

DOI: 10.18481/2077-7566-22-18-1-5-18  
УДК: 616.31-089.23:004

## ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОРТОПЕДИЧЕСКОЙ СТОМАТОЛОГИИ – СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА В РОССИИ. ЭВОЛЮЦИОННЫЕ ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗУБНЫХ ПРОТЕЗОВ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

Галонский В. Г.<sup>1,2</sup>, Сурдо Э. С.<sup>2</sup>, Чернов В. Н.<sup>2</sup>, Мирзоева М. С.<sup>3</sup>, Карнаева А. Б.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Федеральний исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», НИИ медицинских проблем Севера, г. Красноярск, Россия

<sup>2</sup> Красноярский государственный медицинский университет имени профессора В. Ф. Войно-Ясенецкого, г. Красноярск, Россия

<sup>3</sup> Уральский государственный медицинский университет, г. Екатеринбург, Россия

### Аннотация

**Предмет.** Возможности цифровых технологий в клинике ортопедической стоматологии в России достаточно успешно интегрируются в деятельность учреждений здравоохранения, что позволяет оптимизировать диагностические, лечебные процессы и повышать конкурентоспособность на рынке медицинских услуг, в том числе на международном уровне. Рассмотрены основные этапы эволюционного развития и совершенствования технологий изготовления зубных протезов, с подробной характеристикой соответствующих преимуществ и недостатков разработанных технологий. Определены основные векторы совершенствования данных процессов на базовой основе цифровых технологий, описаны структурные компоненты прогрессивных технологий, их преимущества и методы развития в современных условиях.

**Цель.** Изучить и проанализировать современное развитие цифровых технологий в клинике ортопедической стоматологии, применяемых в России.

**Материалы и методы.** Исследование проводили на основе поиска и изучения оригинальных статей по вопросам развития и совершенствования цифровых технологий в клинике ортопедической стоматологии в базах данных: ELIBRARY, PubMed, Cyberleninka. Проанализированы 73 источника (52 — отечественных авторов и 21 — зарубежных).

**Выводы.** Использование современных цифровых возможностей в стоматологии с применением компьютерных томографов, внутритротоковых и внетротоковых сканирующих устройств, а также инновационного программного обеспечения, интегрирующего полученные диагностические данные в практическую реализацию субтрактивных и аддитивных технологий производственного процесса изготовления ортопедических стоматологических конструкций, занимает определенную нишу в практической деятельности врачей-стоматологов. Эволюция технологий изготовления ортопедических стоматологических конструкций имеет большую и богатую историю. Каждая из разработанных технологий внесла огромный научный и практический клинический вклад в развитие ортопедической стоматологии. Наиболее перспективными с точки зрения научно-технического прогресса цифровыми технологиями в клинической практике ортопедической стоматологии в современных условиях являются аддитивные технологии.

**Ключевые слова:** цифровые технологии в стоматологии, аддитивные технологии, 3D-печать, CAD/CAM, интраоральные сканеры, оптические оттиски, зубные протезы

Авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Владислав Геннадьевич ГАЛОНСКИЙ ORCID ID 0000-0002-4795-1722

д.м.н., профессор кафедры стоматологии детского возраста и ортодонтии, кафедры стоматологии ИППО, ведущий научный сотрудник, Красноярский государственный медицинский университет имени профессора В. Ф. Войно-Ясенецкого, Федеральний исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», НИИ медицинских проблем Севера, г. Красноярск, Россия  
gvg73@bk.ru

Эльвира Сергеевна СУРДО ORCID ID 0000-0003-2070-936X

ассистент кафедры стоматологии детского возраста и ортодонтии, Красноярский государственный медицинский университет имени профессора В. Ф. Войно-Ясенецкого, г. Красноярск, Россия  
elvira\_surdo@mail.ru

Владимир Николаевич ЧЕРНОВ ORCID ID 0000-0002-2006-2802

к.м.н., доцент кафедры ортопедической стоматологии, Красноярский государственный медицинский университет имени профессора В. Ф. Войно-Ясенецкого, г. Красноярск, Россия  
chernovortstom@mail.ru

Мария Степановна МИРЗОЕВА ORCID ID 0000-0002-6940-5255

к.м.н., ассистент кафедры ортопедической стоматологии и стоматологии общей практики, Уральский государственный медицинский университет, г. Екатеринбург, Россия  
mari.mirzoeva@mail.ru

Анисат Баширована КАРНАЕВА ORCID ID 0000-0003-2025-2312

ассистент кафедры ортопедической стоматологии и стоматологии общей практики, Уральский государственный медицинский университет, г. Екатеринбург, Россия  
anisat.karnaeva@yandex.ru

Адрес для переписки: Эльвира Сергеевна СУРДО

660118, г. Красноярск, ул. 9 мая, д. 27, кв. 116  
+7 (908) 2091076  
elvira\_surdo@mail.ru

### Образец цитирования:

Галонский В. Г., Сурдо Э. С., Чернов В. Н., Мирзоева М. С., Карнаева А. Б.

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОРТОПЕДИЧЕСКОЙ СТОМАТОЛОГИИ – СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА В РОССИИ. ЭВОЛЮЦИОННЫЕ ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗУБНЫХ ПРОТЕЗОВ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ). Проблемы стоматологии. 2022; 1: 5-18.

© Галонский В. Г. и др., 2022

DOI: 10.18481/2077-7566-22-18-1-5-18

Поступила 18.02.2022. Принята к печати 12.03.2022

DOI: 10.18481/2077-7566-22-18-1-5-18

## DIGITAL TECHNOLOGIES IN ORTHOPAEDIC DENTISTRY: THE MODERN STATE OF THE ART IN RUSSIA. THE STAGES OF EVOLUTION IN DEVELOPMENT AND PERFECTION OF TECHNOLOGIES FOR DENTURE MANUFACTURING (A LITERATURE REVIEW)

Galonisky V.G.<sup>1,2</sup>, Surdo E.S.<sup>2</sup>, Chernov V.N.<sup>2</sup>, Mirzoeva M.S.<sup>3</sup>, Karnaeva A.B.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Federal Research Center «Krasnoyarsk Scientific Center of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences» Research Institute of Medical Problems of the North, Krasnoyarsk, Russia

<sup>2</sup> Krasnoyarsk State Medical University named after Prof. V. F. Voino-Yasenetsky, Krasnoyarsk, Russia

<sup>3</sup> Ural State Medical University, Yekaterinburg, Russia

### Annotation

**Subject.** The possibilities provided by digital technology in clinical practice of orthopaedic dentistry in Russia is being quite successfully integrated into activity of healthcare facilities, which makes it possible to optimise diagnostic and treatment processes as well as to increase the competitiveness in the market of medical services including the international level. The main stages of evolution and perfection of technologies for denture manufacturing have been considered with detailed characterisation of the corresponding advantages and disadvantages of the developed technologies. The main directions for perfection of these processes based on digital technology have been determined, structural components of these advanced technologies, their advantages and development methods in modern conditions have been described.

**The aim of the study.** To study and analyse the modern development of digital technology in clinical practice of orthopaedic dentistry applied in Russia.

**Materials and methods.** The study was carried out based on the search and analysis of original articles on the issues in development and perfection of digital technologies in clinical practice in the ELIBRARY, PubMed and Cyberleninka databases. A total of 73 sources have been analysed (52 Russian and 21 foreign papers).

**Conclusion.** The use of modern digital possibilities in dentistry with application of computed tomography scanners, intraoral and extraoral scanning devices as well as innovative software integrating the obtained diagnostic data into practical implementation of subtractive and additive technologies in the process of manufacturing orthopaedic dental constructions occupies a certain niche within practical activity of dentists. The evolution of technologies for manufacturing of orthopaedic dental constructions has a vast and rich history. Each of the developed technologies has made a great scientific and practical clinical contribution to the development of orthopaedic dentistry. In modern conditions, the most promising digital technologies in clinical practice of orthopaedic dentistry from the standpoint of scientific and technical progress are additive technologies.

**Keywords:** digital technologies in dentistry, additive technologies, 3D printing, CAD/CAM, intraoral scanners, optical impressions, dentures

The authors declare no conflict of interest.

Vladislav G. GALONISKY ORCID ID 0000-0002-4795-1722

Grand PhD in Medical sciences, Professor of the Academic chair of Dentistry of Childhood and Orthodontics, Academic chair of Dentistry of Institute of Postgraduate Education, Senior Research Scientist, Krasnoyarsk State Medical University named after Prof. V.F. Voino-Yasenetsky, Krasnoyarsk Scientific Center of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Research Institute of Medical Problems of the North, Krasnoyarsk, Russia  
gvg73@bk.ru

Elvira S. SURDO ORCID ID 0000-0003-2070-936X

Assistant of the Academic chair of Dentistry of Childhood and Orthodontics, Krasnoyarsk State Medical University named after Prof. V.F. Voino-Yasenetsky, Krasnoyarsk, Russia  
elvira\_surdo@mail.ru

Vladimir N. CHERNOV ORCID ID 0000-0002-2006-2802

PhD in Medical sciences, Associate Professor, Department of Orthopedic Dentistry, Krasnoyarsk State Medical University named after Prof. V.F. Voino-Yasenetsky, Krasnoyarsk, Russia  
chernovortstom@mail.ru

Mariya S. MIRZOEVA ORCID ID 0000-0002-6940-5255

PhD in Medical sciences, Assistant of the Department of Orthopedic Dentistry and General Dentistry, Ural State Medical University, Yekaterinburg, Russia  
mari.mirzoeva@mail.ru

Anisat B. KARNAEVA ORCID ID 0000-0003-2025-2312

Assistant of the Department of Orthopedic Dentistry and General Dentistry, Ural State Medical University Yekaterinburg, Russia  
anisat.karnaeva@yandex.ru

**Correspondence address:** Elvira S. SURDO

660118, Russia, Krasnoyarsk, May 9 str., 27–116

+7 (908) 2091076

elvira\_surdo@mail.ru

### For citation:

Galonisky V.G., Surdo E.S., Chernov V.N., Mirzoeva M.S., Karnaeva A.B.

DIGITAL TECHNOLOGIES IN ORTHOPAEDIC DENTISTRY: THE MODERN STATE OF THE ART IN RUSSIA. THE STAGES OF EVOLUTION IN DEVELOPMENT AND PERFECTION OF TECHNOLOGIES FOR DENTURE MANUFACTURING (A LITERATURE REVIEW). *Actual problems in dentistry*. 2022; 1: 5-18. (In Russ.)

© Galonisky V.G. et al., 2022

DOI: 10.18481/2077-7566-22-18-1-5-18

Received 18.02.2022. Accepted 12.03.2022

Обеспечение качественного эволюционного развития экономики Российской Федерации и повышения уровня жизни ее граждан тесно связано с формированием адекватной конкурентоспособности отечественных организаций и предприятий, в том числе учреждений здравоохранения государственной и частной форм собственности. Сегодня цифровизация прочно вошла во все организационные и производственные процессы частично или полностью, реализуя на практике так называемую инновационную платформу в цифровой среде, когда подавляющее большинство, а иногда и все процессы реализуются в виртуальном пространстве. Именно такой подход к организации деятельности учреждений здравоохранения позволит добиться существенных результатов в оптимизации внутренних производственных (диагностических и лечебных) процессов и повышении уровня конкурентоспособности на рынке медицинских услуг, в том числе на международном уровне [27].

Цифровая трансформация — это изменение привычной, сложившейся годами деятельности путем коренного пересмотра основной стратегии идеологии, моделей производственного процесса и маркетингового подхода их рыночного продвижения, на основе внедрения и всестороннего применения цифровых технологий.

Практика здравоохранения России на современном этапе развития принципиально изменила формат и, соответственно, качественные характеристики поведения медицинских услуг до потребителя, используя инновационное медицинское оборудование и цифровые технологии. Цифровые технологии организации и реализации технологических процессов обеспечивают полноценный сбор и оперативную обработку, в том числе в условиях дистанционного формата, большого объема разноплановых информационных данных, создавая объективные базы данных для принятия качественных организационных решений, способствуя выявлению актуальных пробелов и недостатков, а также векторов их оперативного решения и перспективных горизонтов развития и совершенствования [4, 36].

Процесс успешного внедрения цифровых технологий в стоматологической сфере охватывает период более десяти лет, с нарастающей частотой и эффективностью с каждым последующим годом. Данный процесс затрагивает ряд актуальных вопросов, а именно фундаментальные теоретические основы разработки и внедрения в практику стоматологического оборудования, имеющего специализированную направленность, нацеленную на цифровую платформу, диагностических и технологических процессов, а также решение общих вопросов и аспектов процессов цифровизации детального управления и контроля стоматологической организации в полной совокупности. Современные инновационные техно-

логии, на базе цифровых систем контроля и управления всем спектром технологических процессов предприятия, начиная от элементов маркетинга и заканчивая производственными единицами, объединяемыми в цельный конечный итоговый продукт лечебно-диагностического процесса, с гарантированными прогностическими характеристиками, являются конкурентными преимущественными составляющими, позволяющими претендовать на лидирующие позиции на стоматологическом рынке и занимать их. Данная концепция в совокупности, при ее грамотной и эффективной практической реализации, позволяет стоматологической организации на соответствующей территории диктовать не только ценовую политику, но и эффективно манипулировать качественными характеристиками оказываемых стоматологических услуг, перенаправляя потоки стоматологических пациентов в соответствующее русло [2, 43, 59, 60].

Цифровые технологии и инновационный персонализированный формат и возможности современного диагностического оборудования показали на практике новый уровень диагностического процесса стоматологических заболеваний, что позволило вывести оказание данного вида медицинской помощи на качественно новую платформу практического здравоохранения.

Результаты исследования на компьютерных томографах дают клиницисту трехмерную визуализацию изображения, что позволяет всесторонне и многогранно обследовать пациента, планируя весь комплексный спектр оказания стоматологических услуг в рамках междисциплинарного стоматологического взаимодействия специалистов стоматологического профиля, учитывая весь спектр вариативной и индивидуальной топографической анатомии, которую невозможно так качественно визуализировать клиницисту иными способами диагностики [26, 46, 61].

В клинической практике ортопедической стоматологии все более приоритетным становится применение внутриральных цифровых сканирующих систем, которые форматируют клиническое состояние опорных тканей протезного ложа в цифровую трехмерную модель, что обеспечивает зубным техникам возможность использования специального программного компьютерного обеспечения для моделировки ортопедической стоматологической конструкции. Реализация данной технологии нивелирует ранее широко применявшиеся промежуточные этапы зуботехнического производства — получение оттисков, изготовление гипсовых моделей челюстей и моделировки восковых композиций будущих реставраций. Данный подход обеспечивает практическую составляющую зуботехнического лабораторного процесса на высокоточном уровне, в кратчайшие временные сроки, с минимальными затратами рабочих людских ресурсов, с учетом практически полного отсутствия

профессиональных производственных вредностей, присущих классическому зуботехническому производству [5, 29].

Появившаяся возможность виртуального моделирования будущей реставрации зубного ряда способствовала возникновению спроса на высокие эстетические результаты стоматологического лечения как со стороны пациентов, так и со стороны клиницистов. В настоящее время обеспечена техническая возможность предварительной моделировки и согласования с пациентом планируемого конечного результата дизайнерских характеристик будущей улыбки на базе технологий цифрового формата. Вышеуказанный подход дает возможность осуществлять реставрации с максимальными эстетическими требованиями, фрезеровать зубные коронки и вкладки, мостовидные конструкции различной протяженности и пространственной геометрической сложности [34, 55, 58].

Рассматривая данный вопрос с иного подхода, можно заключить, что внедрение цифровизации в стоматологической отрасли способствовало прогрессивному прорыву в следующих направлениях диагностики и лечения — трехмерной визуализации результатов диагностических исследований анатомических структур челюстно-лицевой области, улучшению многогранных качественных характеристик, в том числе эстетических, овеществленных результатов оказания стоматологических услуг, повышению эргономики технологических и организационных процессов в целом всей стоматологической отрасли. Разработанные цифровые технологии и спрос на них специалистов — врачей-стоматологов и зубных техников, а также потребителей-пациентов определили наиболее перспективный и современный вектор инновационного развития для всей отрасли данной медицинской специальности. Даже несмотря на необходимость высоких стартовых инвестиций для приобретения оборудования на цифровой платформе, большое количество прогрессивных стоматологических предприятий государственной и частной собственности осуществляют вложение в него финансовых средств, рассматривая это как перспективную возможность для роста организации в соответствии с новыми конкурентными требованиями и запросами потребителей рынка стоматологических услуг в современных условиях [9, 10].

Цифровая трансформация в среде оказания стоматологических услуг также достигла эффективных решений и успехов в управленческом сегменте данной отрасли здравоохранения. Разработанные программные продукты контроля за технологическими процессами, организацией и управлением стоматологической организацией в целом успешно реализуются в практическом здравоохранении. Цифровые системы различного уровня и чувствительной точности для ведения, учета и систематизации медицинских

и финансовых документов, а также для создания удобного и приемлемого электронного сервиса для пациентов находят все большее практическое применение на все большей площади территорий. Например, личные электронные кабинеты пациентов с персональным доступом к данным о приемах и оплатах, возможность быстрой записи на прием через использование мобильных приложений. Для предприятия же цифровизация медицинских процессов дает возможность оперативного сбора статистических данных, позволяющих осуществить анализ, и, следовательно, выработать адекватные решения оперативного управления по вопросам общего маркетинга, оптимизации трудозатрат и повышения производительности труда, эффективности расхода материалов [2, 43].

Возможность ведения медицинских карт пациентов в цифровом формате обеспечивает полную систематизацию всей истории болезни на качественно новом уровне, с обеспечением оперативного доступа к необходимой информации профильных параллельных и смежных специалистов. Также электронный формат ведения истории болезни подразумевает обязательную и содружественную интеграцию всех проводимых дополнительных методов обследования, а именно электронное интегрирование и автоматическую загрузку в карту выполненных рентгеновских снимков и результатов проведенных лабораторных исследований, с дополнительными возможностями использования электронной цифровой подписи врача и выгрузки информационных данных во внешние файлы. Данные базы цифровых систем создают полную базу и инструментальное обеспечение для продуктивной и эффективной работы маркетологов. Например, целый ряд линейки цифровых организационных систем, обеспечивающих визуализацию маршрутизации всего пути клиента клиники (пациента) от звонка до завершения полного комплекса лечебно-диагностического процесса и отслеживания его качественных характеристик. Вместе с тем, электронная система документооборота в клинике — это оперативная возможность сокращения времени данного производственного процесса, уменьшения трудозатрат, эффективная систематизация и обеспечение оперативного доступа и контроля над всем производственным процессом со стороны руководства.

Цифровизация в стоматологической сфере на современном этапе развития достигла уровня возможности содружественного и взаимодополняющего использования отдельных цифровых продуктов, объединенных в единый комплекс для достижения конечного полезного результата лечения пациента. Так, диагностические процессы уже интегрированы в производственные, например, сканирующие устройства по цифровым порталам адаптированы к фрезерному процессу изготовления различных ортопедических

конструкций. Электронные системы и комплексные взаимосвязанные и взаимозависимые технологические процессы в рамках диагностических, лечебных и реабилитационных мероприятий уже привели к возникновению целой системы практической помощи врачу, анализируя локальные и внешние базы данных по тем или иным диагностическим и производственным процессам как в постановке диагноза, так и обоснования плана лечения и формирования его четкой структурной логики, подкрепляя врачебную интуицию и клиническое мышление системой искусственного интеллекта, базирующегося на широкой платформе системы обобщенной базы теории и практики по соответствующему вопросу с учетом мирового опыта. Данное обстоятельство стало прорывом как с медицинской точки зрения, так и с позиции развития технологий и предпринимательства в совокупности [40]. Проблема теоретических изысканий, технологической разработки и практической реализации искусственного интеллекта в медицине в целом и в стоматологии в частности является наиболее перспективной задачей современных ученых [23].

Если не рассматривать управленческие аспекты организации стоматологической службы, то использование современных цифровых технологий в стоматологии можно принципиально разделить с клинической точки зрения на два направления практической реализации. Первое — диагностическое и прогностическое, к которому можно отнести компьютерные томографы, приборы для определения цвета зубов и окклюзионных контактов, виртуального изучения и имитации функции ВНЧС и жевательной мускулатуры, компьютерные программы, позволяющие прогнозировать и моделировать оптимальную форму зубов и зубных рядов на основе информационных баз биометрических параметров и индивидуальных антропометрических характеристик конкретного пациента. Второе направление — прикладное, касающееся непосредственного изготовления стоматологических реставраций при помощи компьютерных технологий [45, 67]. Среди последних в стоматологической практике в настоящее время получили широкое распространение цифровые субтрактивные и аддитивные технологии изготовления ортопедических стоматологических конструкций. Цифровые методы создания зубных протезов основаны на получении виртуальных изображений зубочелюстного аппарата пациентов с помощью внутривидеокамерных или лабораторных сканирующих устройств, последующего компьютерного моделирования и автоматического производства ортопедической стоматологической конструкции с помощью CAD/CAM систем (субтрактивный метод) или 3D-принтеров (аддитивный метод) [8]. Раскрытию тонкостей и нюансов, преимуществ и недостатков, а также перспектив применения данных производств в ортопедической сто-

матологической практике посвящены последующие материалы данной работы.

Революционным этапом новейшей истории совершенствования и развития технологий изготовления зубных протезов стали разработка и создание металлокерамических ортопедических стоматологических конструкций в конце XX века, нашедших на протяжении последних 30 лет самое широкое применение в мировой повседневной ортопедической стоматологической практике, в том числе на территории Российской Федерации, не утративших клинической актуальности по настоящее время [22].

Металлокерамические ортопедические стоматологические конструкции возникли и сформировались как естественный эволюционный результат, соответствующий запросам потребителей-пациентов и клиницистов — врачей-стоматологов-ортопедов к возможностям зуботехнического производства, как содружественное и взаимовыгодное сосуществование технологий двух типов, включающих комбинированную технику изготовления единой конструкции в виде осуществления высокоточного литья из специальных сплавов металлов базовой основы — каркаса и последующего послойного нанесения на данную основу керамических масс методом последовательного послойного обжига. В результате симбиоза этих технологий ортопедические стоматологические конструкции из металлокерамики стали мультикомпонентными и многослойными, обеспечивая гармоничное взаимодействие каждого из слоев конструкции, состоящих из материалов различного состава и отличающихся по свойствам друг от друга. При этом разные слои единого изделия согласованы по своим физико-механическим и химическим характеристикам, отвечают общей концепции биосовместимости с живым организмом и не входят в конфликт друг с другом не только в статическом состоянии, но и в динамическом — в условиях разновекторной нагрузки в условиях биологически агрессивной среды полости рта. Иными словами, можно констатировать, что металлокерамические зубные протезы — это достаточно прочные и эстетически приемлемые с потребительской точки зрения ортопедические стоматологические конструкции с большим прогнозом сроков эксплуатационных характеристик, доказанных достаточно длительным и масштабным периодом клинического применения, в том числе в сложных и неоднозначных клинических ситуациях, как в качестве несъемных зубных протезов с опорой на естественные зубы и дентальные имплантаты, так и в качестве составного элемента комбинированного зубного протезирования, имеющего стационарно фиксированные части и съемную составляющую, чаще всего согласующихся и фиксирующихся между собой с помощью замковых элементов — аттачментов различных конструкций [18].

Традиционные клинично-лабораторные этапы протезирования и изготовления металлокерамических ортопедических стоматологических конструкций в настоящее время широко известны специалистам и достаточно подробно изложены в соответствующих руководствах, с описанием всех тонкостей и нюансов клинических особенностей данного вида ортопедического стоматологического лечения и зуботехнического производства, прошли проверку временем, особенно отдаленными результатами лечения [21]. Вместе с тем клинически установлено, что материалы, используемые при изготовлении металлокерамических ортопедических стоматологических конструкций, биосовместимы не у всех пациентов. Патологические изменения в виде различных аллергических реакций не являются редкостью в ближайшие и отдаленные сроки после протезирования [35, 37]. Кроме того, эстетические требования при зубном протезировании должны максимально исключать конструкции на базовой основе металлов из-за неадекватности таких оптических и физических свойств, как транспарентность — способность материала поглощать свет, но полностью не пропускать его через себя; транспарентность — способность материала пропускать через себя свет; флюоресценция — способность светиться, например, в ультрафиолетовых лучах; опалесценция — изменение цвета из-за рассеивания света; эффект гало — преломление света на самой кромке режущего края зуба [41]. Определение и учет вышеуказанных свойств способствовали последующему поиску учеными и клиницистами новых решений в области стоматологических технологий и прикладного материаловедения, в которых необходимо учитывать все физические свойства используемых конструкционных материалов, влияющих на прецизионность ортопедической конструкции опорным тканям, и эффектов приемлемой естественной эстетической нормы в зависимости от конкретной клинической ситуации.

Клиническая точность изготовления металлокерамических ортопедических стоматологических конструкций в значительной степени зависит от коэффициента усадки сплавов металлов при высокотемпературной технологии отливки их металлических каркасов. Все виды сплавов металлов, применяемых в ортопедической стоматологии, в процессе литья подвержены объемной и линейной усадке. Дополнительную составляющую в общую погрешность проектирования и изготовления металлокерамических зубных протезов вносит технология моделирования макетов репродукций будущих металлических частей ортопедических конструкций восковыми композициями перед непосредственной реализацией литейного процесса, так как различные виды усадки также влияют на воск при осуществлении моделировочного процесса. В отличие от матема-

тического моделирования или виртуального моделирования на компьютере, в данном случае речь идет о мануальном моделировании искусственных зубов (составляющих из частей, например, каркаса металлокерамической коронки или промежуточной части мостовидного зубного протеза) специалистом — зубным техником, под чем понимают воспроизведение их внешней анатомической формы или ее части, с учетом последующих технологических требований, из какого-либо твердого материала, физические и химические характеристики которого позволяют использование в литейной технологии. Обычно в зуботехнических целях для данного процесса используют те или иные восковые композиции, переходящие из пластичной формы в твердую и наоборот в динамике производственного процесса, имеющие разную, адаптированную для соответствующих зуботехнических задач рецептуру в соответствии с рекомендациями фирм-производителей. При этом моделировочный материал (воск) претерпевает термические нагрузки (воск разогревается полностью и находится в жидком состоянии при определенной температуре — в воскотопках для формирования колпачков, плотно охватывающих культи обточенных зубов на разборных гипсовых моделях; воск порционно разогревается с применением электрошпателя и наносится частями для формирования необходимой анатомической формы обточенного зуба и уточнения пришеечного прилегания каркаса к границам препарированного уступа культи). В процессе практической реализации мануальной технологии моделирования восковые композиции в той или иной степени подвержены усадке, которая оценивается коэффициентом термической усадки (КТУ). Существуют технологические решения, которые минимизируют эти негативные явления, но в полном объеме их не устраняют. В связи с тем, что одним из важных аспектов в технологии протезирования является борьба с усадкой сплавов и восковых композиций, этому требованию подчинено выполнение целого ряда промежуточных вспомогательных операций: 1) разделение на части готовой восковой конструкции (для снятия внутреннего напряжения) и соединение разделенных частей низкоусадочными материалами; 2) применение специальных, адаптированных к соответствующим используемым сплавам металлов компенсационных формовочных масс; 3) выбор системы и параметров (например, диаметра) литниковой системы; 4) выбор методов и способов плавления сплавов [28].

Во всех восковых композициях, а также в сплавах металлов при переходе их из жидкой фазы в твердую в динамике снижения температуры изделия возникают усадки, имеющие следующий диапазон в относительных показателях по величине, по данным разных авторов: для восковых композиций — (0,5–2) %; для нержавеющей стали — (1,1–1,25) %; для

толстостенных изделий — (1,2–2,2) %; для золотых сплавов — (1,25–1,3) % (у сплавов золота с платиной несколько меньшая); для серебряно-палладиевых сплавов — до 2% [28].

Для снижения усадки восковых композиций созданы специальные низкотемпературные смеси восков. Технология моделирования воском заключается в следующем. Поскольку воск всегда находится в твердом состоянии, то при моделировании его помещают в подготовленную полость (полость под вкладку) или на подготовленную поверхность (культа обточенного зуба) гипсовой модели специально изготовленным для этих целей нагретым приспособлением (воскотопка) или инструментом (электрошпатель). В результате воск в подогретом устройстве расплавляется и в жидком состоянии перемещается из него на гипсовую модель. Далее воск застывает и таким образом воспроизводит форму реставрируемой поверхности, которую специальными инструментами доводят до необходимой анатомической формы восстанавливаемого зуба [28].

Для применения метода компенсации усадки сплавов разработаны специальные компенсационные формовочные массы с двойным коэффициентом расширения: при затвердевании — (0,8–1) %; при нагревании — (0,6–0,75) %. Разумеется, чем больше эффект уравнивания усадки восковых смесей и сплавов металлов расширением формовочных масс, тем точнее и качественнее получается готовая отливка изделия [28].

Минимизация аналогичных технологических погрешностей усадки в готовых протяженных литых ортопедических конструкциях достигается использованием специального технологического приема, включающего применение процедуры деления этой конструкции на части с последующим соединением пайкой этих частей при помощи низкотемпературных сплавов — припоев. Основная идея технологии пайки частей изделия заключается в делении конструкции таким образом, чтобы ее части при разделении касались друг друга. Далее припой накладывается сверху на части изделия и расплавляется. Вследствие этого происходит процесс пайки, т. е. соединение отдельных частей единой конструкции. Причем усадка, оцениваемая КТУ, в припое все же возникает, но, так как части конструкций в момент пайки касаются друг друга, усадка припоя не может стянуть части конструкции относительно друг друга. Закономерно, что в месте наложения припоя появляется напряжение, но сама конструкция в целом находится в пассивном состоянии. Заметим, что в рассматриваемом случае речь идет о микронной усадке. Таким образом, вследствие того, что низкотемпературные припои также дают усадку из-за наличия у них тех же физических свойств, суммарная усадка материалов при выполнении всей технологической последовательности

этапов изготовления мостовидных ортопедических конструкций методом литья не дает 100% точности, но позволяет добиться требуемого удовлетворительного технического и клинического результата [33].

В связи с вышеозвученными проблемами литейной усадки, для изготовления каркасов ортопедических стоматологических конструкций, как более совершенный в практике зуботехнического производства, широкое распространение получил метод изготовления каркасов зубных протезов путем фрезерования из цельного блока металла, заключающийся в удалении из него не входящего в изготавливаемую конечную итоговую деталь конструкции, лишнего материала. Эта методика получила название субтрактивного метода обработки. В результате применения данной технологии в конечном изделии из металла отсутствовали зоны напряжения, и готовые ортопедические конструкции имели характеристику пассивной посадки на опорные ткани протезного ложа. Кроме того, процесс фрезерования явился прогрессивным шагом вперед на пути внедрения информационных технологий для автоматизации производства, так как управление процессом фрезерования может осуществляться только на основе числового программного управления [38, 47].

Числовое программное управление (сокр. ЧПУ; англ. computer numerical control, сокр. CNC) — область техники, связанная с применением цифровых вычислительных устройств для управления производственными процессами. Оборудование с ЧПУ может быть представлено:

- 1) станочным парком (станки с ЧПУ) для обработки металлов (фрезерные или токарные станки), дерева, пластмасс;
- 2) приводами асинхронных электродвигателей, использующих векторное управление;
- 3) характерной системой управления современными промышленными роботами;
- 4) периферийными устройствами, например, такими как 3D-принтер, 3D-сканер.

Первое специализированное серийное устройство ЧПУ было разработано и создано американской производственно-инженерной компанией The Bendix Corporation в 1954 году и со следующего года стало устанавливаться на станки.

Вместе с тем, внедрение в производство станков с ЧПУ происходило медленными темпами, так как предприниматели не оценили положительные качества новой техники. Процесс внедрения был ускорен тем, что первоначальные затраты на создание станков с ЧПУ взяло на себя Министерство обороны США, затем оборудование было передано в аренду частным компаниям. В СССР подобные станки стали внедряться с первой половины 60-х годов прошлого века. Первыми советскими станками с ЧПУ промышленного применения были токарно-винторезный станок

1К62ПУ и токарно-карусельный 1541П. Станки работали совместно с управляющими системами типа ПРС-3К. Далее были разработаны вертикально-фрезерные станки с ЧПУ 6Н13 с системой управления «Контур-3П». Базовыми системами ЧПУ в СССР были НЦ-31 и 2Р22 (токарная группа) и 2С42 и 2Р32 (фрезерная группа). В настоящее время подобное, только значительно усовершенствованное оборудование широко применяется в различных производствах [11], в том числе в зуботехническом [1].

Применение в технологическом процессе фрезерования материалов в твердом виде имеет существенные преимущества, например, исключение литья с вышеуказанными негативными явлениями усадки. К недостаткам данной технологии следует отнести точечный перегрев и образование невидимых глазом микротрещин, ведущих к перелому конструкции на стадии готовности, так как каркасы ортопедических конструкций достаточно тонкие (к металлу это не относится). Кроме того, из-за возникновения отходов в виде «крошки» обрабатываемого материала, попадающих в движущие части станка, повышается его износ, для снижения которого требуется дополнительное обслуживание оборудования. Изнашиваются в процессе работы и фрезы, что является причиной увеличения погрешностей при изготовлении протезов в динамике увеличения производственного процесса [48].

Следующим прогрессивным этапом в практическом освоении и изучении положительного эффекта от применения технологии фрезерования материалов стало использование в промышленности, включая медицинскую отрасль, диоксида циркония. Чистое вещество цирконий (Zr), состоящее исключительно из атомов одного химического элемента, представляет собой блестящий металл, который по внешнему виду подобен стали из-за своего бело-серебристого цвета и существует в трех кристаллических модификациях: фианит, циркон и цирконий. Часто все три указанные разновидности объединяют в одно понятие, поскольку кристаллы фианита являются кубической двуокисью циркония. В настоящее время этот кристалл стали упрощенно именовать цирконом или цирконием, в том числе в стоматологической практике. Преимущественно в природе встречается так называемый циркон ( $ZrSiO_4$ ), а также другие содержащие цирконий сложные минералы. Применяемый в стоматологии диоксид циркония ( $ZrO_2$ ) был получен еще в 1789 году немецким химиком Мартиным Генрихом Клапротом (1743–1817). Диоксид циркония представляет собой вещество в виде соединения элемента циркония, который применяется в ортопедической стоматологии в течение последних 15 лет [14, 73]. Это соединение может частично стабилизироваться иттрием и обогащаться алюминием, в результате чего добавляются такие положительные

характеристики, как прочность на изгиб ( $> 1400$  МПа), жесткость — 1200 МПа (твердость по Виккерсу, для сравнения, оценка для титана: 800 МПа), модуль Вейбулла — 15,84. При высоких прочностных характеристиках коэффициент термического расширения (КТР) у диоксида циркония ниже, чем у остальных металлов. Например, шарнирная деталь из металлов при воздействии высоких температур расширяется. Если шарнир движется в микронных пространствах, то возможность его заклинивания велика из-за высокого КТР. Аналогичная деталь из диоксида циркония в тех же условиях дает шарниру возможность функционировать вследствие низкого КТР [6].

Положительным качеством материала диоксида циркония является белый цвет, что достаточно важно при его применении в клинических случаях зубного протезирования в эстетически значимых зонах [12, 53, 68]. Кроме того, циркон обладает высокой стойкостью и является полностью биосовместимым материалом, благодаря чему все больше распространяется его клиническое применение в медицине, особенно в травматологии и ортопедии, для изготовления протезно-ортопедических конструкций, замещающих те или иные костные изъяны, для эндопротезирования суставов [20] и в ортопедической стоматологии для реставрации дефектов твердых тканей зубов и изготовления несъемных конструкций зубных протезов для реконструкции зубных рядов при адентии, с различными вариантами и характеристиками опорных элементов [30, 52].

Как было отмечено выше, основной цвет диоксида циркония — белый. Возможность его дополнительного окрашивания в цвета дентина/эмали, с учетом клинических потребностей и эстетических запросов пациентов, обеспечивает возможность изготавливать из него приемлемые с биохимической и биомеханической точки зрения, высококачественные и эстетически состоятельные стоматологические протезы, включая конструкции с опорой на имплантаты, максимально приближенные к естественным зубным тканям, имитирующие полный спектр их оптических характеристик [42]. Для исключения рисков появления микротрещин в обрабатываемом материале была применена технология фрезерования неспеченного диоксида циркония с последующей термической обработкой этого материала для осуществления спекания (синтеризации) в специализированных печах с контролируемым процессом усадки. Неспеченный материал хорошо поддается обработке, за счет своей относительной «мягкости» исключает образование трещин и снижает производственные затраты. После выполнения операции синтеризации структура диоксида циркония меняется из-за перехода ее кристаллической решетки к тетрагональной форме. Вследствие чего меняются и физические свойства: снижается пористость и растет плотность,

благодаря чему материал приобретает твердость, превышающую твердость стали, — но при этом теряется гибкость. В связи с этим при значительных механических воздействиях возникает риск скалывания обрабатываемого материала. Идеальным применением в этом случае считается посадка полученного изделия с опорой на имплантаты, так как тогда практически исключается подвижность протезируемой единицы. Сама технология синтеризации требует тщательного соблюдения. Если при ее выполнении допущены отклонения от установленных норм, то непредсказуемо меняются плотность, прочность и транслюцентность (по этому параметру оценивают оптические свойства материала) [50]. Разработанное и широко внедренное в практическую стоматологическую практику новое оборудование, основанное на использовании CAD/CAM технологий, в соответствии с которыми осуществляют сканирование клинического состояния зубочелюстного аппарата, ввод в компьютер результатов сканирования в цифровом формате для последующего программного моделирования и создания по результатам моделирования управляющей программы для автоматизированного фрезерования на станке с ЧПУ, существенно облегчило обработку зубопротезных материалов, повысило качество и точность изготавливаемых протезно-ортопедических стоматологических изделий.

Важным и ответственным этапом любой технологии зубного протезирования является изготовление рабочей модели для последующих моделирования, формирования и припасовки к опорным структурам ортопедической стоматологической конструкции. При традиционном подходе рабочую гипсовую модель изготавливают по оттиску, полученному с применением различных слепочных композиций, чаще всего на основе различных модификаций силиконов [17]. При этом следует отметить, что, несмотря на достаточное совершенство современных слепочных масс, при мануальной технологии получения оттиска слепочный материал дает небольшую усадку в фазе окончания затвердевания, в пределах точности приблизительно в диапазоне 50–100 микрон. При изготовлении рабочей модели из гипса 4-го класса усадку силикона можно компенсировать. Гипс является материалом, который при застывании расширяется и частично компенсирует усадку оттисковой массы. Тем самым результат, отображенный на гипсовой модели, приближается к клинической картине в полости рта пациента. При этом следует отметить, что данное правило применимо при замещении дефектов зубных рядов малой протяженности. При обширных дефектах усадку оттиска в полном объеме компенсировать не представляется возможным. Чем длиннее восстанавливаемый дефект зубного ряда, тем больше участков с различной толщиной оттискового материала, находящегося в оттисковой ложке.

Различная толщина материала в едином пространстве дает разный коэффициент усадки, тем самым увеличивая погрешность искажения. Гипс не дает возможности компенсировать искажения этих областей в одном пространстве. Частично можно компенсировать данный вид погрешности изготовлением индивидуальной ложки. Дополнительные искажения оттиска дают дефекты, находящиеся на границе перехода друг в друга секторов зубочелюстной формулы. Перечисленные факторы не поддаются визуальному и инструментальному контролю и часто на практике встречаются комплексно, чем снижают точность регистрации клинической картины полости рта [32].

В последние десятилетия качественный прогресс в технологиях, применяемых в ортопедической стоматологии, обусловлен не только появлением компьютерных информационных технологий, но и сопутствующего им технического обрамления, которое можно использовать в клинической практике и зуботехническом производстве, в частности, применительно к рассматриваемому выше вопросу получения оттисков и изготовления рабочих моделей челюстей, различного вида периферийных цифровых устройств — сканирующих систем, представленных лабораторными и внутриротовыми сканерами [25, 56, 57, 64].

Стимулом для формирования качественного продвижения в технологиях зубного протезирования, помимо стремления снизить трудоемкость, послужило то, что клинические и лабораторные этапы изготовления ортопедических конструкций на основе мануальной врачебной и зуботехнической техники на выходе суммарно дают значимый процент погрешности изготовления готового изделия (зубного протеза) по отношению к клинически подготовленному для их установки пространству в полости рта пациента — опорных тканей протезного ложа (культей отпрепарированных зубов) или установленных супраструктур (абатментов) внутрикостных дентальных имплантатов. Повысить степень согласованности и прецизионности ортопедической конструкции с клинически подготовленной областью в полости рта можно только за счет создания таких технологий, в которых должны быть максимально исключены или по крайней мере снижены влияния всех физических факторов, вызывающих в процессе протезирования отдельные или совокупные искажения, включая физические искажения при изготовлении ортопедических конструкций [7, 16, 54].

На первом этапе для решения данной проблемы были осуществлены попытки устранения объемной и линейной усадки материалов в процессе изготовления конструкций. Положительный эффект был достигнут вследствие того, что исходно модели по-прежнему изготавливали из гипса, но процесс моделирования воском был полностью заменен

на виртуальный, что было обеспечено внедрением лабораторных сканеров, применение которых является отличительным признаком комбинированных технологий (мануальных и цифровых). Лабораторные сканеры предназначены для сканирования гипсовых моделей челюстей, изготовленных с использованием мануальной технологии получения оттисков и отливки моделей из гипса. Результат сканирования в виде упорядоченной цифровой последовательности, содержащий закодированную информацию о сканируемом объекте в специальном формате цифровых файлов STL (Stereolithography File), вводится в память компьютера, и уже на базовой основе специальной моделирующей программы на дисплее компьютера формируется уточненная трехмерная виртуальная модель клинического состояния полости рта пациента с воспроизведением предстоящей реставрации дефектов твердых тканей зубов и зубных рядов [19, 25, 62].

В комбинированных технологиях, прежде всего, практически были реализованы попытки устранения объемной и линейной усадки материалов в процессе изготовления конструкций. Для этого модели по-прежнему изготавливались из гипса, но мануальный процесс моделирования воском был полностью заменен компьютерными технологиями. Для получения виртуальных моделей, на которых моделируются каркасы протезов или анатомическая форма зубов, были использованы стационарные, лабораторные сканеры с узкополосными проекторами. В этом случае гипсовые модели копируются сканером, а полученные цифровые данные с выхода сканера по каналу связи вводятся в память компьютера. В результате этого с помощью соответствующего программного обеспечения синтезируется виртуальная, или компьютерная, модель в виде файла с визуальным контролем по полученному на экране дисплея изображению. При этом модель может быть улучшена за счет коррекции в интерактивном режиме [3].

Задействованное программное обеспечение сканирующего устройства включает: установку видов моделей и их сегментов (частей); марку виртуального артикулятора; функцию составления 3D-объектов, а также вспомогательный компьютерный моделировочный инструментарий, содержащий информацию о плоскостях, шкалах и другие данные. Таким образом, каждая виртуальная модель может быть разделена на сегменты. При этом на полученных виртуальных моделях при помощи 3D программного обеспечения в интерактивном режиме выполняют персональное воссоздание анатомических форм зубов, каркасов ортопедических конструкций, замковых креплений для ортопедических конструкций и т. д., а также выполняют планирование установки всех видов имплантатов. Данные процессы выполняют с использованием виртуальных шаблонов,

позволяющих осуществлять моделирование с учетом академических концепций стоматологии. Дополнительно к указанным процессам задействованы разделы программного обеспечения архивного типа, в соответствии с которым фиксируются: данные пациента, врача, зубного техника; вид и параметры ортопедической конструкции; вид и цвет используемого материала; вспомогательные характеристики; данные по применению артикулятора [13].

На базе приобретенного опыта применения комбинированных технологий получили развитие технологии автоматизированного проектирования и производства CAD/CAM. Из логики эволюционного формирования этапов технологического прогресса следует, что комбинированные технологии будут иметь статус временных, пока системы автоматизированного проектирования и производства CAD-CAM не получат должного развития и совершенствования [19, 31, 44].

Значительную роль в последующем технологическом процессе развития ортопедической стоматологии сыграли разработка и практическое внедрение внутриротовых (интраоральных) сканеров, которые позволяют получить на дисплее как трехмерные виртуальные модели, так и реальные, готовые протезы по цифровым моделям, программно синтезированным по информации, получаемой непосредственно из полости рта пациента, совершенствуя и упрощая клинический этап получения исходной информации о клиническом состоянии полости рта, исключая целый ряд промежуточных мануальных лабораторных этапов изготовления зубных протезов. Первые интраоральные сканеры появились в начале 2000-х годов. Как показала практика, интраоральные сканеры удобны в клинической эксплуатации и заменяют достаточно трудоемкий процесс создания моделей с помощью гипса на основе мануальной технологии в зуботехнической лаборатории. Для получения цифровых данных, с целью формирования виртуальной трехмерной модели, врач-стоматолог-ортопед вводит в полость рта пациента сканер, выполняет переход в режим «сканирование» и перемещает излучающую часть сканера вдоль поверхности зубов и зубных рядов [15, 39, 65, 70].

Для практической стоматологии разработаны и постоянно совершенствуются различные модели внутриротовых сканирующих устройств, которые обладают определенным видом излучения лазером или просто оптическим сигналом — светом, сканирующим объект и получающим информацию о рельефе исследуемой поверхности. По принципу действия различают времяпролетные и триангуляционные 3D-сканеры. Времяпролетные сканеры измеряют время прохождения импульса от источника до исследуемой поверхности, которое зависит от ее рельефа, а триангуляционные сканеры измеряют угол откло-

нения отраженного сигнала в зависимости от рельефа исследуемой поверхности. По результатам поточечного цифрового измерения рельефа для дальнейшей обработки при сканировании на основании специальных компьютерных программ формируется специальный STL-файл. Чаще всего STL-файлы, созданные для изготовления изделий на станках с числовым программным управлением (ЧПУ), требуется открыть в программах 3D Max и ArtCam. STL-файл использует большинство производителей интраоральных камер для передачи данных сканирования в базу данных компьютера и воспроизведения на основе соответствующей последующей программы обработки полученной клинической информации на дисплее компьютера в реальном масштабе времени визуальной трехмерной модели зуба, части или всего зубного ряда [15, 39, 66].

Проведение процедуры сканирования клинического состояния полости рта пациента занимает в среднем 5–7 мин. Вначале выполняют отдельно сканирование зубных рядов верхней и нижней челюстей, далее — обеих челюстей в положении центральной окклюзии. Процесс сканирования осуществляет и контролирует врач-стоматолог-ортопед. Данный клинический этап изготовления ортопедических стоматологических конструкций пациенты переносят достаточно легко и безболезненно, не ощущая дискомфорта рвотных позывов [15, 39, 72].

В условиях последнего десятилетия существуют производители медицинского оборудования, которые расширили информационные возможности применяемых в сканерах датчиков, преобразователей и формируемых при сканировании файлов, например, в форматах OBJ и PLY. Данным подходом они предоставляют пользователям — врачам-стоматологам-ортопедам и зубным техникам более широкие возможности для визуализации и моделирования восстанавливаемых зубов. Отличие перечисленных файлов состоит в следующем: STL-файл — монохромный (одноцветный); OBJ-файл — полихромный (файлы OBJ обычно представляют собой тип двоичного файла, используемого определенным программным обеспечением, и могут быть открыты популярным программным пакетом Binary Data); PLY-файл — формат файлов для описания сложной геометрии, известный также как Polygon File Format и Stanford Triangle Format, был разработан, главным образом, для хранения трехмерных данных 3D-сканеров (формат поддерживает относительно простое описание объекта и может хранить множество свойств объекта, включающее цвет и прозрачность, координаты нормали к поверхности, текстурные координаты и т. д.) [15, 39, 61].

Южнокорейской компанией MEDIT был впервые создан интраоральный сканер Medit Identica I500 с передачей файла в формате OBJ. Известен также

интраоральный сканер, передающий файлы формата PLY — Planmeca Emerald S. Данный сканер комплектуется дополнительным, более тонким наконечником SlimLine, который облегчает доступ к дистальным зубам и захватывает межзубные области. Крупнейший производитель медицинского программного обеспечения в мире, в том числе в области ортопедии и зуботехнического производства, — компания PLANMECA (Финляндия) существенно повысила уровень качества проектирования зубного протезирования, сохранив при этом доступность своих файлов PLANMECA (Planmeca PlanCAD Premium) для оборудования и программного обеспечения других производителей. Технологические характеристики современных интраоральных сканирующих систем, выпускаемых различными фирмами-производителями, обладают высокой скоростью сканирования и не требуют предварительного клинического применения контрастного порошка, что значительно повысило комфортность их клинического применения [15, 39, 69].

До появления современных сканирующих устройств, еще в первой половине 80-х годов прошлого века, получили развитие инновационные методы производства различных изделий, в основу которых положено не контролируемое удаление материала с заготовки, как, например, при фрезеровании, а управляемое, по предварительно созданной виртуальной модели дозированное наращивание и закрепление методом спекания материала. Материал подается в заданную точку пространства в виде пластиковых, керамических или металлических порошков. Варианты подобных технологий получили название «аддитивного производства» (Additive Manufacturing). На основе этих технологий, с учетом возможностей информационных компьютерных технологий, производят металлические и неметаллические изделия различного назначения, которые, в основном, не требуют последующей дополнительной механической обработки [49].

Наиболее востребованными в аддитивном производстве технологиями являются селективное лазерное плавление (СЛП — Selective laser melting, SLM), селективное электронно-лучевое плавление (СЭЛП — Selective electron beam melting, EBM) и прямое лазерное нанесение металла (ПЛНМ — Direct laser metal deposition, DLMD) [22]. Перспективность аддитивных технологий для изготовления ортопедических конструкций в стоматологии обусловлена прежде всего качеством изготовления зубных протезов, соблюдением точности критических для них размеров и параметров, контролем толщины размеров компонентов формы изготавливаемого изделия, которые обеспечиваются применяемым для спекания дозированно подаваемого материала малым радиусом лазерного пятна (до 20 мкм) и цифровым управлением производственного зуботехниче-

ского процесса в целом, что в современных условиях достаточно эффективно реализуется на практике [24, 51, 71].

Аддитивные технологии, аддитивное производство, 3D-печать, аддитивный процесс, аддитивная техника, послойный синтез — это взаимозаменяемые термины (синонимы) для обозначения процесса изготовления объектов по цифровым виртуальным моделям. Для стоматологии представляет интерес наиболее активно развивающееся направление аддитивных технологий для изготовления изделий из пластиковых, металлических и неметаллических материалов в качестве конечного продукта ортопедического стоматологического лечения — зубного протеза [24, 51, 63]. Данное направление в клинической ортопедической стоматологической практике является наиболее современным, совершенным, перспективным и широко развивающимся в последнее время [24, 51]. Вместе с тем следует констатировать, что

аддитивные технологии еще мало изучены с позиций фундаментальных теоретических основ зуботехнического производства и клинической ортопедической стоматологии, вопросов материаловедения — оценки используемых для данного вида протезирования материалов, оценки ближайших и отдаленных клинических результатов протезирования больших.

Таким образом, анализируя все вышеизложенное, можно заключить следующее. Эволюция технологий изготовления ортопедических стоматологических конструкций имеет большую и богатую историю. Каждая из разработанных технологий внесла огромный научный и практический клинический вклад в развитие ортопедической стоматологии. Наиболее перспективными с точки зрения научно-технического прогресса технологиями в клинической практике ортопедической стоматологии в современных условиях являются аддитивные технологии.

## Литература/References

1. Абакаров С.И., Баландина А.С., Сорокин Д.В., Аджиев К.С., Абакарова С.С., Арутюнов Д.С., Князева М.Б., Панин А.В. CAD/CAM-системы в стоматологии. Москва : РМАНПО. 2017:148. [S.I. Abakarov, A.S. Balandina, D.V. Sorokin, K.S. Adzhiev, S.S. Abakarova, D.S. Arutyunov, M.B. Knyazeva, A.V. Panin. CAD/CAM systems in dentistry. Moscow : RMANPO. 2017:148. (In Russ.)]. <https://elibrary.ru/item.asp?id=39197213>
2. Айвазов Г.Т., Фомина А.В. Организация стоматологической помощи при внедрении цифровых технологий, оценка их медицинской и экономической эффективности (краткий обзор литературы). International Journal of Advanced in Medicine and Biomedical Sciences. 2021;1:4-22. [G.T. Aivazov, A.V. Fomina. Organization of dental care in the implementation of digital technologies, assessment of their medical and economic efficiency (Literature review). International Journal of Advanced in Medicine and Biomedical Sciences. 2021;1:4-22. (In Russ.)]. <https://elibrary.ru/item.asp?id=46173704>
3. Алтынбеков К.Д., Антонова Л.П., Нысанова Б.Ж., Алтынбекова А.К., Кусайнов К.Т. Возможности применения комбинации цифровых и традиционных технологий в ортопедической стоматологии. Вестник Казахского национального медицинского университета. 2018;1:557-559. [K.D. Altynbekov, L.P. Antonova, B.Zh. Nysanova, A.K. Altynbekova, K.T. Kusainov. Possibilities of application of combination of digital and traditional technologies in orthopedic dentistry. Bulletin Of The Kazakh National Medical University. 2018;1:557-559. (In Russ.)]. <https://elibrary.ru/item.asp?id=34989954>
4. Апресян С.В., Забаева М.Н. Индекс цифровизации стоматологической практики. Российский стоматологический журнал. 2020;24(1):39-43. [S.V. Apresyan, M.N. Zabaeva. Dental digitalization index. Russian Journal Of Dentistry. 2021;1:4-22. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.18821/1728-2802-2020-24-1-39-43>
5. Арвин М.М. Технологии создания цифровых оттисков при изготовлении зубных протезов. International Journal of Medicine and Psychology. 2018;1(2):4-7. [M.M. Arvin. Technologies of creation of digital prints at production of dentures. International journal of medicine and psychology. 2018;1(2): 4-7. (In Russ.)]. <https://elibrary.ru/item.asp?id=37023762>
6. Асташина Н.Б., Кульметьева В.Б., Пьянкова Е.С., Шатова И.А. Исследование характеристик диоксида циркония стоматологического назначения для CAD/CAM-технологии. Химия. Экология. Урбанистика. 2019;2019-2:488-492. [N.B. Astashina, V.B. Kulmet'yeva, E.S. Pyankova, I.A. Shatova. Study of the characteristics of zirconium dioxide of dental application for cad/cam-technology. Chemistry. Ecology. Urbanistics. 2019;2019-2:488-492. (In Russ.)]. <https://elibrary.ru/item.asp?id=38486469>
7. Вокулова Ю.А., Жулев Е.Н. Оценка точности получения оттисков зубных рядов с применением технологии лазерного сканирования. Современные проблемы науки и образования. 2016;5:164. [Y.A. Vokulova, E.N. Zhulev. Evaluation of the accuracy of obtaining impressions of the dentition with the use of technology of laser scanning. Modern Problems Of Science And Education. 2016;5:164. (In Russ.)]. <https://elibrary.ru/item.asp?id=27181787>
8. Вокулова Ю.А., Жулев Е.Н. Результаты изучения размерной точности временных искусственных коронок, изготовленных с помощью субтрактивных и аддитивных технологий. Norwegian Journal of Development of the International Science. 2020;44:1-9-14. [Yu. Vokulova, E. Zhulev. Results of studying the dimensional accuracy of temporary artificial crowns made using subtractive and additive technologies. Norwegian Journal of Development of the International Science. 2020;44:1-9-14. (In Russ.)]. <https://elibrary.ru/item.asp?id=43147665>
9. Вокулова Ю.А., Жулев Е.Н. Сравнительная оценка экономического обоснования изготовления полных съемных протезов, созданных с помощью традиционных и цифровых технологий. ScienCer of Europe. 2020;53-2(53):7-10. [Yu. Vokulova, E. Zhulev. Comparative assessment of the economic feasibility of manufacturing complete removable prostheses created using traditional and digital technologies. ScienCer of Europe. 2020;53-2(53):7-10. (In Russ.)]. <https://elibrary.ru/item.asp?id=43781282>
10. Вокулова Ю.А., Жулев Е.Н. Сравнительная оценка экономического обоснования изготовления каркасов металлокерамических коронок, созданных с помощью традиционных и цифровых технологий. International Independent Scientific Journal. 2020;18-1:28-32. [Yu.A. Vokulova, E.N. Zhulev. Comparative assessment of the economic justification for manufacturing metal-ceramic crown frames created using traditional and digital technologies. International Independent Scientific Journal. 2020;18-1:28-32. (In Russ.)]. <https://elibrary.ru/item.asp?id=43804591>
11. Григорьев С.Н., Мартинов Г.М., Чадеев В.М., Аристова Н.И. Цифровое машиностроение: тенденции и перспективы развития. Автоматизация в промышленности. 2017;5:3-4. [S.N. Grigoriev, G.M. Martinov, V.M. Chadeev, N.I. Aristova. Digital engineering: trends and development prospects. Automation in industry. 2017;5:3-4. (In Russ.)]. <https://elibrary.ru/item.asp?id=28997274>
12. Давыдова М.А., Давыдов Д.А., Широкова Ю.А., Воропаева М.И. Материалы для высокоэстетических ортопедических конструкций: циркониевые реставрации. Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2019;10:210-213. [M.A. Davydova, D.A. Davydov, Y.A. Shirokova, M.I. Voropaeva. Materials for highly esthetic abutments: zirconia restoration. Modern science: current problems of theory and practice. Series: natural and technical sciences. 2019;10:210-213. (In Russ.)]. <https://elibrary.ru/item.asp?id=41587269>
13. Джумаев Э.К. Методы трехмерного отображения в стоматологии. Центральный научный вестник. 2017;2;10(27):10-11. [E.K. Dzumaev. Methods of three-dimensional mapping in dentistry. Central Science Bulletin. 2017;2;10(27):10-11. (In Russ.)]. <https://elibrary.ru/item.asp?id=29290028>
14. Дьяконенко Е.Е., Лебеденко И.Ю., Широкова Ю.А. Циркониевая или циркония? Как правильно называть керамику на основе стабилизированного диоксида циркония. Цифровая стоматология. 2018;9(2):6-11. [E.E. Dyakonenko, I.Yu. Lebedenko, Yu.A. Shirokova. Zirconium or zirconium? How to correctly name ceramics based on stabilized zirconia. Digital Dentistry. 2018;9(2):6-11. (In Russ.)]. <https://elibrary.ru/item.asp?id=39175192>
15. Дякин Н.С., Зубкова А.А. Системы CAD/CAM проектирования: интраоральные сканеры в области инновационной стоматологии. Международный студенческий научный вестник. 2021;2:11. [N.S. Dyakin, A.A. Zubkova. CAD / CAM design systems: intraoral scanners in the field of innovative dentistry. International Student Scientific Bulletin. 2021;2:11. (In Russ.)]. <https://elibrary.ru/item.asp?id=45691861>
16. Жулев Е.Н., Вокулова Ю.А. Изучение размерной точности цифровых оттисков, полученных с помощью внутриворотного сканера Itero. Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016;12-2:257-261. [E.N. Zhulev, Y.A. Vokulova. Evaluation of dimensional accuracy digital impressions obtained using the intraoral scanner Itero. International Journal of Applied and Basic Research. 2016;12-2:257-261. (In Russ.)]. <https://elibrary.ru/item.asp?id=27517812>
17. Ибрагимов Т.И., Цаликова Н.А. Отгисковые материалы в стоматологии. Москва : Практическая медицина. 2007:128. [T.I. Ibragimov, N.A. Tsalikova. Impression materials in dentistry. Moscow : Practical medicine. 2007:128. (In Russ.)]. <https://elibrary.ru/item.asp?id=19538058>

18. Иорданишвили А.К., Володин А.И., Музыкин М.И., Петров А.А. Оценка металлокерамических несъемных зубных протезов, протезного ложа и поля в гарантийные сроки. Вестник Российской Военно-медицинской академии. 2018;4(64):91-95. [A.K. Iordanishvili, A.I. Volodin, M.I. Muzikin, A.A. Petrov. Evaluation of metal-ceramic non-removable dentures, prosthetic bed and field during warranty periods. Bulletin of the Russian Military medical Academy. 2018;4(64):91-95. (In Russ.). <https://elibrary.ru/item.asp?id=36462889>
19. Искандеров Р.М. Применение CAD/CAM-технологий в зуботехнической лаборатории. Российский стоматологический журнал. 2016;20(1):52-56. [R.M. Iskenderov. The use of CAD/CAM technology in dental laboratories. Russian journal of dentistry. 2016;20(1):52-56. (In Russ.). [https://doi.org/10.18821/1728-28022016;20\(1\)52-56](https://doi.org/10.18821/1728-28022016;20(1)52-56)
20. Калакаев Т.З., Марзаев Г.В., Бестаев Э.В. Перспективы использования частично стабилизированного диоксида циркония в эндопротезировании суставов. Молодой ученый. 2021;26(368):94-95. [T.Z. Kalakaev, G.V. Marzaev, E.V. Bestaev. Prospects for the use of partially stabilized zirconium dioxide in joint arthroplasty. Young Scientist. 2021;26(368):94-95. (In Russ.). <https://elibrary.ru/item.asp?id=4624122>
21. Каламарков Х.А. Ортопедическое лечение с применением металлокерамических протезов. Москва : Медиа Сфера. 1996:176. [Kh.A. Kalamkarov. Orthopedic treatment with the use of metal-ceramic prostheses. Moscow : Media Sphere. 1996:176. (In Russ.). [http://dentoris.com.ua/media/FILES/Orthopedic\\_treatment\\_with\\_metal\\_ceramic\\_HA\\_Kalamkarov666.pdf](http://dentoris.com.ua/media/FILES/Orthopedic_treatment_with_metal_ceramic_HA_Kalamkarov666.pdf)
22. Касумова М.К., Обухов Э.В., Тихонов Э.П. Эволюция технологий протезирования от прошлого до настоящего. Институт стоматологии. 2019;3(84):114-120. [M.K. Kasumova, E.V. Obukhov, E.P. Tikhonov. The evolution of prosthetics technology from past to present. The Dental Institute. 2019;3(84):114-120. (In Russ.). <https://elibrary.ru/item.asp?id=40872553>
23. Касумова М.К., Тихонова Э.П., Иванова Г.Г., Чибисова М.А. Возможности использования искусственного интеллекта в стоматологии. Институт стоматологии. 2019;3(84):12-17. [M.K. Kasumova, E.P. Tikhonov, G.G. Ivanova, M.A. Chibisova. Use possibilities artificial intelligence in dentistry. The Dental Institute. 2019;3(84):12-17. (In Russ.). <https://elibrary.ru/item.asp?id=40872516>
24. Клемин В.А., Корж В.И., Калиновский Д.К., Корж Д.В. Использование результатов изобретательской деятельности в работе кафедры ортопедической стоматологии: цифровые и аддитивные технологии. Журнал телемедицины и электронного здравоохранения. 2020;6(4):15-18. [V.A. Klyomin, V.I. Korzh, D.K. Kalinovsky, D.V. Korzh. The use of inventive activity results in the work of department of orthopedic dentistry: digital and additive technologies. Journal of telemedicine and electronic health. 2020;6(4):15-18. (In Russ.). <https://doi.org/10.29188/2542-2413-2020-6-4-15-18>
25. Койшыманов А.Б., Айтжанова А.Ж. Применение современных компьютерных технологий в зуботехнической лаборатории. Актуальные научные исследования в современном мире. 2021;2-4(70):74-78. [A.B. Koishymanov, A.Zh. Aitghanova. Application of modern computer technologies in the dental laboratory. Actual scientific research in the modern world. 2021;2-4(70):74-78. (In Russ.). <https://elibrary.ru/item.asp?id=45588471>
26. Косырева Т.Ф., Тутуров Н.С., Катбек И.Х., Лебедев В.Г., Донсков Д.В., Чхиквадзе Т.В. Диагностика и лечение дисфункции височно-нижнечелюстного сустава с использованием цифровых технологий. Стоматология для всех. 2020;3(92):56-61. [T.F. Kosyreva, N.S. Tuturov, I.Kh. Katbekh, V.G. Lebedev, D.V. Donskov, T.V. Chkhikvadze. Diagnostics and treatment of temporomandibular joint dysfunctions using digital technologies. Stomatology for All. 2020;3(92):56-61. (In Russ.). [https://doi.org/10.35556/idr-2020-3\(92\)56-60](https://doi.org/10.35556/idr-2020-3(92)56-60)
27. Леонов С.А. Интеграция здравоохранения, образования и информационно-коммуникативных технологий в рамках цифровизации отечественной медицины. Актуальные проблемы экономики и управления. 2018;3(19):35-39. [S.A. Leonov. Integration of healthcare, education and information and communication technologies in the framework of the digitization of national medicine. Current problems of economy and management. 2018;3(19):35-39. (In Russ.). <https://elibrary.ru/item.asp?id=35643966>
28. Милешкина Е.Н. Литейное дело в стоматологии. Москва : ГЕОТАР-Медиа. 2020:160. [E.N. Mileshkina. Foundry business in dentistry. Moscow : GEOTAR-Media. 2020:160. (In Russ.). <https://www.rosmedlib.ru/book/ISBN9785970455227>
29. Мирзоева М.С. Использование сканирования в ортопедической стоматологии – обзор литературы. Проблемы стоматологии. 2017;13(1):31-34. [M.S. Mirzoeva. Application of scanning technologies in orthopedic dentistry: a review. Actual problems in dentistry. 2017;13(1):31-34. (In Russ.). <https://elibrary.ru/item.asp?id=29256718>
30. Морозова Л.В., Калинина М.В., Дроздова И.А., Полякова И.Г., Шилова О.А. Получение нанокерамики на основе диоксида циркония для реставрационной стоматологии. Институт стоматологии. 2014;3(64):98-99. [L.V. Morozova, M.V. Kalinina, I.A. Drozdova, I.G. Polyakova, O.A. Shilova. Production nanoceramics on the base zirconia dioxide for restorative dentistry. The Dental Institute. 2014;3(64):98-99. (In Russ.). <https://elibrary.ru/item.asp?id=22988398>
31. Наумович С.С., Разоренов А.Н. CAD/CAM системы в стоматологии: современное состояние и перспективы развития. Современная стоматология. 2016;4(65):2-9. [S.S. Naumovich, A.N. Razorenov. Cad/cam systems in dentistry: current state and perspectives of development. Modern dentistry. 2016;4(65):2-9. (In Russ.). <https://elibrary.ru/item.asp?id=27639460>
32. Полонейчик Н.М. История разработки и применения оттисковых материалов в стоматологии. Современная стоматология. 2019;2(75):84-88. [N.M. Poloneitchik. The history of the development and application of impression material in dentistry. Modern dentistry. 2019;2(75):84-88. (In Russ.). <https://elibrary.ru/item.asp?id=38532183>
33. Померанцев Г.В., Васильев В.А. Литейное дело в стоматологии. Литейное производство. 2005;9:20-22. [G.V. Pomerantsev, V.A. Vasiliev. Foundry business in dentistry. Foundry. 2005;9:20-22. (In Russ.). <https://elibrary.ru/item.asp?id=9192910>
34. Поталет И.А. Цифровой дизайн улыбки: оптимизация эстетики при сохранении структуры зуба. Державинский форум. 2018;2(7):138-143. [I.A. Potalet. Digital smile design: optimising aesthetics, while preserving the tooth structure. Derzhavin forum. 2018;2(7):138-143. (In Russ.). <https://elibrary.ru/item.asp?id=36293333>
35. Правдивцев В.А., Шапмурина В.Р., Кириллов С.К., Савашинская Н.С., Иванова А.В., Морозова Г.А. Патологические процессы, инициированные металлокерамическими зубными протезами. Российский стоматологический журнал. 2013;3:30-34. [V.A. Pravdivtsev, V.R. Shashmurina, S.K. Kirillov, N.S. Savashinskaya, A.V. Ivanova, G.A. Morozova. Pathological processes initiated ceramic-metal denture. Russian journal of dentistry. 2013;3:30-34. (In Russ.). <https://elibrary.ru/item.asp?id=19422988>
36. Программа «Цифровая экономика Российской Федерации»: Распоряжение Правительства РФ от 28.07.2017 №1632-р. Москва, 2017:88. [Program «Digital Economy of the Russian Federation»: Order of the Government of the Russian Federation of July 28, 2017 No. 1632-r. Moscow, 2017:88. (In Russ.). <http://static.government.ru/media/files/9gFM4FHj4P5B7915v7yLVuPgu4bvR7M0.pdf>
37. Ражабов О.А., Хайитова М.А. Клинические изменения полости рта при использовании металлокерамических зубных протезов. Новый день в медицине. 2020;1(29):322-325. [O.A. Rajabov, M.A. Hayitova. Clinical changes in the oral cavity when using ceramic-metal prostheses. New day in medicine. 2020;1(29):322-325. (In Russ.). <https://elibrary.ru/item.asp?id=43014768>
38. Розов Р.А., Гусев А.В., Эмдин Л.М., Герасимов А.Б., Азарин Г.С. Отдаленные результаты протезирования протяженными металлокерамическими имплантационными конструкциями с каркасами, полученными технологией компьютерного фрезерования из кобальтохромового сплава. Форум практикующих стоматологов. 2013;3(9):4-16. [R.A. Rozov, A.V. Gusev, L.M. Emdin, A.B. Gerasimov, G.S. Azarin. Long-term results of prosthetics with extended metal-ceramic implant structures with framework produced by computer milling technology from cobalt-chrome alloy. Forum of practicing dentists. 2013;3(9):4-16. (In Russ.). <https://elibrary.ru/item.asp?id=21361559>
39. Розов Р.А., Трезубов В.Н., Шалагинова А.В., Кусевичкий Л.Я. Сравнительная оценка in vitro точности стоматологических сканеров открытого типа при получении модели зубного ряда. Пародонтология. 2020;25(3):231-236. [R.A. Rozov, V.N. Trezubov, A.V. Shalaginova, L.Ya. Kusevickiy. Comparative in vitro evaluation of the accuracy of dental open system scanners. Periodontology. 2020;25(3):231-236. (In Russ.). <https://doi.org/10.33925/1683-3759-2020-25-3-231-236>
40. Сапожников И.Д. Цифровизация как фактор развития предпринимательства в стоматологической сфере. Развитие финансовых отношений в период становления цифровой экономики : материалы II Международной науч.-практич. конф. Под научной редакцией А.Ю. Румянцевой. 2019:121-122. [I.D. Sapozhnikov. Digitalization as a factor in the development of entrepreneurship in the dental sector. The development of financial relations during the formation of the digital economy : materials of the II International scientific and practical. conf. Under the scientific editorship of A. Yu. Rumyantsev. 2019:121-122. (In Russ.). <https://elibrary.ru/item.asp?id=37572708>
41. Токмаков А.В., Воробьева М.В. Ошибки при планировании замещения дефекта зубного ряда металлокерамическими протезами. Бюллетень медицинских интернет-конференций. 2018;8(7):302. [A.V. Tokmakov, M.V. Vorobyova. Errors in planning the replacement of a dentition defect with metal-ceramic prostheses. Bulletin of medical internet conferences. 2018;8(7):302. (In Russ.). <https://elibrary.ru/item.asp?id=35644524>
42. Хабиллов Н.Л., Дадабаева М.У., Мун Т.О., Хабиллов Б.Н. Диоксид циркония – один из современных стоматологических материалов. Stomatologiya. 2017;2:107-110. [N.L. Khabilov, M.U. Dadabaeva, T.O. Moon, B.N. Khabilov. Zirconia - one of the modern dental materials. Stomatologiya. 2017;2:107-110. (In Russ.). <https://elibrary.ru/item.asp?id=37073425>
43. Хихинашвили Л.Г. Новая эра с ассоциацией цифровой стоматологии. Цифровая стоматология. 2019;10(1):100-105. [L.G. Khikhashvili. A new era with the association of digital dentistry. Digital Dentistry. 2019;10(1):100-105. (In Russ.). <https://elibrary.ru/item.asp?id=39165068>
44. Чармадов Л.С., Бароян М.А. CAD/CAM системы в клинике ортопедической стоматологии – обзор литературы. Международный студенческий научный вестник. 2020;2:18. [L.S. Charmadov, M.A. Baroyan. CAD / CAM systems in the clinic of orthopedic dentistry - review of literature. International Student Scientific Bulletin. 2020;2:18. (In Russ.). <https://elibrary.ru/item.asp?id=42851938>
45. Черноморченко Н.С., Соколович Н.А. Современные компьютерные технологии в ортопедической стоматологии: современное состояние и перспективы. Современная медицина: актуальные вопросы. 2017;3(55):58-64. [N.S. Chemomorchenko, N.A. Sokolovich. Modern computer technologies in prosthetic dentistry: current state and prospects. Modern medicine: topical issues. 2017;3(55):58-64. (In Russ.). <https://elibrary.ru/item.asp?id=28880572>

46. Чибисова М.А. Радиовизиограф Visteo и цифровой ортопантомограф I-max touch/серн (фирма Owandy, Франция) – инновационные технологии в выполнении стандартных рентгенологических исследований в амбулаторной стоматологии. Институт стоматологии. 2010;1(46):105-107. [M.A. Chibisova. Digital sensor Visteo and digital panoramic unit i-max touch/ceph (manufactured by Owandy, France) - innovation technologies for standard operations in radiological studies in outpatient dentistry. The Dental Institute. 2010;1(46):105-107. (In Russ.)]. <https://elibrary.ru/item.asp?id=14342959>
47. Шепелев И.С., Зубкова А.А. Сравнительная характеристика систем CAD/CAM в ортопедической стоматологии по времени фрезерования, программной обработке и точности сканирования. Международный студенческий научный вестник. 2020;3:39. [S.I. Shepelev, A.A. Zubkova. Comparative characteristics of CAD/CAM systems in orthopedic dentistry in terms of milling time, software processing and scanning accuracy. International Student Scientific Bulletin. 2020;3:39. (In Russ.)]. <https://elibrary.ru/item.asp?id=43176080>
48. Шик И.В. Фрезерование: этапы успешного выполнения. Современная стоматология. 2017;4(69):81-86. [I.V. Shik. Milling: stages of successful implementation. Modern dentistry. 2017;4(69):81-86. (In Russ.)]. <https://elibrary.ru/item.asp?id=30796707>
49. Шкрум А.С., Катасонова Г.Р. Тенденции применения аддитивных технологий в различных предметных областях и в медицинской сфере. Уральский медицинский журнал. 2020;5(188):216-220. [A.S. Shkrum, G.R. Katasonova. Trends in the use of additive technologies in various subject areas and in the medical field. Ural Medical Journal. 2020;5(188):216-220. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.25694/URMJ.2020.05.38>
50. Шульмилович Б.Р., Ростовцев В.В., Попова О.Б., Крюкова С.Н., Станиславчук Е.С., Ивков С.А. Оценка микроструктуры диоксида циркония при его обработке различными типами инструмента при несъемном протезировании в стоматологии. Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2021;20(1):57-64. [B.R. Humilovich, V.V. Rostovtsev, O.B. Popova, S.N. Kryukova, E.S. Stanislavchuk, S.A. Ivkov. Evaluation of the microstructure of zirconium dioxide during its processing with various types of diamond tools for fixed prosthetics in dentistry. System analysis and control in biomedical systems. 2021;20(1):57-64. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.36622/VSTU.2021.20.1.008>
51. Эртесян А.Р., Садьков М.И., Нестеров А.М., Григорьева Е.А. Аддитивные технологии 3D-печати металлов в стоматологии. Polish Journal of Science. 2020;34-1(34):16-24. [A.R. Ertesyan, M.I. Sadykov, A.M. Nesterov, E.A. Grigorieva. Additive 3d-printing technologies of metals in dental. Polish Journal of Science. 2020;34-1(34):16-24. (In Russ.)]. <https://elibrary.ru/item.asp?id=44409093>
52. Stolz K., Kuhn T., Honnef B. CAD/CAM в восстановительной стоматологии. Полная санация цельнокерамическими реставрациями из оксида циркония. Новое в стоматологии. 2008;2:32-42. [K. Stolz, T. Kuhn, B. Honnef. CAD/CAM in recovery dentistry. Full restoration with all-ceramic zirconium oxide restorations. New in dentistry. 2008;2:32-42. (In Russ.)]. <https://elibrary.ru/item.asp?id=11151265>
53. Alfawaz Y. Zirconia Crown as Single Unit Tooth Restoration: A Literature Review // J. Contemp Dent. Pract. – 2016;17(5):418-422. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10024-1865>
54. Burzynski J.A., Firestone A.R., Beck F.M., Fields H.W., Deguchi T. Comparison of digital intraoral scanners and alginate impressions: Time and patient satisfaction // Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop. – 2018;153:534-541. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2017.08.017>
55. Cervino G., Fiorillo L., Arzukanyan A.V., Spagnuolo G., Cicciù M. Dental Restorative Digital Workflow: Digital Smile Design from Aesthetic to Function // Dent J. (Basel). – 2019;7(2):30. <https://doi.org/10.3390/dj7020030>
56. Christopoulou E.G., Kaklamanos M., Makrygiannakis I., Bitsanis P., Perlea, Tsolakis A.I. Intraoral Scanners in Orthodontics: A Critical Review // Int. J. Environ Res. Public Health. – 2022;19(3):1407. <https://doi.org/10.3390/ijerph19031407>
57. Imburgia M., Logozzo S., Hauschild U., Veronesi G., Mangano C., Mangano F.G. Accuracy of four intraoral scanners in oral implantology: A comparative in vitro study // BMC Oral Health. – 2017;17:92. <https://doi.org/10.1186/s12903-017-0383-4>
58. Jafri Z., Ahmad N., Sawai M., Sultan N., Bhardwaj A. Digital Smile Design-An innovative tool in aesthetic dentistry // J. Oral Biol. Craniofac. Res. – 2020;10(2):194-198. <https://doi.org/10.1016/j.jobcr.2020.04.010>
59. Joda T., Ferrari M., Gallucci G.O., Wittneben J.G., Brägger U. Digitaltechnology in fixed implant prosthodontics // Periodontol 2000. – 2017;73(1):178-192. <https://doi.org/10.1111/prd.12164>
60. Joda T., Zarone F., Ferrari M. The complete digital workflow in fixed prosthodontics: a systematic review // BMC Oral Health. – 2017;17(1):124. <https://doi.org/10.1186/s12903-017-0415-0>
61. Kihara H., Hatakeyama W., Komine F., Takafuji K., Takahashi T., Yokota J., Oriso K., Kondo H. Accuracy and practicality of intraoral scanner in dentistry: A literature review // J. Prosthodont Res. – 2020;64(2):109-113. <https://doi.org/10.1016/j.jpor.2019.07.010>
62. Kirschneck C., Kamuf B., Putsch C., Chhatwani S., Bizhang M., Danesh G. Conformity, reliability of digital dental models created by clinical intraoral scanning and extraoral plaster model digitization workflows // Comput. Biol. Med. – 2018;100:114-122. <https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2018.06.035>
63. Konieczny B., Szczesio-Włodarczyk A., Sokolowski J., Bociong K. Challenges of Co-Cr Alloy Additive Manufacturing Methods in Dentistry-The Current State of Knowledge (Systematic Review) // Materials (Basel). – 2020;13(16):3524. <https://doi.org/10.3390/ma13163524>
64. Lim J.H., Park J.M., Kim M., Heo S.J., Myung J.Y. Comparison of digital intraoral scanner reproducibility and image trueness considering repetitive experience // J. Prosthet. Dent. – 2018;119:225-232. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2017.05.002>
65. Mangano F., Gandolfi A., Luongo G., Logozzo S. Intraoral scanners in dentistry: a review of the current literature // BMC Oral Health. – 2017;17(1):149. <https://doi.org/10.1186/s12903-017-0442-x>
66. Michelinakis G., Apostolakis D., Kamposiora P., Papavasiliou G., Özcan M. The direct digital workflow in fixed implant prosthodontics: a narrative review // BMC Oral Health. – 2021;21(1):37. <https://doi.org/10.1186/s12903-021-01398-2>
67. Noort R. The future of dental devices is digital // Dent Mater. – 2012;28(1):3-12. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2011.10.014>
68. Pop-Ciutirila I.S., Duda D., Badea M.E., Moldovan M., Cimpean S.I., Ghinea R. Shade Correspondence, Color, and Translucency Differences between Human Dentine and a CAD/CAM Hybrid Ceramic System // J. Esthet Restor. Dent. – 2016;28(1):S46-S55. <https://doi.org/10.1111/jerd.12195>
69. Rasiaie V., Abduo J., Hashemi S. Accuracy of Intraoral Scanners for Recording the Denture Bearing Areas: A Systematic Review // J. Prosthodont. – 2021;30(6):520-539. <https://doi.org/10.1111/jopr.13345>
70. Rhee Y.K., Huh Y.H., Cho L.R., Park C.J. Comparison of intraoral scanning and conventional impression techniques using 3-dimensional superimposition // J. Adv. Prosthodont. – 2015;7:460-467. <https://doi.org/10.4047/jap.2015.7.6.460>
71. Schweiger J., Edelhoff D., Güth J. 3D Printing in Digital Prosthetic Dentistry: An Overview of Recent Developments in Additive Manufacturing // J. Clin. Med. – 2021;10(9):2010. <https://doi.org/10.3390/jcm10092010>
72. Suese K. Progress in digital dentistry: The practical use of intraoral scanners // Dent Mater J. – 2020;39(1):52-56. <https://doi.org/10.4012/dmj.2019-224>
73. Zhang Y., Lawn B.R. Novel Zirconia in Dentistry // J. Dent Res. – 2018;97(2):140-147. <https://doi.org/10.1177/0022034517737483>