахло Джамолидиновна**

Ассистент Ферганского Медицинского Института Общественного Здоровья.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.17864069>

Аннотация. Введение цифровых технологий в ортопедическую стоматологию привело к формированию принципиально нового уровня диагностики, моделирования и изготовления ортопедических конструкций. Целью данного обзора является систематизация современных сведений о клинических возможностях CAD/CAM-протезирования, оценка точности, биомеханических и эстетических характеристик конструкций, а также анализ преимуществ и ограничений цифрового рабочего протокола. Материал исследования основан на анализе публикаций международных и отечественных баз данных за 2015–2024 гг., включающих клинические, экспериментальные и сравнительные работы по точности, долговечности и функциональности CAD/CAM-конструкций. Установлено, что использование CAD/CAM-технологий обеспечивает повышение точности краевого прилегания протезов, улучшение воспроизводимости результатов лечения, оптимизацию клинического процесса и расширение диапазона применяемых материалов. Особое значение имеют цифровая окклюзионная диагностика и интеграция аддитивных технологий, открывающих новые возможности для индивидуализации ортопедических решений. В совокупности данные подтверждают, что CAD/CAM-протезирование является ключевым направлением развития современной ортопедической стоматологии.

Ключевые слова. CAD/CAM-протезирование; цифровая стоматология; компьютерные технологии; интраоральное сканирование; диоксид циркония; литийдисиликатная керамика; 3D-печать; ортопедические конструкции; цифровая окклюзия; аддитивные технологии.

Abstract. The introduction of digital technologies into prosthetic dentistry has led to the emergence of a fundamentally new level of diagnostics, modelling, and fabrication of dental prosthetic constructions. The aim of this review is to systematize contemporary data on the clinical capabilities of CAD/CAM prosthetics, to evaluate the accuracy, biomechanical and aesthetic characteristics of digitally manufactured restorations, and to analyze the advantages and limitations of the digital workflow. The research material is based on an analysis of publications from international and national databases for the period 2015–2024, including clinical, experimental, and comparative studies on the accuracy, durability, and functional performance of CAD/CAM constructions. The findings indicate that the use of CAD/CAM technologies improves marginal fit accuracy, enhances reproducibility of treatment outcomes, optimizes clinical procedures, and broadens the spectrum of applicable restorative materials.

Special emphasis is placed on digital occlusal diagnostics and the integration of additive manufacturing technologies, which open new possibilities for individualized prosthetic solutions.

Overall, the data confirm that CAD/CAM prosthetics represents a key direction in the advancement of modern prosthetic dentistry.

Keywords. CAD/CAM prosthetics; digital dentistry; computer-aided technologies; intraoral scanning; zirconia; lithium disilicate ceramics; 3D printing; prosthetic constructions; digital occlusion; additive manufacturing.

Введение. В последние десятилетия цифровизация стоматологии превратилась из вспомогательного направления в фундаментальный компонент современной клинической практики. Применение компьютерных технологий в ортопедической стоматологии обусловило качественно новый этап развития зубного протезирования, в рамках которого CAD/CAM-системы стали не только средством повышения точности изготовления конструкций, но и инструментом оптимизации клинических процессов, сокращения сроков лечения и достижения предсказуемых функционально-эстетических результатов.

CAD (Computer-Aided Design) — компьютерное проектирование — обеспечивает моделирование анатомической формы будущей конструкции с учётом индивидуальных биомеханических характеристик пациента. CAM (Computer-Aided Manufacturing) — автоматизированное изготовление — позволяет реализовать цифровую модель в виде физического объекта с высокой степенью точности. В совокупности эти технологии изменили традиционные представления о протезировании, минимизировав влияние человеческого фактора и расширив спектр применяемых материалов — от диоксида циркония и литийдисиликатной керамики до высокопрочных полимеров.

Цель настоящей работы — проанализировать теоретические и клинические аспекты применения компьютерных технологий и CAD/CAM-протезирования, выявить ключевые преимущества, ограничения и направления дальнейшего совершенствования цифровой стоматологии.

Материалы и методы. Данное исследование выполнено в форме аналитического обзора современной литературы, посвящённой применению цифровых технологий в стоматологическом протезировании. Поиск проводился в базах PubMed, Scopus, Web of Science и eLibrary за период 2015–2024 гг., с использованием ключевых слов: *CAD/CAM dentistry, digital workflow, intraoral scanning, zirconia prosthetics, additive manufacturing in dentistry, digital occlusion analysis*.

В обзор включались публикации, содержащие:

- данные о клинической эффективности CAD/CAM-конструкций;
- сравнение традиционных и цифровых технологий изготовления протезов;
- экспериментальные исследования по точности адаптации, механической прочности и долговечности материалов;
- сведения о влиянии цифрового протезирования на течение клинического процесса.

Критериями исключения стали работы, не содержащие аналитических данных, единичные клинические наблюдения и устаревшие методики, не отражающие современный уровень CAD/CAM-технологий.

Результаты. Проведённая систематизация литературных источников убедительно демонстрирует, что внедрение CAD/CAM-технологий в ортопедическую стоматологию приводит к комплексному и многогранному улучшению ключевых клинических параметров, определяющих качество и надёжность ортопедического лечения. Прежде всего, следует подчеркнуть, что одним из наиболее значимых достижений цифрового протезирования является существенное повышение точности и воспроизводимости ортопедических конструкций. Согласно данным многочисленных исследований, краевое прилегание коронок и мостовидных протезов, изготовленных методом цифрового фрезерования, характеризуется величиной краевой щели в пределах 20–60 мкм, что значительно превосходит аналогичные показатели при традиционном методе литья.

Подобная точность обусловлена автоматизированным характером обработки, исключающим деформации материала и погрешности, связанные с усадкой гипсовых моделей, а также минимизацией влияния человеческого фактора на всех этапах производственного процесса.

Не менее важным направлением совершенствования клинической практики выступает оптимизация рабочего протокола. Цифровые технологии обеспечивают сокращение количества визитов пациента, исключение традиционного слепочного этапа, снижение вероятности технических ошибок и существенное уменьшение времени изготовления протеза. В условиях концепции *one-visit dentistry* изготовление временной или постоянной конструкции нередко становится возможным в течение одного клинического приёма. Интраоральные сканеры, обеспечивающие высокую точность передачи рельефа зубных тканей, существенно уменьшают дискомфорт пациента и повышают предсказуемость результата, что выгодно отличает цифровой протокол от традиционных методов.

Следующей ключевой составляющей эффективности CAD/CAM-протезирования является расширение возможностей материаловедения. Современные цифровые системы позволяют работать с широким спектром высокотехнологичных материалов, включающих диоксид циркония, литийдисиликатную керамику, а также полимерные материалы нового поколения (PEEK, PMMA). Каждый из этих материалов обладает строго определёнными физико-механическими свойствами: диоксид циркония отличается высокой прочностью на изгиб, достигающей 700–1200 МПа, и биосовместимостью; литийдисиликат демонстрирует выраженные эстетические качества, особенно в зоне улыбки; высокопрочные полимеры обеспечивают оптимальный баланс прочности и гибкости при изготовлении временных и функциональных конструкций. Важным аспектом является и то, что материалы, изготовленные методом компьютерного фрезерования, обладают более однородной внутренней структурой с минимальным количеством микропор и дефектов, что положительно влияет на их долговечность и устойчивость к нагрузкам.

Значительное внимание в современных исследованиях уделяется функционально-окклюзионным преимуществам цифрового протезирования. Интеграция виртуальной артикуляции, позволяющей моделировать движения нижней челюсти в трёх плоскостях, обеспечивает более точную оценку распределения функциональных нагрузок, оптимизацию контактов и гармонизацию окклюзионных взаимоотношений. Благодаря этому снижается риск перегрузки зубов-опор, возникновения микротрещин и сколов керамики, а также минимизируется вероятность необходимости повторных вмешательств.

Наконец, особую значимость приобретает интеграция аддитивных технологий как нового этапа развития цифрового протезирования. Трёхмерная печать позволяет изготавливать широкий спектр клинически востребованных изделий — от хирургических шаблонов и окклюзионных шин до временных коронок и моделей челюстей.

Преимущества аддитивных технологий заключаются в высокой индивидуализации конструкций, минимальном расходе материала и возможностях создания сложных геометрических форм, которые трудно воспроизвести методами традиционной обработки.

Технологическая гибкость 3D-печати способствует расширению вариативности клинических решений, особенно в рамках цифровой ортопедии и имплантологии.

Таким образом, совокупность полученных данных убедительно подтверждает, что использование CAD/CAM-технологий формирует качественно новый уровень

ортопедического лечения, объединяя точность, биомеханическую устойчивость, эстетичность и высокую клиническую предсказуемость.

Обсуждение. Обобщение современного научного опыта свидетельствует о том, что CAD/CAM-протезирование представляет собой не только технологическое усовершенствование, но и фундаментальную трансформацию стоматологического лечения, затрагивающую диагностический, клинический и лабораторный этапы. Цифровой протокол обеспечивает воспроизводимость результатов, независимую от субъективных факторов, и открывает возможность для стандартизации стоматологических процедур.

Особое значение имеет повышение точности и биомеханической устойчивости конструкций. Автоматизированная обработка материалов исключает дефекты, характерные для традиционного метода литья, а программное моделирование снижает вероятность ошибок на этапе планирования. В совокупности это обеспечивает более высокие показатели клинической надёжности и снижает риск повторных вмешательств.

Цифровые технологии также способствуют улучшению коммуникации между врачом, пациентом и зуботехнической лабораторией. Совместное использование виртуальных моделей, 3D-визуализации и эстетического анализа позволяет прогнозировать окончательный результат ещё до начала лечения, что значительно повышает комплаентность пациента.

Вместе с тем необходимо отметить существующие ограничения. CAD/CAM-системы требуют значительных финансовых вложений, а освоение цифровых навыков — времени и обучения. Аддитивные технологии пока уступают фрезерованию по прочностным характеристикам, особенно в отношении постоянных конструкций. Кроме того, точность интраорального сканирования снижается при наличии крови, слюны и труднодоступных областей.

Несмотря на указанные ограничения, цифровизация стоматологии демонстрирует устойчивую тенденцию к расширению, а технологическая эволюция свидетельствует о дальнейшем удешевлении и повышении доступности CAD/CAM-протезирования.

Выводы. Проведённый обзор позволяет сформулировать следующие ключевые положения.

1. Применение компьютерных технологий и CAD/CAM-протезирования обеспечивает высокую точность, воспроизводимость и предсказуемость стоматологических конструкций, что положительно влияет на функциональные и эстетические результаты лечения.
2. Цифровой рабочий процесс значительно сокращает сроки и уменьшает количество клинических ошибок, связанных с традиционными этапами протезирования.
3. Современные CAD/CAM-материалы обладают высокой прочностью, биосовместимостью и эстетичностью, что расширяет спектр клинических показаний.
4. Интеграция аддитивных технологий открывает новые возможности для индивидуализации лечения, хирургического планирования и изготовления временных конструкций.
5. Несмотря на отдельные ограничения, цифровое протезирование является стратегическим направлением развития современной ортопедической стоматологии.

Список литературы

1. Beuer F., Schweiger J., Edelhoff D. Digital dentistry—an overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations. *International Journal of Computerized Dentistry*. 2008;11(3):141–158.
2. Djamolidinovna, Djalolidinova Shakhlo. "Features Of Orthopedic Treatment For Complete Adentia. Eurasian Medical Research Periodical, 28, 113–116." 2024,
3. Gofurov A. MODERN APPROACHES TO SINUS LIFTING IN DENTAL IMPLANTOLOGY: CLINICAL ASPECTS, COMPLICATIONS, AND DEVELOPMENT PROSPECTS //SHOKH LIBRARY. – 2025. – T. 1. – №. 10.
4. Güth J.F., et al. Accuracy of digital models obtained from intraoral and extraoral scanners: a systematic review. *Clin Oral Investig*. 2020;24:3733–3747.
5. Khalilova B. COMPREHENSIVE MANAGEMENT OF INFRAORBITAL INFLAMMATORY CONDITIONS: FROM ANATOMY TO CLINICAL SOLUTION //International Journal of Artificial Intelligence. – 2025. – T. 1. – №. 4. – C. 793-800.
6. Nigmatova¹ I. M. et al. THE RELATIONSHIP BETWEEN TRANSVERSE OCCLUSAL ANOMALIES AND TEMPOROMANDIBULAR DISORDERS //SHOKH LIBRARY. – 2025. – T. 1. – №. 10.
7. Odiljonova N. ALTERNATIVE APPROACHES TO THE TREATMENT OF THE POPOV–GODON PHENOMENON: A CLINICAL PERSPECTIVE AND PRACTICAL JUSTIFICATION //International Journal of Artificial Intelligence. – 2025. – T. 1. – №. 4. – C. 1566-1570.
8. Raxmonova S. Fibrous Periodontitis: Modern Evidence-Based Approaches to Treatment //International Conference on Global Trends and Innovations in Multidisciplinary Research. – 2025. – T. 1. – №. 4. – C. 32-33.
9. Raxmonova S. MODERN METHODS OF PERIODONTITIS TREATMENT: REVIEW, EFFECTIVENESS, AND PROSPECTS //International journal of medical sciences. – 2025. – T. 1. – №. 4. – C. 178-183.
10. Revilla-León M., Meyers M.J. Additive manufacturing technologies for dental applications. *Journal of Prosthodontics*. 2020;29(7):585–597.
11. Shodiyeva E. Y. Exudative Catarrhal Otitis Media: Modern Approaches To Diagnosis And Management //TLEP–International Journal of Multidiscipline. – 2025. – T. 2. – №. 6. – C. 147-152.
12. Tulanova M. Dental Implantation Planning: Instrumentation and Medication Support //Spanish Journal of Innovation and Integrity. – 2024. – T. 37. – C. 88-90.
13. Tulanova M. METHODS OF PAIN MANAGEMENT IN PEDIATRIC DENTISTRY: MODERN APPROACHES AND CLINICAL RECOMMENDATIONS //International Journal of Artificial Intelligence. – 2025. – T. 1. – №. 4. – C. 686-691.
14. Tulanova M. TYPES OF IMPLANTS: CLASSIFICATION, INSTRUMENTATION, AND MEDICATION SUPPORT //Modern World Education: New Age Problems–New solutions. – 2024. – T. 1. – №. 3. – C. 67-69.
15. Tuychiev R. IMPROVEMENT OF PREVENTIVE PROSTHESES USED IN CHILDREN AFTER THE LOSS OF PERMANENT MOLARS //International journal of medical sciences. – 2025. – T. 1. – №. 4. – C. 291-295.
16. Valijon og'li T. R. ACCURACY OF LINGUAL STRAIGHT-WIRE ORTHODONTIC TREATMENT WITH PASSIVE SELF-LIGATING BRACKETS AND SQUARE SLOT:

- A RETROSPECTIVE STUDY //Web of Medicine: Journal of Medicine, Practice and Nursing. – 2024. – Т. 2. – №. 6. – С. 35-46.
17. Yusupjonovna S. E. PREVENTION OF CHRONIC OTITIS MIDDLE WITH FUNGAL ETIOLOGY //SCIENTIFIC ASPECTS AND TRENDS IN THE FIELD OF SCIENTIFIC RESEARCH. – 2024. – Т. 3. – №. 26. – С. 175-176.
18. Yusupjonovna S. E. TREATMENT APPROACHES FOR SENSORINEURAL HEARING LOSS //Introduction of new innovative technologies in education of pedagogy and psychology. – 2025. – Т. 2. – №. 5. – С. 157-158.
19. Zhang Y., Lawn B.R. Novel zirconia materials in dentistry. *Journal of Dental Research*. 2018;97(2):140–147.
20. Джалолидинова Ш. Д. АЛГОРИТМ ПРИМЕНЕНИЯ ПРЕПАРАТОВ КАЛЬЦИЯ И ЕГО ЭФФЕКТИВНОСТЬ В ПРОФИЛАКТИКЕ ВТОРИЧНОЙ АДЕНТИИ У ЖЕНЩИН ДЕТОРОДНОГО ВОЗРАСТА //ORIENTAL JOURNAL OF MEDICINE AND NATURAL SCIENCES. – 2025. – Т. 2. – №. 1. – С. 62-66.
21. Михайлов А.А., Жулев Е.Н. CAD/CAM-технологии в ортопедической стоматологии: современное состояние и перспективы применения. *Институт стоматологии*. 2020;1(86):72–76.
22. Одилжонова Н. Дисфункция Височно-Нижнечелюстного Сустава: Симптомы, Клиника, Лечение //International Conference on Global Trends and Innovations
23. Ряховский А.Н., Лепилин А.В. Клиническая эффективность CAD/CAM-конструкций в ортопедической стоматологии. *Дентальная имплантология и хирургия*. 2021;28(2):45–52.
24. Салимович Н. Қ. ОҒИЗ БҮШЛИГИ ЖАРОХАТЛАРИНИ ДИАГНОСТИКА ҚИЛИШ ВА ШОШИЛИНЧ ТИББИЙ ЁРДАМНИ ТАШКИЛ ЭТИШНИНГ ЗАМОНАВИЙ АЛГОРИТМЛАРИ //CONFERENCE OF INNOVATIVE HORIZONS IN SCIENCE & ENGINEERING. – 2025. – Т. 1. – №. 3. – С. 178-184.
25. Халилова Б. Р. ОСЛОЖНЕНИЯ ОДОНТОГЕННЫХ ВОСПАЛИТЕЛЬНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ ЧЕЛЮСТНО-ЛИЦЕВОЙ ОБЛАСТИ //Научный Фокус. – 2025. – Т. 2. – №. 21. – С. 434-437.
26. Шодиева Э. Ю. Комплексный Подход К Ведению Пациентов С Экссудативным Средним Отитом: Клиническое Значение И Прогноз //International Conference on Global Trends and Innovations in Multidisciplinary Research. – 2025. – Т. 1. – №. 5. – С. 154-155.