

СОВРЕМЕННЫЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ 3D-ТЕХНОЛОГИЙ В ИЗГОТОВЛЕНИИ СЪЁМНЫХ ЗУБНЫХ ПРОТЕЗОВ

Аствацатрян Л.Э.¹, Гажва С.И.¹

¹ФГБОУ ВО «НиЖГМА» Минздрава России (Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородская государственная медицинская академия» Министерства здравоохранения Российской Федерации), Нижний Новгород, e-mail: rector@nizhgma.ru

В данном обзоре специальной отечественной и зарубежной литературы обсуждается вопрос о возможностях и перспективах использования цифровых технологий в стоматологии. Сделан акцент на реальных достижениях в области изготовления частичных и полных стоматологических съёмных протезов с использованием различных методик и алгоритмов, показаны их преимущества и недостатки. Обсуждается эффективность цифровых технологий на начальных этапах протезирования – внутриротового сканирования и виртуального моделирования съёмных протезов. Дана подробная характеристика сильным и слабым сторонам применения систем CAD / CAM для изготовления базисов съёмных протезов и искусственных зубов. Приводятся примеры использования аддитивного производства или 3D-печати на этапах изготовления съёмных протезов различных конструкций. Производится сравнение 3D-печати и технологии CAD / CAM в вопросе эффективности создания съёмных зубных протезов.

Ключевые слова: съёмное протезирование, CAD / CAM, виртуальный оттиск, 3D-моделирование, 3D-печать.

MODERN ASPECTS OF THE USING 3D TECHNOLOGIES IN THE MANUFACTURE OF REMOVABLE DENTURES

Astvatsatrian L.E.¹, Gazhva S.I.¹

¹State Educational Establishment of Higher Professional Training Nizhny Novgorod State Medical Academy of the Ministry of Public Health of the Russian Federation (NNSMA), Nizhny Novgorod, e-mail: rector@nizhgma.ru

This review of special domestic and foreign literature discusses the issue of the possibilities and prospects of using digital technologies in dentistry. The emphasis is on real achievements in the field of manufacturing partial and complete removable dentures using various techniques and algorithms, showing their advantages and disadvantages. The efficiency of digital technologies at the initial stages of prosthetics - intraoral scanning and rapid prototyping of removable dentures is discussed. A detailed description of the strengths and weaknesses of CAD / CAM systems for the manufacture of bases of removable dentures and false teeth is given. Examples are given of the using additive manufacturing or 3D printing at the stages of manufacturing removable dentures of various designs. A comparison of 3D printing and CAD / CAM technology in the issue of the effectiveness of creating removable dentures is made.

Keywords: removable dentures, CAD / CAM, virtual impression, rapid prototyping, 3D printing.

Цифровая стоматология растёт во всей общей стоматологической практике. Компьютерное моделирование позволяет рассчитывать поведение зубочелюстных сегментов в зависимости от индивидуальных особенностей состояния полости рта. Рассчитываются перемещения, углы поворота и наклона зубов в зависимости от модуля сдвига костной ткани, координаты и проекции приложенных сил, жевательное давление различных участков протеза. Это позволяет создать уникальную, наиболее подходящую пациенту конфигурацию частичного или полного съёмного протеза. За счет применения компьютерных моделей повышается эффективность работы стоматологов, а пациенты с адентией получают возможность улучшить качество жизни [1].

Цифровые оттиски, программное обеспечение CAD / CAM и их фрезерные

устройства, 3D-принтеры регулярно уже используются некоторыми частными стоматологическими клиниками. Пациенты указывают, что они остаются удовлетворены на протяжении всего курса лечения, и особенно конечным результатом. Технологии будущего продолжают развиваться и будут более широко использоваться в съёмном протезировании и других областях стоматологии [2; 3].

Трёхмерная печать была воспринята как разрушительная технология, которая изменит производство, быстро приближаясь к принятию в качестве наиболее гибкой технологии обработки, которая может быть применена к пластиковым, металлическим, керамическим, бетонным и другим строительным материалам. Однако, пользуясь огромной универсальностью, связанной с фотополимеризацией, а также с возможностью выбора из множества полимеров, трёхмерная печать преимущественно нацелена на производство полимерных деталей и моделей. Используемая в аэрокосмической отрасли, оборонной промышленности, искусстве и дизайне, 3D-печать становится предметом большого интереса в медицине. Технология получила особый резонанс в стоматологии наряду с технологиями 3D-визуализации и моделирования, такими как компьютерная томография и внутриротовое сканирование, а также с относительно большой историей использования технологий CAD / CAM в стоматологии, она будет приобретать все большее значение. Использование 3D-печати включает в себя изготовление направляющих для дентальных имплантатов, производство физических моделей для протезирования, ортодонтии и хирургии, изготовление зубных, краниомаксиллофациальных и ортопедических имплантатов, а также изготовление копий и каркасов для имплантатов и стоматологических реставраций [3; 4].

Относительно изготовления съёмных зубных протезов компьютерные технологии ещё только постепенно внедряются в стоматологическую практику. Отсутствует обобщённая информация об историческом прошлом, текущем статусе и перспективах на будущее. Пока ещё только появляется научная литература, связанная с цифровыми технологиями изготовления съёмных протезов. Значительные успехи этих технологий постепенно приводят к их всё большей коммерческой доступности с более короткими клиническими протоколами [5-8].

Внедрение технологии автоматизированного проектирования / автоматизированного производства (CAD / CAM) в производство зубных протезов приносит несколько преимуществ процессу изготовления, обеспечивая лучшую предсказуемость желаемых результатов и высокую точность крепления зубного протеза, главным образом потому, что фрезерование блоков полиметилметакрилата устраняет усадку акрилового базиса. Кроме того, наблюдается снижение пористости по сравнению с традиционно обработанным протезом, и, следовательно, снижается удержание *Candida albicans* на базисе зубного

протеза [9].

Системы автоматизированного проектирования / автоматизированного производства (CAD / CAM) основываются исключительно на методах вычитания, которые заключаются в разрезании, выпиливании, фрезеровании из сборного блока с использованием боров, сверл или алмазных дисков [10]. По заявлению многих авторов, использование методов автоматизированного проектирования и автоматизированного производства (CAD / CAM), особенно быстрого прототипирования, обещает более эффективный метод для создания съёмных протезов [5; 9; 11; 12]. Интеграция цифрового моделирования, оптимизация вычислений и свободное создание формы обеспечивает более эффективную клиническую адаптацию. Ожидается, что индивидуальный оптимальный дизайн протезов минимизирует боль, дискомфорт и потенциально уменьшит долговременную резорбцию альвеолярного гребня [6].

Описана техника для изготовления протеза по технологии CAD / CAM полностью без воскового моделирования. Использование быстрого компьютерного прототипирования позволяет всем сторонам оценить критерии успеха до выпуска готовой конструкции, обеспечивая контроль за результатами [9]. Быстрое прототипирование представляет собой индивидуальное моделирование конструкций на компьютере в специализированных программах, это быстро развивающийся метод, который может сыграть значительную роль в возможной замене гипсовых стоматологических моделей. Виртуальные стоматологические модели, созданные с помощью методов быстрого прототипирования, считаются клинически приемлемыми с точки зрения точности и воспроизводимости и могут быть подходящими для применения в ортопедической стоматологии [10].

В системах CAD / CAM виртуальный артикулятор является основным инструментом для решения вопросов функциональных аспектов окклюзии. С введением виртуальных артикуляторов ожидается яркое будущее, и в цифровой стоматологии произойдут революционные изменения [8]. Клинические отчеты демонстрируют, что «цифровой» протез может быть эффективным и точным, устраняя или заменяя шаги, которые могут привести к осложнениям. Поскольку это новый подход, дальнейшие исследования должны быть направлены на изучение стабильности цвета, методов окрашивания и прочности связи между гарнитурными зубами и базисом протеза. Необходимо контролируемое клиническое исследование для определения того, являются ли «цифровые» зубные протезы CAD / CAM более совершенными по сравнению с обычными методами для съёмных протезов [9; 11-15]. В настоящее время опубликовано лишь несколько клинических отчетов без клинических исследований. Использование технологии CAD / CAM при изготовлении съёмных протезов может привести к лучшим результатам с точки зрения удовлетворенности пациентов в

краткосрочной перспективе. Выводы из клинических отчетов требуют подтверждения более крупными контролируруемыми достоверными испытаниями [14; 15]. В исследовании на сравнение шероховатости полных съёмных протезов, изготовленных по технологии CAD / CAM, инъекционным литьём и традиционным способом, было выявлено, что у всех трех исследованных методов показатели шероховатости, по-видимому, остаются в пределах клинически приемлемого диапазона. Дополнительные исследования оправданы по аспектам, связанным с выбором материалов, экономической эффективности, клинической эффективности, результатам, ориентированным на пациента [7; 9; 11].

Ohkubo С. с соавт. привели пример клинического создания полных съёмных протезов нижней челюсти пациента с тяжелой резорбцией альвеолярного гребня, пространство для протезов регистрировалось с использованием техники пьезографии. После сканирования с использованием программного обеспечения для автоматизированного дизайна зубных рядов выполнялось виртуальное расположение гарнитурных зубов в базисе протеза. Базис протеза фрезеровался из блока полиметилметакрилатной пластмассы с использованием автоматизированного производства (CAD / CAM), а гарнитурные зубы протеза были соединены с базисом полимерным клеем. Используя описанную технику пьезографии, физиологически соответствующие полные съёмные протезы были изготовлены на основе концепции нейтральной зоны [14].

Schwindling F.S. и Stober T. в своём исследовании провели сравнение двух способов изготовления полных съёмных протезов: фрезерованием полиметилметакрилата по технологии CAD / CAM и традиционным методом литья полиметилметакрилата. Как они выяснили, оба типа протезов могут быть изготовлены без серьезных осложнений. В процессе изготовления произошли лишь незначительные осложнения, преимущественно эстетические. В вопросах, касающихся функциональных аспектов, не обнаружено выраженной разницы. Окончательный эстетический результат оценивался как очень хороший. Полные съёмные протезы, изготовленные с использованием цифровой технологии, отвечали клиническим требованиям. Однако авторы констатируют, что для подтверждения результатов этого исследования необходимы дополнительные клинические и лабораторные испытания [15].

Несмотря на то что технология CAD / CAM для изготовления металлических каркасов для съёмных протезов ещё очень нова [16], аддитивное производство (АП), часто называемое 3D-печатью, уже в настоящее время показывает, что оно может быть значительно более эффективным при создании металлических элементов съёмных протезов. Отмечается, что АП предлагает значительные преимущества с точки зрения скорости производственных процессов, однако стоимость и другие аспекты данной технологии всё ещё остаются препятствием [17]. По сравнению с CAD / CAM обработкой этот метод является более

экономичным, поскольку материальные потери сведены к минимуму, и любой неиспользованный материал полностью или частично можно использовать повторно для дальнейшей обработки. Кроме того, 3D-печать подходит для изготовления более массивных деталей и конструкций (например, лицевого протеза и скелетных моделей), что недоступно CAD / CAM методам, которые более подходят для небольших деталей. Аддитивное производство также позволяет изготавливать заготовки с различными консистенциями и свойствами материала [18]. Частыми методиками создания ортопедических конструкций в стоматологической практике являются стереолитография, моделирование методом наплавления, фрезерование, лазерное спекание [3; 19; 20]. С появлением метода селективного лазерного наплавления металлические каркасы, в том числе титановые и из КХС для съёмных протезов могут быть непосредственно изготовлены на 3D-принтере, тем самым опуская стадию литья [10; 17; 19].

Каждая часть структуры каркаса должна быть выполнена надлежащим образом в процессе проектирования. Из-за разнообразия частей и их нерегулярных форм трехмерное проектирование каркасов частичных съёмных протезов занимает много времени и весьма сложно в исполнении. По этой причине исследователи искали правильный алгоритм и программное обеспечение для трехмерного проектирования каркасов на протяжении многих лет. Основные шаги для изготовления каркасов частичных съёмных протезов с помощью компьютерного моделирования: во-первых, оттиски получают с использованием традиционного способа или цифровым методом. Сканирование осуществляется с помощью цифрового сканера. Путь введения протеза определяется в цифровой форме, а затем компоненты каркаса проектируются в специальных 3D-редакторах стоматологами или лаборантами. Наконец, металлические каркасы печатаются на 3D-принтере [21].

Ye H. с соавт. провели исследование, в котором каркасы частичных съёмных протезов были разработаны и изготовлены непосредственно с использованием технологии быстрого прототипирования (БП) и селективного лазерного наплавления (СЛН), и пришли к выводу, что каркасы (БП / СЛН) могут соответствовать клиническим требованиям с удовлетворительной ретенцией и стабильностью и без нежелательных вращательных моментов. Хотя средний разрыв между точкой окклюзионного покоя и соответствующей точкой покоя каркасов БП / СЛН был немного больше, чем у каркасов традиционного литья ($P < 0,05$), он был приемлемым для клинического применения. Каркасы частичных съёмных протезов могут быть разработаны и изготовлены непосредственно с использованием цифровых технологий с приемлемыми результатами в клиническом применении [22].

Схожие результаты наблюдались и в исследованиях Liu Y.F. с соавт. о каркасах из титанового сплава. Общее среднее отклонение каркаса из титанового сплава, изготовленного

по технологии СЛН, составляло $0,089 \pm 0,076$ мм, среднеквадратическая ошибка составляла 0,103 мм. В каркасах не было обнаружено видимых пор, трещин и других внутренних дефектов. Каркас полностью подходит к гипсовой модели [23]. Стоит отметить, что точность аддитивной техники зависит от толщины слоя и ширины отверждающего луча. Чем тоньше слои и более узкий луч, тем точнее конечный продукт. Однако увеличение количества слоев и уменьшение диаметра луча будет экспоненциально увеличивать время изготовления. Меньшие размеры частиц, большая плотность порошка, более высокая интенсивность лазера, уменьшенная скорость сканирования и меньшая толщина слоя будут способствовать увеличению плотности продукта. Однако это следует сопоставить с потенциальным риском повышенной погрешности измерений, так как большая мощность лазера и более низкая скорость сканирования могут привести к большим искажениям [18].

Ещё одним преимуществом цифрового типа производства в стоматологии является возможность получения цифрового оттиска, что также позволяет значительно сократить время пребывания пациента на приёме и общую трудоёмкость процесса [24; 25]. Снятие оттисков является критическим шагом в изготовлении съёмного зубного протеза. Описана методика получения оттисков с помощью автоматизированного проектирования и компьютерного анализа цифрового трёхмерного оттиска полости рта [24; 26]. Интраоральный сканер используется для сканирования твердых и мягких тканей для создания стереолитографического файла, который впоследствии импортируется в компьютерную программу для цифрового / виртуального проектирования съёмного протеза зубов [27]. Особенно данная технология будет полезна в работе с пациентами с затруднённым открыванием рта [25; 28]. Также эта методика показана для пациентов с повышенным рвотным рефлексом; она оказалась более удобной альтернативой для пациента и более точным методом, позволяющим клиницисту фиксировать детали твердого и мягкого нёба для изготовления съёмных протезов [29]. Сами пациенты отдают предпочтение сканированию полости рта, нежели обычному методу снятия оттисков, если у них есть возможность выбирать, и воспринимают они продолжительное внутриворотное сканирование более позитивно, чем традиционный способ получения оттисков, с использованием слепочных масс [25].

Wu J. с соавт. продемонстрировали соединение методик интраорального цифрового оттиска с компьютерным прототипированием и 3D-печатью каркаса частичного съёмного протеза. В отличие от традиционного метода, эта интеграционная система имеет потенциал для разработки индивидуального стоматологического протеза, так как практически полностью автоматизирует процесс изготовления конечной конструкции и сокращает использование расходных стоматологических материалов [28].

В заключение стоит отметить, что цифровые технологии имеют ряд неоспоримых преимуществ по сравнению с традиционными методами ортопедической стоматологии. Но, к сожалению, цифровые технологии пока весьма медленно внедряются в стоматологическую практику. Связано это прежде всего с высокой стоимостью оборудования и в некоторых случаях с консервативными взглядами самих стоматологов и недоверием к компьютерным технологиям. Однако постепенное появление новых игроков на рынке с развитием 3D-технологий в стоматологической науке и, как следствие, увеличение предложения должны увеличить доступность данных технологий и оборудования. Исходя из этого ожидается, что в будущем неизбежно повсеместное использование цифровых технологий в стоматологической практике, и в изготовлении съёмных протезов в частности.

Список литературы

1. Невзоров А.Ю. Полная адентия: выбор варианта лечения на основе компьютерного моделирования [Электронный ресурс] // Бюллетень медицинских интернет-конференций. – 2013. – Т. 3, № 2. – С. 230. – Режим доступа: https://elibrary.ru/download/elibrary_18820608_65519082.pdf. (дата обращения: 15.09.2017).
2. A Combination of Various Technologies in the Fabrication of a Removable Partial Denture - A Case Study / S. Seitz [et al.] // Texas Dental Journal. – 2016. – Vol. 133, № 1. – P. 24.
3. Наумович С.С. Cad/cam системы в стоматологии: современное состояние и перспективы развития / С.С. Наумович, А.Н. Разоренов // Современная стоматология. – 2016. – № 4 (65). – С. 2-9.
4. 3D printing in dentistry / A. Dawood [et al.] // British Dental Journal. – 2015. – Vol. 219, № 11. – P. 521-529.
5. Bidra A.S. Computer-aided technology for fabricating complete dentures: systematic review of historical background, current status, and future perspectives / A.S. Bidra, T.D. Taylor, J.R. Agar // The Journal of Prosthetic Dentistry. – 2013. – Vol. 109, № 6. – P. 361-366.
6. Shape Optimization for Additive Manufacturing of Removable Partial Dentures - A New Paradigm for Prosthetic CAD/CAM [Electronic resource] / J. Chen [et al.] // PLoS ONE. – 2015. – Mode of access: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0132552>. – Date of access: 15.09.2017.
7. Additive Manufacturing Techniques in Prosthodontics: Where Do We Currently Stand? A Critical Review / N. Alharbi [et al.] // The International Journal of Prosthodontics. – 2017. – Vol. 30, № 5. – P. 474-484.
8. Rajaa M.M. Computer-Based Technologies in Dentistry: Types and Applications / M.M. Rajaa, F.F. Farzaneh // Journal of Dentistry of Tehran University of Medical Sciences. – 2016. –

Vol. 13, № 3. – P. 215-222.

9. Total CAD/CAM Supported Method for Manufacturing Removable Complete Dentures [Electronic resource] / A.F de Mendonça [et al.] // *Case Reports in Dentistry*. – 2016. – Mode of access: <https://www.hindawi.com/journals/crid/2016/1259581/>. – Date of access: 15.09.2017.
10. Torabi K. Rapid Prototyping Technologies and their Applications in Prosthodontics, a Review of Literature / K. Torabi, E. Farjood, S. Hamedani // *Journal of Dentistry, Shiraz University of Medical Sciences*. – 2015. – Vol. 16, № 1. – P. 1-9.
11. CAD/CAM milled removable complete dentures: an in vitro evaluation of trueness / M. Srinivasan [et al.] // *Clinical Oral Investigations*. – 2017. – Vol. 21, № 6. – P. 2007-2019.
12. Accuracy of CAD-CAM-fabricated removable partial dentures [Electronic resource] / C. Arnold [et al.] // *The Journal of Prosthetic Dentistry*. – 2017. – Mode of access: [http://www.thejpd.org/article/S0022-3913\(17\)30305-0/fulltext](http://www.thejpd.org/article/S0022-3913(17)30305-0/fulltext). – Date of access: 15.09.2017.
13. Computer-aided fabrication of a zirconia 14-unit removable dental prosthesis / J. Grösser [et al.] // *International Journal of Computerized Dentistry*. – 2014. – Vol. 17, № 4. – P. 307-316.
14. Complete denture fabrication using piezography and CAD-CAM: A clinical report [Electronic resource] / C. Ohkubo [et al.] // *The Journal of Prosthetic Dentistry*. – 2017. – Mode of access: <http://dx.doi.org/10.1016/j.prosdent.2017.04.013>. – Date of access: 17.09.2017.
15. Schwindling F.S. A comparison of two digital techniques for the fabrication of complete removable dental prostheses: A pilot clinical study / F.S. Schwindling, T. Stober // *The Journal of Prosthetic Dentistry*. – 2016. – Vol. 116, № 5. – P. 756-763.
16. Removable partial dentures: use of rapid prototyping / J.M. Lima [et al.] // *Journal of Prosthodontics*. – 2014. – Vol. 23, № 7. – P. 588-591.
17. Alifui-Segbaya F. Additive Manufacturing: A Novel Method for Fabricating Cobalt-Chromium Removable Partial Denture Frameworks [Electronic resource] / F. Alifui-Segbaya, R.J. Williams, R. George // *European journal of prosthodontics and restorative dentistry*. – 2017. – Vol. 25, № 2. – Mode of access: http://www.ejprd.org/view.php?article_id=876&journal_id=114. – Date of access: 13.08.2017.
18. Abduo J. Trends in Computer-Aided Manufacturing in Prosthodontics: A Review of the Available Streams [Electronic resource] / J. Abduo, K. Lyons, M. Bennamoun // *International Journal of Dentistry*. – 2014. – Mode of access: <http://dx.doi.org/10.1155/2014/783948>. – Date of access: 19.09.2017.
19. Beguma Z. Rapid prototyping - when virtual meets reality / Z. Beguma, P. Chhedat // *International Journal of Computerized Dentistry*. – 2014. – Vol. 17, № 4. – P. 297-306.
20. Stansbury J.W. 3D printing with polymers: Challenges among expanding options and opportunities / J.W. Stansbury, M.J. Idacavage // *Dental Materials*. – 2016. – Vol. 32, № 1. – P. 54-

64.

21. A review of computer-aided design/computer-aided manufacture techniques for removable denture fabrication / M.S. Bilgin [et al.] // *European Journal of Dentistry*. – 2016. – Vol. 10, № 2. – P. 286-291.
22. Preliminary Clinical Application of Removable Partial Denture Frameworks Fabricated Using Computer-Aided Design and Rapid Prototyping Techniques / H. Ye [et al.] // *The International Journal of Prosthodontics*. – 2017. – Vol. 30, № 4. – P. 348-353.
23. A preliminary study on the forming quality of titanium alloy removable partial denture frameworks fabricated by selective laser melting / Y. Liu [et al.] // *Chinese journal of stomatology*. – 2017. – Vol. 52, № 6. – P. 351-354.
24. Loney R.W. Digital scanning to aid guiding plane and rest seat preparations for removable partial dentures [Electronic resource] / R.W. Loney, C.J. Lee, P. Michaud // *The Journal of Prosthetic Dentistry*. – 2017. – Mode of access: <http://dx.doi.org/10.1016/j.prosdent.2017.01.020>. – Date of access: 18.09.2017.
25. Варианты использования 3D-сканирования в ортопедической стоматологии / А.В. Юмашев [и др.] // *Вестник новых медицинских технологий*. – 2015. – № 1. – С. 2-6.
26. Mansour M. The Use of Digital Impressions to Fabricate Tooth-Supported Partial Removable Dental Prosthesis A Clinical Report / M. Mansour, E. Sanchez, C. Machado // *Journal of Prosthodontics*. – 2016. – Vol. 25, № 6. – P. 495-497.
27. Intraoral scanning of hard and soft tissues for partial removable dental prosthesis fabrication / M.T. Kattadiyil [et al.] // *The Journal of Prosthetic Dentistry*. – 2014. – Vol. 112, № 3. – P. 444-448.
28. Wu J. Use of intraoral scanning and 3-dimensional printing in the fabrication of a removable partial denture for a patient with limited mouth opening / J. Wu, Y. Li, Y. Zhang // *The Journal of the American Dental Association*. – 2017. – Vol. 148, № 5. – P. 338-341.
29. Fabrication of a definitive obturator from a 3D cast with a chairside digital scanner for a patient with severe gag reflex: a clinical report / J. Londono [et al.] // *The Journal of Prosthetic Dentistry*. – 2015. – Vol. 114, № 5. – P. 735-738.