

DOI: 10.18481/2077-7566-2026-22-1-175-182

УДК 616.314

ОПТИМИЗАЦИЯ ЦИФРОВОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СЪЕМНЫХ ЗУБНЫХ ПРОТЕЗОВ У ПАЦИЕНТОВ С ПОЛНЫМ И ЧАСТИЧНЫМ ОТСУТСТВИЕМ ЗУБОВ

Кишкань А.¹, Путинцев М. Ю.¹, Теблеева Е. Ц.¹, Подобаева П. А.², Харченко Р. Э.¹

¹ Первый московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова (Сеченовский Университет), г. Москва, Россия

² Российский университет дружбы народов им. П. Лумумбы, г. Москва, Россия

Аннотация

Стремительное развитие цифровой ортопедической стоматологии существенно меняет подход врачей к съемному протезированию, открывая новые возможности для планирования ортопедического лечения у пациентов с такими клиническими ситуациями, как полное и частичное отсутствие зубов. Традиционный подход к съемному протезированию включал в себя большое количество последовательных клинических и зуботехнических этапов, лечение могло занимать до нескольких недель. Применение цифровых технологий позволяет реализовать лечение за 1–2 посещения стоматолога-ортопеда. Ключевую роль в этом прогрессе играет комплексное применение высокоточного интраорального сканирования, компьютерного моделирования (CAD), а также автоматизированных методов производства (CAM). Точность и прогнозируемость конечного результата при использовании цифровых протоколов достигают уровня, который был попросту недостижим при традиционных аналоговых подходах. Однако столь активное развитие технологий, когда новые методики и материалы появляются практически в режиме реального времени, ставит перед практикующими специалистами важную задачу поиска оптимальных путей их интеграции в повседневную клиническую практику. Данная научная работа направлена на исследование и систематизацию методов оптимизации цифрового планирования при изготовлении съемных зубных протезов у пациентов с полным и частичным отсутствием зубов. Был проведен тщательный теоретический анализ отечественных и зарубежных научных источников, освещающих современные достижения и актуальные проблемы цифровой ортопедической стоматологии, а также дальнейшие перспективы применения CAD/CAM в области съемного протезирования. Установлено, что ключевым фактором успешной оптимизации цифрового протокола является строго индивидуальный подход к выбору методов лечения в зависимости от конкретного клинического случая. Также обоснована высокая целесообразность применения гибридного цифро-аналогового подхода. Сочетание возможностей цифрового планирования и CAD/CAM производства с проверенными временем традиционными аналоговыми методами позволяет нивелировать недостатки каждого из подходов и достигать максимальной функциональной и эстетической точности при изготовлении современных съемных протетических конструкций.

Ключевые слова: адентия, съемные зубные протезы, цифровое планирование зубного протезирования, CAD/CAM, 3D-печать

Авторы заявили об отсутствии конфликта интересов

Антон КИШКАНЬ ORCID ID 0009-0001-3305-0974

Аспирант кафедры ортопедической стоматологии им. И. М. Боровского, Первый московский государственный медицинский университет им. И. М. Сеченова (Сеченовский Университет), г. Москва, Россия
antonnn432@gmail.com

Максим Юрьевич ПУТИНЦЕВ ORCID ID 0009-0005-5206-9135

аспирант кафедры ортопедической стоматологии им. И. М. Боровского, Первый московский государственный медицинский университет им. И. М. Сеченова (Сеченовский Университет), г. Москва, Россия
max.jjmt@mail.ru

Евгения Цебековна ТЕБЛЕЕВА ORCID ID 0009-0004-9566-9088

Ассистент кафедры ортопедической стоматологии им. И.М. Боровского, Первый московский государственный медицинский университет им. И. М. Сеченова (Сеченовский Университет), г. Москва, Россия
tebleeva_e_ts@staff.sechenov.ru

Полина Александровна ПОДОБАЕВА ORCID ID 0009-0001-5298-8992

Студент 5 курса стоматологического факультета, Российский университет дружбы народов им. П. Лумумбы, г. Москва, Россия
podobaevapolina@mail.ru

Роман Эдуардович ХАРЧЕНКО ORCID ID 0009-0000-1259-4481

Преподаватель, аспирант кафедры ортопедической стоматологии им. И. М. Боровского, Первый московский государственный медицинский университет им. И. М. Сеченова (Сеченовский Университет), г. Москва, Россия
kharchenko_r_e@staff.sechenov.ru

Адрес для переписки: Антон КИШКАНЬ

121059, г. Москва, ул. Можайский вал, д. 11

+7 (968) 801-63-55

antonnn432@gmail.com

Образец цитирования:

Кишкань А., Путинцев М. Ю., Теблеева Е. Ц., Подобаева П. А., Харченко Р. Э.

ОПТИМИЗАЦИЯ ЦИФРОВОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СЪЕМНЫХ ЗУБНЫХ ПРОТЕЗОВ У ПАЦИЕНТОВ С ПОЛНЫМ И ЧАСТИЧНЫМ ОТСУТСТВИЕМ ЗУБОВ. Проблемы стоматологии. 2026; 1: 175-182.

© Кишкань А. и др., 2026

DOI: 10.18481/2077-7566-2026-22-1-175-182

Поступила 02.03.2026. Принята к печати 30.03.2026

DOI: 10.18481/2077-7566-2026-22-1-175-182

OPTIMIZATION OF DIGITAL PLANNING FOR THE MANUFACTURE OF REMOVABLE DENTURES IN PATIENTS WITH COMPLETE AND PARTIAL ABSENCE OF TEETH

Kishkan A.¹, Putintsev M.Yu.¹, Tebleeva E.Ts.¹, Podobaeva P.A.², Kharchenko R.E.¹

¹ First Moscow State Medical University named after I.M. Sechenov (Sechenov University), Moscow, Russia

² Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba (RUDN University), Moscow, Russia

Abstract

The rapid development of digital orthopedic dentistry is significantly changing doctors' approaches to removable prosthetics, opening up new possibilities for planning orthopedic treatment in patients with clinical situations such as complete and partial edentulism. The traditional approach to removable prosthetics involved a large number of sequential clinical and dental laboratory stages, with treatment potentially taking up to several weeks. The use of digital technologies, however, allows treatment to be completed in 1–2 visits to the orthopedic dentist. A key role in this progress is played by the integrated application of high-precision intraoral scanning, computer-aided design (CAD), and computer-aided manufacturing (CAM) methods. The accuracy and predictability of the final result achieved with digital protocols reach a level that was simply unattainable with traditional analog approaches. However, such an active development of technologies, where new techniques and materials emerge almost in real-time, presents practicing specialists with the important task of finding optimal ways to integrate them into everyday clinical practice. This study aims to investigate and systematize methods for optimizing digital planning in the fabrication of removable dentures for patients with complete and partial edentulism. A thorough theoretical analysis of domestic and international scientific literature was conducted, covering current achievements and current challenges in digital orthopedic dentistry, as well as future prospects for the application of CAD/CAM in the field of removable prosthetics. It was established that a key factor for the successful optimization of the digital protocol is a strictly individualized approach to the selection of treatment methods depending on the specific clinical case. The high feasibility of applying a hybrid digital-analog approach was also substantiated. Combining the capabilities of digital planning and CAD/CAM manufacturing with time-tested traditional analog methods allows for the mitigation of the disadvantages inherent in each approach and achieving maximum functional and aesthetic accuracy in the fabrication of modern removable prosthetic structures.

Keywords: *adentia, removable dentures, digital prosthetics planning, CAD/CAM, 3D printing*

The authors declare no conflict of interest

Anton KISHKAN ORCID ID 0009-0001-3305-0974

Postgraduate student of the Department of Orthopedic Dentistry named after I.M. Borovsky, First Moscow State Medical University named after I.M. Sechenov (Sechenov University), Moscow, Russia
antonnn432@gmail.com

Maxim Yu. PUTINTSEV ORCID ID 0009-0005-5206-9135

Postgraduate student of the Department of Orthopedic Dentistry named after I.M. Borovsky, First Moscow State Medical University named after I.M. Sechenov (Sechenov University), Moscow, Russia
max.jjjm@mail.ru

Evgeniya T. TEBLEEVA ORCID ID 0009-0004-9566-9088

Assistant, Department of Orthopedic Dentistry named after I.M. Borovsky, First Moscow State Medical University named after I.M. Sechenov (Sechenov University), Moscow, Russia
tebleeva_e_ts@staff.sechenov.ru

Polina A. PODOBAEVA ORCID ID 0009-0001-5298-8992

5th-year Student, Faculty of Dentistry, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba (RUDN University), Moscow, Russia
podobaevapolina@mail.ru

Roman E. KHARCHENKO ORCID ID 0009-0000-1259-4481

Lecturer, Postgraduate student, Department of Orthopedic Dentistry named after I.M. Borovsky, First Moscow State Medical University named after I.M. Sechenov (Sechenov University), Moscow, Russia
kharchenko_r_e@staff.sechenov.ru

Correspondence address: Anton Kishkan

11 Mozhaisky val st., Moscow, 121059, Russia
+7 (968) 801-63-55
antonnn432@gmail.com

For citation:

Kishkan A., Putintsev M.Yu., Tebleeva E.Ts., Podobaeva P.A., Kharchenko R.E.

OPTIMIZATION OF DIGITAL PLANNING FOR THE MANUFACTURE OF REMOVABLE DENTURES IN PATIENTS WITH COMPLETE AND PARTIAL ABSENCE OF TEETH. Actual problems in dentistry. 2026; 1: 175-182. (In Russ.)

© Kishkan A. et al., 2026

DOI: 10.18481/2077-7566-2026-22-1-175-182

Received 02.03.2026. Accepted 30.03.2026

Введение

Потеря зубов (адентия) на данный момент является серьезной и актуальной проблемой в ортопедической стоматологии, особенно если речь идет о пожилых пациентах [1]. ВОЗ сообщает, что вторичной адентией (и полной, и частичной) страдают около 75 % людей во всем мире [2]. При этом статистика адентии значительно отличается в зависимости от типа, возраста и причины. Это могут быть как несчастные случаи, спортивные травмы и другие травмирующие события, так и осложнения кариозных заболеваний. Частичная адентия встречается гораздо чаще полной адентии, составляя от 45 % до 75 % всех стоматологических заболеваний [3]. Показатели полного отсутствия зубов демонстрируют выраженную возрастную зависимость. Средняя распространенность полной потери зубов в мире составляет почти 7 % среди людей в возрасте от 20 лет и старше [2]. Если среди людей в возрасте 40–49 лет этот показатель составляет 1 %, среди 50–59-летних — 5,5 %, то среди людей старше 60 лет — уже 25 % [4]. Только около трети (33,6 %) людей в возрасте 65–74 лет имеют 20 и более естественных зубов [5]. Наиболее часто полная вторичная адентия на верхней и нижней челюстях отмечается у людей старше 70 лет (19,0 ± 4,28 %) [6], что обусловлено многими факторами, включая трудности с выполнением процедур гигиены полости рта из-за системных заболеваний или функциональных ограничений в этом возрасте [7]. Возрастные изменения жевательной системы включают в себя стирание зубов, их потерю, а также изменения слизистой оболочки полости рта и костных структур [8]. Потеря зубов может быть обусловлена различными сопутствующими заболеваниями, включая недоедание, сахарный диабет, болезни сердечно-сосудистой системы, остеопороз и т. п. При этом существует статистически значимая связь между потерей зубов и проблемами со здоровьем полости рта [9, 10]. Кроме этого необходимо учитывать, что существует мировая тенденция к увеличению средней продолжительности жизни человека. Согласно прогнозам, к 2030 году каждый шестой человек в мире будет в возрасте 60 лет и старше и ожидается, что число людей в возрасте 80 лет и старше в период с 2020 по 2050 год достигнет 426 миллионов [2]. Основными последствиями потери зубов являются феномен Попова-Годона (74 %), нарушение функции жевания (16,18 %), нарушение функции височно-нижнечелюстных суставов, сопровождающихся крепитацией (17,15 %) и болью (7,28 %), а также могут быть боли в эпигастрии ввиду нарушения формирования пищевого комка при потере зубов (33,66 %). Адентия в том числе негативно влияет на психологический статус больного и затрудняет социализацию [11]. Съёмные зубные протезы представляют собой универсальное решение для замещения зубов, подходящее широкому кругу пациентов с различной степенью потери зубов и потребностями в уходе за полостью рта, в том числе и пациентам, которым противопоказано инвазивное стоматологическое лечение.

Зубные протезы предназначены для восстановления жевательной и речевой функций, для улучшения эстетики улыбки пациентов с вторичной адентией [12]. Современная стоматология использует широкий спектр технологий изготовления зубных протезов. Полные съёмные протезы используются при отсутствии зубов на одной или обеих челюстях (адентулизм), тогда как частичные съёмные зубные протезы предназначены для восстановления одного или нескольких утраченных зубов. С помощью цифровых технологий на данный момент изготавливаются как простые конструкции из различных пластмасс (нейлон, ПММА и т. д.), так и более сложные бюгельные протезы с прочным металлическим каркасом. Применение компьютерных технологий (CAD/CAM) в ортопедической стоматологии позволяет автоматизировать ключевые технологические этапы изготовления протезов. Это способствует минимизации влияния человеческого фактора, снижению процента производственного брака и сокращению сроков изготовления конструкций при одновременном повышении качества и воспроизводимости результатов. Принимая во внимание данные преимущества, следует отметить, что важность изготовления качественных съёмных зубных протезов в ближайшие десятилетия станет еще более значимой в связи с прогрессирующим демографическим старением населения и все более возрастающей потребностью во временном и постоянном протезировании [13].

Цель работы — определение подходов к оптимизации цифрового планирования изготовления съёмных зубных протезов у пациентов с полным и частичным отсутствием зубов путем теоретического анализа современных научных публикаций.

Материалы и методы исследования

Методом исследования явился теоретический анализ источников отечественной и зарубежной литературы, в которых опубликованы научные данные о современном состоянии достижений и проблем цифрового планирования изготовления съёмных зубных протезов у пациентов с полным и частичным отсутствием зубов, а также дальнейших перспективах использования этого направления в протезировании. Исследование включает в себя анализ научных источников, опубликованных в литературных базах eLIBRARY.RU, Электронная библиотека диссертаций Российской государственной библиотеки, National Institutes of Health (NIH), PubMed и Medline. Глубина поиска — 10 лет (2016–2026 г.).

Всего было отобрано и проанализировано 32 источника (25 англоязычных и 7 русскоязычных).

Критерии включения:

- Источники, соответствующие требованиям ВАК
- Научные работы, посвященные цифровым и традиционным методам лечения пациентов с различными формами адентии
- Научные работы, посвященные экспериментам в области цифрового съёмного протезирования

Критерии исключения:

- дата выпуска ранее 2016 года,

- статьи официальных сайтов стоматологических клиник, производителей стоматологических материалов, инструментов, приборов и т. д.

- научная литература тематически не связанная с адентией и ортопедическим лечением пациентов с отсутствием одного или нескольких зубов

Результаты исследования и их обсуждение

Съемное протезирование пациентов в цифровой ортопедической стоматологии, как и в традиционной, начинается с диагностического обследования пациента и планирования соответствующего клиническому случаю и финансовым возможностям съемного протеза. Когда мы провели этап клинического осмотра, изучили данные рентгенографии, утвердили план лечения и определились с выбором необходимой ортопедической конструкции, мы переходим к этапу интраорального сканирования.

Клиническая применимость интраоральных сканеров при частичной адентии для изготовления частичных съемных протезов подтверждена исследованием, проведенным на 64 пациентах с включенными и концевыми дефектами верхней челюсти. Согласно полученным данным, средние абсолютные отклонения цифровых оттисков, полученных с помощью сканера Trios 3, составили для сохранившихся зубов $61,9 \pm 36,8$ мкм, для беззубых участков альвеолярного гребня — $63,0 \pm 37,1$ мкм, в то время как для мягких тканей неба этот показатель был ожидаемо выше — $115,9 \pm 44,3$ мкм ($p < 0,001$), что объясняется их податливостью. Важным клиническим выводом стало отсутствие статистически значимого влияния классификации дефекта по Кеннеди, ширины зубной дуги или количества отсутствующих зубов на достоверность сканирования ($p > 0,05$), однако было выявлено, что точность цифрового оттиска беззубого участка значимо снижается у пациентов с высоким небным сводом ($p = 0,003$). Таким образом, исследование подтверждает клиническую возможность использования интраоральных сканеров для получения цифровых оттисков при частичных съемных протезах, так как полученные значения точности находятся в пределах клинически приемлемого диапазона [14].

Использование интраоральных сканеров вместо снятия функциональных оттисков при полной адентии пока является спорной и не до конца изученной темой в научном сообществе. Клиническое исследование авторов Саадех К., Тохме Х. и др. напрямую сравнивало традиционные функциональные оттиски с цифровыми сканами, выполненными с использованием двух различных типов щечных ретракторов. Выборка состояла из 16 пациентов, страдающих полной адентией. Каждому пациенту был снят традиционный функциональный оттиск как эталон и проведено два интраоральных сканирования с использованием ретракторов подвижной слизи фирм DIO и Branemark. Далее оттиски гипсовали и полученные модели сканировались в лабораторных условиях. Все полученные STL файлы сравнили и пришли к выводу, что интраоральные сканы демонстрируют значительную погрешность относительно

эталонных функциональных оттисков вне зависимости от того, какие ретракторы использовались [15]. Клиническое исследование Чебиб Н. и соавторов с участием 19 беззубых пациентов продемонстрировало, что базисы полных съемных протезов, изготовленные по цифровым оттискам, имеют статистически значимо более низкую ретенцию по сравнению с базисами, полученными по традиционным оттискам с функциональным оформлением границ: ретенция печатных базисов составила $6,21 \pm 4,72$ Н против $16,08 \pm 15,28$ Н для традиционных ($p < 0,05$), при этом среднее отклонение между цифровым сканом и эталонной моделью достигало $0,45 \pm 0,11$ мм [16]. Профессор Ло Руссо в 2023 году провел клиническое исследование с участием 20 пациентов с полной адентией нижней челюсти. Участникам выполнялось сканирование с использованием двухэтапного протокола (последовательное сканирование сначала одной стороны нижней челюсти, затем другой), после чего у тех же пациентов получали традиционные оттиски, которые сразу гипсовали, а полученные модели сканировали лабораторно. Полученные STL файлы накладывали друг на друга и анализировали с помощью программного обеспечения, оценивая средние расстояния и отклонения по осям X, Y и Z на всем протяжении альвеолярного гребня, разделенного на шесть областей. Результаты исследования показали, что среднее расхождение между цифровыми сканами и традиционными оттисками составило $-0,08$ мм, что хотя и было статистически значимо ($p = 0,003$), но является клинически незначимой величиной по мнению автора [17].

Чаще врачи используют гибридный метод с функциональным оттиском и последующим его сканированием. Данный подход эффективен и позволяет сохранить клинически доказанное преимущество функционального оформления границ (ретенция в 2,5–3 раза выше) и одновременно использовать возможности цифрового проектирования и производства базисов съемных протезов [18].

Таким образом, интраоральные сканеры действительно могут составить конкуренцию аналоговым методам получения оттисков в случае, если нам необходим анатомический оттиск, однако если нужен именно функциональный оттиск, все же пока лучше придерживаться традиционных технологий, внедряя их в цифровые протоколы зубного протезирования [19].

Полученные трехмерные модели челюстей в ходе интраорального или внеротового сканирования необходимо правильно сопоставить в специализированной компьютерной программе (Например, Exocad). Для этого нам необходимо определить центральную окклюзию либо центральное соотношение челюстей в зависимости от клинической ситуации.

В цифровой стоматологии наиболее распространен метод сопоставления моделей челюстей с использованием физических прикусных шаблонов. На основе интраоральных сканов 3D печатью изготавливаются индивидуальные ложки и прикусные шаблоны, затем клинически определяется центральное соотношение челюстей либо центральная окклюзия. Данный метод

универсален, применим как в случае частичной, так и полной адентии. Однако поскольку регистрация соотношения челюстей производится традиционным аналоговым методом, полностью цифровым этот подход назвать нельзя [20].

В случае частичного съемного протезирования широко применяется протокол определения центральной окклюзии без прикусных шаблонов. Он представляет собой цифровой способ сопоставления челюстей, основанный на сохраненных окклюзионных контактах собственных зубов пациента. Сначала выполняется интраоральное сканирование верхней и нижней челюстей в разомкнутом положении с получением отдельных STL-моделей зубных рядов и протезного ложа. Затем пациент смыкает зубы в положении привычной окклюзии. В этом положении выполняется так называемый bite-scan — сканирование щечных поверхностей зубов одновременно верхней и нижней челюсти в зоне сохраненных антагонистов. Современные сканеры, такие как TRIOS 4 автоматически сопоставляют модели по полученным окклюзионным контактам с использованием алгоритмов трехмерной регистрации поверхностей. Дополнительные физические регистраторы (воск, силикон, прикусные шаблоны) не применяются, если имеется достаточное количество стабильных окклюзионных контактов [21].

Протокол определения центрального соотношения челюстей с использованием ультразвукового аксиографа Arcus Digma II (KaVo) представляет собой многоэтапную диагностическую процедуру, направленную на трехмерную пространственную регистрацию положения мышечков относительно суставных ямок. Исследование начинается с фиксации лицевой дуги с ультразвуковыми приемниками на голове пациента и крепления параокклюзионной вилки с ультразвуковыми датчиками на нижнюю челюсть, что не должно препятствовать привычному смыканию зубных рядов. Далее выполняется запись готического угла (трассировка резцовой точки): пациент совершает экскурсионные движения челюстью (протрузия, латеротрузия), в результате чего на экране компьютера отображается характерная фигура (готическая дуга), вершина которой соответствует положению центрального соотношения (ЦС) при мышечной релаксации. Параллельно система регистрирует траектории движений головок нижней челюсти в трех плоскостях с вычислением количественных параметров: расстояние смещения мышечков (при функциональных нарушениях может превышать 2 мм в сагиттальной, фронтальной и трансверзальной плоскостях), угол сагиттального суставного пути, угол Беннета и угол непосредственного бокового смещения (ISS). Компьютерный анализ этих траекторий позволяет определить положение ЦС, при котором наблюдается соответствие суставных поверхностей и симметричность траекторий [22]. Исследование подтвердило, что использование Arcus Digma для регистрации ЦС методом готической дуги обеспечивает более равномерное распределение окклюзионной силы в окончательных протезах по сравнению с традиционными методами (стандартное отклонение разницы

жевательного давления в боковых отделах составило $14,45 \pm 7,33$ против $20,52 \pm 7,99$) [23].

Довольно точный экспериментальный метод цифрового определения центральной окклюзии — использование дополнительно полноценного 3D скана лица пациента и такого же скана лица пациента, но с установленной физической лицевой дугой. В исследовании представлен протокол, при котором после получения интраоральных сканов зубных рядов и расширенного периорального скана проводится сканирование лица пациента с помощью портативного устройства (программа Bellus3D). Ключевым этапом является второе сканирование лица с уже зафиксированной на пациенте лицевой дугой (Artex), что позволяет цифровым образом зарегистрировать положение дуги относительно анатомических ориентиров черепа — наружных слуховых проходов и глабеллы. Все три набора данных (интраоральный скан, скан лица, скан лица с дугой) последовательно совмещаются в CAD/CAM-программе (Ceramill Mind) по общим анатомическим референтным точкам. После этого виртуальный артикулятор (Artex CR) калибруется в программе: ось вращения задается по положению ушных упоров дуги, а горизонтальная плоскость выставляется параллельно базе артикулятора. Авторы провели количественную оценку точности, сравнив положение пяти анатомических ориентиров верхней челюсти на эталонной гипсовой модели, смонтированной в механическом артикуляторе, и на виртуальных моделях, смонтированных четырьмя разными врачами по описанному цифровому протоколу. Средние линейные отклонения по всем точкам составили величину, сопоставимую с клинически приемлемой (минимальное расхождение точек при сравнении всех полученных моделей составило 0,258 мм, максимальное — 1,078 мм), что демонстрирует высокую воспроизводимость метода. Протокол не требует лучевой нагрузки, выполняется примерно за 60 секунд на каждом этапе сканирования, однако чувствителен к артефактам от бликующей поверхности металлической дуги (рекомендуется использование матирующего спрея) и требует неподвижности пациента во время сканирования [24].

После сопоставления полученных сканов верхней и нижней челюстей в положении центральной окклюзии или центрального соотношения челюстей наступает этап создания трехмерной модели будущего протеза с его последующим автоматизированным производством. Современные CAD/CAM технологии позволяют изготавливать множество видов съемных и частичных съемных ортопедических конструкций. В настоящее время выделяют два принципиально отличающихся метода производства в цифровой стоматологии — субтрактивный и аддитивный.

Субтрактивное производство зубных протезов подразумевает фрезерование (механическую обработку) специальных промышленных заготовок на автоматизированных станках с числовым программным управлением. Таким образом, из цельных дисков или блоков на основе полиметилметакрилата (ПММА), нейлона и других

материалов изготавливаются полные съемные протезы, а также частичные съемные пластиночные протезы [25].

Аддитивное производство представляет собой технологию послойного синтеза изделий, реализуемую методами 3D-печати (DLP, SLA, SLS и др.), при которых конструкции формируются путем полимеризации фотополимеров или лазерного спекания материалов. Данный подход обеспечивает высокую точность воспроизведения геометрии будущего протеза и позволяет минимизировать расход материалов, поскольку объем производственных отходов при печати значительно ниже, чем при фрезеровании. Технология 3D-печати также дает возможность воспроизводить практически любую геометрию модели, что особенно эффективно при изготовлении частично-съемных и полных съемных конструкций с поднутрениями, реализация которых методом фрезерования затруднена [26].

Понимание фундаментальных различий между двумя цифровыми подходами позволяет обоснованно выбирать оптимальную технологию в зависимости от клинической ситуации и требований к ортопедической конструкции.

Одним из ключевых параметров, определяющих клиническую эффективность протезов, является минимально допустимая толщина базиса, при которой сохраняются необходимые механические свойства. Согласно зарубежным исследованиям, материалы для фрезерования (AvaDent и IvoCad) могут использоваться для изготовления базисов съемных протезов при минимальной толщине 1,5 мм с сохранением клинически приемлемых прочностных характеристик. В то же время материалы для 3D-печати (FormLabs и NextDent) требуют минимальной толщины 2,0 мм для обеспечения адекватных показателей прочности на изгиб [27]. Исследование корейских ученых Ли Дон-Хен и Ли Джун-Сок подтверждает эти данные, демонстрируя, что при толщине 1,6 мм все исследованные CAD/CAM протезы (как фрезерованные, так и напечатанные) показывают значения прочности на изгиб, превышающие требования ISO 20795-1:2013 (не менее 65 МПа для полимеров на основе ПММА). При этом фрезерованный материал Vipi Block Gum (M-VP) при толщине 1,6 мм продемонстрировал прочность на изгиб более 110 МПа, тогда как напечатанный DIOnavi (P-DO) при той же толщине — около 85 МПа, а DENTCA (P-DC) — приблизительно 70 МПа [28].

Точность прилегания внутренней поверхности протезов описана в исследовании Калберер Н., в котором сравнивались фрезерованные и 3D-печатные полные съемные протезы. Фрезерованные протезы продемонстрировали более высокую точность воспроизведения интралиальной поверхности по сравнению с напечатанными ($p < 0,001$ для всей поверхности) [29]. Аналогичные выводы получены в недавнем исследовании Эндрю Б. Кэмерон и др. Авторы сравнивали точность внутренней поверхности базисов полных верхнечелюстных протезов, изготовленных на двух субтрактивных и пяти аддитивных системах ($n = 10$ на группу) с последующей выдержкой в искусственной слюне при

37 °C в течение 7 дней. Результаты показали, что субтрактивный метод обеспечивает наиболее точное воспроизведение внутренней поверхности: медианные значения среднеквадратичного отклонения (RMS) составили 0,023 мм для фрезерного станка ICT и 0,03 мм для Programill 7. Аддитивные методы показали менее точные результаты со значительной вариабельностью между системами: лучший результат среди 3D-принтеров продемонстрировал Rapidshape (медиана RMS 0,041 мм), за ним следуют Formlabs (0,043 мм), Cara (0,066 мм), Asiga (0,073 мм) и NextDent (0,082 мм). При этом авторы отмечают, что отклонения более 0,4 мм в отдельных анатомических областях могут приводить к образованию пролежней, и такие отклонения наблюдались во всех группах аддитивного производства, тогда как фрезерованные протезы оставались в пределах клинически приемлемых значений [30].

Юн-Джу Ван и др. в своем исследовании оценивали параметры транслюцентности традиционных, фрезерованных и 3D-печатных базисных материалов при трех различных толщинах (1,0, 2,0 и 3,0 мм). Всего было изготовлено 240 образцов ($n = 10$ на группу для каждой толщины) из 8 материалов: традиционный акрил горячей полимеризации H-Lucitone (контроль), два фрезерованных материала (M-Lucitone и IvoBase) и пять 3D-печатных материалов (P-Lucitone, Dentca LP, Dentca OP, Formlabs и Kulzer). Установлено, что параметр транслюцентности (TP00) снижается с увеличением толщины во всех исследованных группах материалов, при этом различия были статистически значимыми ($p < 0,001$). При толщине 1 и 2 мм акрил горячей полимеризации (H-Lucitone) имел наименьший TP00 и, соответственно, лучшую способность к маскировке цвета металлического субстрата. При толщине протеза 3 мм фрезерованный акрил (M-Lucitone и IvoBase) демонстрировал наименьший TP00 и лучшую маскирующую способность ($p < 0,001$). Все 3D-печатные материалы, за исключением одного (P-Lucitone), имели достоверно более высокие значения TP00, чем фрезерованные материалы и традиционный акрил горячей полимеризации при всех исследованных толщинах ($p < 0,001$). Это означает, что способность к маскировке цвета остальных 3D-печатных материалов была низкой независимо от толщины протеза [31].

В последние годы наблюдается активное внедрение новых фотополимерных материалов для аддитивного производства съемных протезов. Так, компания Stratasys представила смолу TrueDent, сертифицированную FDA (класс II), которая позволяет печатать монолитные многоцветные протезы с естественной эстетикой десны и зубов за один цикл производства. Предел прочности на изгиб данного материала составляет не менее 85 МПа, что соответствует клиническим требованиям к долговечным конструкциям. Компания Carbon разработала полимер FP3D с технологией двойного отверждения, предназначенный для гибких частичных съемных протезов, который обеспечивает высокую устойчивость к ежедневным функциональным нагрузкам благодаря вторичному этапу термоактивации.

Исследования показывают, что добавление наночастиц и армирующих компонентов в фотополимерные смолы на основе ПММА позволяет повысить прочность на изгиб до 31,6 % и ударную вязкость до 24,2 % по сравнению с немодифицированными составами [32].

Выводы

Проведенный теоретический анализ позволил определить основные направления оптимизации цифрового планирования при изготовлении съемных зубных протезов у пациентов с частичной и полной адентией. Установлено, что рациональная стратегия основывается на индивидуальном подходе к выбору технологий в зависимости от клинической ситуации. При полной адентии наиболее обоснованным представляется применение гибридного протокола, предполагающего использование традиционного функционального оттиска с последующей его оцифровкой и компьютерным моделированием базиса протеза, что позволяет сохранить высокие ретенционные свойства конструкции (16,08 ± 15,28 Н против 6,21 ± 4,72 Н у полностью цифровых протезов). В отношении определения центрального соотношения и центральной окклюзии также подтверждена целесообразность гибридных решений: применение напечатанных/фрезерованных индивидуальных базисов в сочетании с традиционными методами регистрации обеспечивают высокую точность

и простоту позиционирования моделей в виртуальном артикуляторе с отклонениями в пределах клинически приемлемых 0,258–1,078 мм, что зачастую недостижимо при изолированном применении стандартных цифровых протоколов. Критически значимым фактором оптимизации является также дифференциация методов автоматизированного производства. Субтрактивный метод производства следует рассматривать как приоритетный для изготовления базисов съемных протезов постоянного ношения ввиду более высокой точности прилегания (среднеквадратичное отклонение 0,023–0,03 мм против 0,041–0,082 мм у аддитивных методов), прочностных характеристик (прочность на изгиб более 110 МПа при толщине 1,6 мм) и эстетических показателей (наименьшие значения транслюцентности ТР00), тогда как аддитивные методы представляют собой оптимальные решения для изготовления имediat-протезов и временных конструкций, обеспечивая необходимую скорость изготовления и клинически приемлемое качество при минимальных экономических затратах. Реализация указанных методов позволяет достичь максимальной функциональной и эстетической точности протезирования, сократить сроки лечения и повысить предсказуемость результатов ортопедической реабилитации пациентов с различными формами адентии.

Литература/References

- Saddq T. H., AL-Kaisy N., Ibrahim R. O. Evaluation of Patient Satisfaction with Existing Complete Dentures for Those Patients Attending College of Dentistry University of Sulaimani. *Sulaimani Dental Journal*. 2020;7(2):90–98. <https://doi.org/10.17656/sdj.10120>
- World Health Organisation. Oral Health Uganda 2022 country profile: Technical document. WHO; 18 Nov 2022. Available from: <https://www.who.int/publications/m/item/oral-health-uga-2022-country-profile?ysclid=mnigao147s94811170>
- Иванова Е. А., Иванова И. О., Егорова А. В. Изучение факторов риска развития адентии постоянных зубов. Актуальные проблемы теоретической и клинической медицины. 2021;(1):98–102. [Ivanova E. A., Ivanova I. O., Egorova A. V. Study of risk factors for the development of permanent teeth adentia. *Actual Problems of Theoretical and Clinical Medicine*. 2021;(1):98–102. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.24412/2790-1289-2021-198102>
- Lee D. J., Saponaro P. C. Management of edentulous patients. *Dental clinics of North America*. 2019;63(2): 249–261. <https://doi.org/10.1016/j.cden.2018.11.006>
- Tuktaeva M. M. Specificity of treatment for complications in the oral cavity after removable dental prostheses. *Eurasian Journal of Medical and Natural Sciences*. 2025;5(3 Pt 2):12–14. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15128820>
- Ерошенко Р. Э., Стафеев А. А. Анализ распространенности стоматологических заболеваний, требующих ортопедического лечения, среди сельского населения Омской области. *Стоматология*. 2018;97(1):9–15. [Eroshenko R. E., Stafeev A. A. Analysis of the prevalence of dental diseases requiring orthopedic treatment among the rural population of the Omsk region. *Dentistry*. 2018;97(1):9–15. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.17116/stomat20189719-15>
- Al-Rafee M. A. The epidemiology of edentulism and the associated factors: A literature Review. *Journal of family medicine and primary care*. 2020;9(4):1841–1843. <https://doi.org/10.4103/jfmpc.jfmpc.1181.19>
- Mubarak M. Q., Moaleem M. M. A., Alzahrani A. H., Shariff M., Alqahtani S. M., Porwal A. Assessment of Conventionally and Digitally Fabricated Complete Dentures: A Comprehensive Review. *Materials (Basel)*. 2022;15(11):3868. <https://doi.org/10.3390/ma15113868>
- Jaber A., Alshame A., Salem K., Manickam Natarajan P. The Association between Teeth Loss and Oral Health Problems. *Indian Journal of Forensic Medicine & Toxicology*. 2021;15(2):1892–1902. <https://doi.org/10.37506/ijfimt.v15i2.14608>
- Ворожко А. А., Клемян В. А., Майлян Э. А., Прилуцкий А. С., Трунова О. А. Распространенность и методы ортопедического лечения адентии, побочные эффекты и осложнения, аллергические реакции. Университетская клиника. 2024;(2):62–68. [Vorozhko A. A., Klyomin V. A., Maylyan E. A., Prilutskii A. S., Trunova O. A. Prevalence and methods of orthopedic treatment of adentia, side effects and complications, allergic reactions. *University Clinic*. 2024;(2):62–68. (In Russ.)]. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=67968930>
- Agbor A. M., Bruno K., Salomon Z., Ananack G. C., Clement T. Pattern and Consequences of Non-Replacement of Missing Teeth amongst Edentulous Adults in Ngaoundéré-Cameroon. *British Journal of Healthcare and Medical Research*. 2022;9(3):198–208. <https://doi.org/10.14738/jbemi.93.12384>
- Diaconu-Popa D., Vițariu A., Mârțu I., Luchian I., Luca O., Tatarciuc M. Full dentures realization-conventional vs digital technologies. *Romanian Journal of Oral Rehabilitation*. 2021;13(4):160–173. <http://rjor.ro/wp-content/uploads/2022/01/Full-dentures-realization-conventional-vs-digital-technologies.pdf>
- Campbell S. D., Cooper L., Craddock H., Hyde T. P., Nattress B., Pavitt S. H. et al. Removable partial dentures: The clinical need for innovation. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2017;118(3):273–280. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2017.01.008>
- Yao M., Gan N., Ming J., Cheng H., Jiao T. In vivo study of intraoral scanner trueness in partial edentulism. *Scientific reports*. 2025;15(1):20637. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-06562-0>
- Saadeh C., Tohme H., Lawand G., Khoury N., Yared C. Effect of Using Cheek Retractors on Patient Satisfaction and Trueness of Peripheral Borders in Maxillary Digital Scans for Totally Edentulous Patients: An In Vivo Study. *The International Journal of Prosthodontics*. 2025;38(1):55–63. <https://doi.org/10.11607/ijp.8895>
- Chebib N., Imamura Y., El Osta N., Srinivasan M., Müller F., Maniewicz S. Fit and retention of complete denture bases: Part II — conventional impressions versus digital scans: A clinical controlled crossover study. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2024;131(4):618–625. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2022.07.004>
- Lo Russo L., Sorrentino R., Esperouf Z., Zarone F., Ercoli C., Guida L. Assessment of distortion of intraoral scans of edentulous mandibular arch made with a 2-step scanning strategy: A clinical study. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2025;134(1):151–159. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2023.09.029>
- Апресян С. В., Степанов А. Г., Антоник М. М., Дегтярев Н. Е., Кравец П. Л., Лихненко М. Н. и др. Комплексное цифровое планирование стоматологического лечения. Москва: Мозартика; 2020. 398 с. [Apresyans S. V., Stepanov A. G., Antonik M. M., Degtyarev N. E., Kravets P. L., Likhnenko M. N. et al. *Comprehensive digital planning of dental treatment*. Moscow: Mozartika; 2020. 398 p. (In Russ.)].
- Singh R., Mistry G., Kini A., Ansari R., Kailaje V., Kapoor S. Accuracy and Clinical Performance of Intraoral Scanners Compared to Conventional and Extraoral Impressions: An Umbrella Review. *Cureus*. 2025;17(9):e93202. <https://doi.org/10.7759/cureus.93202>
- Жданов Д. В., Ворожко А. А., Баркова Д. А., Яворская Е. А. Изготовление полных съемных протезов по аналоговой методике с использованием современных цифровых технологий. Тверской медицинский журнал. 2024;(5):123–126. [Zhdanov D. V., Vorozhko A. A., Barkova D. A., Yavorskaya E. A. Manufacturing of complete removable dentures using an analog technique using modern digital technologies. *Tver Medical Journal*. 2024;(5):123–126. (In Russ.)]. <https://elibrary.ru/item.asp?id=75197441>

21. Pletkus J., Auškalnis L., Gendvilienė I., Pletkus R., Eyiüboğlu T. F., Özcan M. et al. Accuracy of different maxillomandibular relationship recording techniques in the edentulous maxillary arch. *Journal of Prosthodontics*. 2024. <https://doi.org/10.1111/jopr.13976>
22. Привалова А. В., Лешчева Е. А. Функциональные характеристики височно-нижнечелюстного сустава при регистрации центрального соотношения челюстей с помощью различных депрограммирующих аппаратов. Вестник Северо-Западного государственного медицинского университета им. И. И. Мечникова. 2025;17(3):51–61. [Privalova AV, Leshcheva EA. Functional characteristics of the temporomandibular joint following registration of centric relation using various anterior deprogrammers. *HERALD of North-Western State Medical University named after I. I. Mechnikov*. 2025;17(3):51–61.]. <https://doi.org/10.17816/mechnikov643624>
23. Dawoud Y., Bahig D., Shawky A. A. Evaluation Of Retention and Assessment of Biting Force Distribution of a Complete Denture Fabricated Using 3D Printed Custom Trays with Arcus Digma Versus Conventional Method (A Cross Over Study). *Ain Shams Dental Journal*. 2021;23(3):120–130. <https://doi.org/10.21608/asdj.2022.116490.1104>
24. D'Albis G., Forte M., Stef L., Feier D. R., Garcia V. D., Corsalini M. et al. A Digital Workflow for Virtual Articulator Mounting Using Face Scan and Facebow Capture: A Proof-of-Concept. *Dentistry journal*. 2025;13(8):378. <https://doi.org/10.3390/dj13080378>
25. Modiga C., Stoia A., Leretter M. T., Chiş A. C., Ardelean A. V., Azar E. R. et al. Mechanical Assessment of Denture Polymers Processing Technologies. *Journal of functional biomaterials*. 2024;15(8):234. <https://doi.org/10.3390/jfb15080234>
26. Эртесян А. Р., Садыков М. И., Нестеров А. М. Обзор технологий 3D-печати в стоматологии. Медико-фармацевтический журнал «Пulsь». 2020;22(10):15–18. [Ertesyan A. R., Sadykov M. I., Nesterov A. M. Overview of 3d printing technologies in dentistry. *Medical and pharmaceutical journal "Pulse"*. 2020;22(10):15–18. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.26787/nydha-2686-6838-2020-22-10-15-18>
27. Alaseef N., Albasarah S., Alabdulghani H., Al-Harbi F. A., Gad M. M., Akhtar S. et al. CAD-CAM Fabricated Denture Base Resins: In Vitro Investigation of the Minimum Acceptable Denture Base Thickness. *Journal of prosthodontics*. 2022;31(9):799–805. <https://doi.org/10.1111/jopr.13486>
28. Lee D. H., Lee J. S. Comparison of flexural strength according to thickness between CAD/CAM denture base resins and conventional denture base resins. *Journal of Dental Rehabilitation and Applied Science*. 2020;36(3):183–195. <https://doi.org/10.14368/jdras.2020.36.3.183>
29. Kalberer N., Mehl A., Schimmel M., Müller F., Srinivasan M. CAD-CAM milled versus rapidly prototyped (3D-printed) complete dentures: An in vitro evaluation of trueness. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2019;121(4):637–643. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2018.09.001>
30. Cameron A. B., Kim H., Evans J. L., Abuzar M. A., Tadakamadla S. K., Alifui-Segbaya F. Intaglio surface of CNC milled versus 3D printed maxillary complete denture bases — An in vitro investigation of the accuracy of seven systems. *Journal of dentistry*. 2024;151:105389. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2024.105389>
31. Wang Y. J., Chu T. G., Lin W. S. Translucency parameter and color masking ability of CAD-CAM denture base materials against metal substrates. *Journal of prosthodontics*. 2023;32(S1):61–67. <https://doi.org/10.1111/jopr.13581>
32. Hamdy T. M. Evaluation of flexural strength, impact strength, and surface microhardness of self-cured acrylic resin reinforced with silver-doped carbon nanotubes. *BMC Oral Health*. 2024;24(1):151. <https://doi.org/10.1186/s12903-024-03909-3>