

СОВРЕМЕННЫЕ КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СТОМАТОЛОГИИ

Н.А. ЦАЛИКОВА

ГБОУВПО Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И.Евдокимова, 127473, г. Москва, ул. Делегатская, д.20, стр.1, тел.: 8-905-704-95-40, e-mail: ninatsalikova@mail.ru

Аннотация: современные системы компьютерного моделирования и изготовления протезов находят широкое применение в стоматологии. Это обусловлено возможностью сокращения этапов протезирования, использования новых эстетичных и прочных материалов, высоким уровнем их обработки. Все системы компьютерного моделирования и изготовления протезов состоят из трех основных функциональных компонентов: модулей для сканирования, проектирования, автоматизированного изготовления. Основными этапами изготовления стоматологических реставраций при помощи компьютерных технологий являются: получение цифрового слепка, обработка и преобразование полученной цифровой информации, реконструкция поверхности зубов на мониторе, конструирование виртуальной модели будущей реставрации, автоматизированное изготовление реставрации. Все существующие системы компьютерного моделирования и изготовления протезов дифференцируются, главным образом, по типу трехмерного сбора данных о геометрии полости рта, по спектру изготавливаемых конструкций зубных протезов и используемых конструкционных материалов, а также по бизнес-модели применения в клинике. Значительную роль в популяризации технологии отводят переходу от двухмерного изображения к изометрии, что позволяет визуализировать и контролировать в полной мере процесс конструирования реставрации на экране монитора, а также появлению новых конструкционных материалов, совмещающих в себе эстетику керамики и прочность металла.

Ключевые слова: CAD/CAM системы, стоматология, зубные протезы.

MODERN DIGITAL TECHNOLOGIES IN DENTISTRY.

N.A. TSALIKOVA

Moscow State Medical and Dental University After A.I. Evdokimova

Abstract: modern dental CAD / CAM systems are now widely used in dentistry. This is due to the possibility of reducing prosthetic procedure time, the use of new aesthetic and durable materials, a high level of processing. All CAD / CAM systems consist of three main functional components: the scanning module, computer-aided design, computer-aided manufacturing. The main stages of the production of dental restorations using computer technology are: digital impression taking, processing and conversion of the resulting digital information, the reconstruction of the teeth on the monitor, design of virtual model of the final restoration, automated fabrication of the restoration. All existing CAD / CAM systems differ mainly by the type of three-dimensional data acquisition of the geometry of the mouth cavity, the spectrum of produced dentures and used construction materials and on the business model. The success of dental CAD/CAM is due to the isometric reconstruction of the model and tooth restoration and modern strong and esthetic dental materials.

Key words: CAD / CAM systems, dentistry, dental restorations.

Цифровые технологии прочно вошли во все сферы жизнедеятельности человека, в том числе - в медицину [8, 9]. Возможности их использования в стоматологии на всех этапах лечения пациентов включают ведение медицинской документации, диагностику (радиовизиографы, компьютерные томографы, виртуальные артикуляторы, цифровая фотоаппаратура), моделирование и имитацию клинических ситуаций, лечение. Разрабатываются способы получения и ориентации компьютерных трехмерных моделей зубов и зубных рядов, измерения высоты фиссур, бугров, формы их скатов, способы контроля одонтопрепарирования [4, 5].

Одним из символов инновационного развития стоматологии последних лет является технология компьютерного проектирования и изготовления протезов, для обозначения которой существует общепринятая аббревиатура – CAD/CAM. Разработка систем автоматизированного производства в промышленности началась в 60-х годах 20-го столетия [10]. Тогда же стали формироваться основные понятия и классификация систем и подсистем по их целевому признаку. Соответственно стандартам ГОСТ 34.003-90 и ГОСТ 23501.101-87 система автоматизированного проектирования, САПР – автоматизированная система, реализующая информационную технологию выполнения функций проектирования. Обозначаются также основная цель и задачи создания САПР – повышение эффективности труда, включая: сокращение трудоемкости проектирования и планирования; сокращение сроков проектирования; сокращение себестоимости проектирования и изготовления, уменьшение затрат на эксплуатацию; повышение качества и технико-экономического уровня результатов проектирования; сокращение затрат на моделирование и испытания. CAD/CAM-технологии – частный пример САПР.

CAD (англ. computer-aided design/drafting) – средства автоматизированного проектирования, CAM (англ. computer-aided manufacturing) – средства технологической подготовки производства изделий [6,

7]. Адекватным аналогом английской аббревиатуры CAD/CAM применительно к стоматологии является системы компьютерного проектирования и автоматизированного изготовления реставраций.

Поскольку САПР уже активно использовались в производстве в начале 80-х годов, считалось, что CAD/CAM системы стоматологического назначения будут представлять собой упрощенный вариант промышленных. Однако в действительности производство стоматологических CAD/CAM систем не являлось ни простым, ни легким по ряду причин. Общая стоимость, время работы и качество произведенного конечного продукта CAD/CAM систем должны быть на уровне по сравнению с традиционными методиками, а в идеале - превосходить их по всем параметрам, чтобы заменить их в повседневной лабораторной и клинической практике. Морфология опорных, а также рядом стоящих зубов и зубов-антагонистов должна быть точно оцифрована для создания качественных реставраций. Однако было достаточно трудно распознать тонкие края отпрепарированных зубов с использованием сканеров, доступных на тот момент. Таким образом, развитие точных и компактных сканеров и связанного с ними программного обеспечения было необходимо для выполнения этой сложной и деликатной задачи. Кроме того, поскольку реставрация должна быть не только адаптирована по линии препарирования, но и гармонизировать с естественными зубами, а также восстанавливать окклюзионный контакт, необходимо сложное программное CAD обеспечение. Необходима точная, но деликатная механическая обработка хрупких керамических материалов с учетом сложных геометрических форм реставраций, что требует использования высококлассного САМ оборудования с программным обеспечением для контроля траектории и скорости подачи инструмента. Кроме того, размеры обрабатываемого блока должны быть ограничены для установки в стандартном стоматологическом кабинете или лаборатории [11]. Наконец, в отличие от массового производства промышленных деталей, каждая реставрация индивидуальна и неповторима. Следовательно, удельное количество временных и интеллектуальных затрат несопоставимо больше. Однако, несмотря на вышеперечисленные сложности, CAD/CAM системы постепенно нашли признание в стоматологическом сообществе.

Возможности современных CAD/CAM систем – это результат длительной эволюции, которая еще не достигла своего пика. Начало развития стоматологических систем пришлось на конец 70-х годов 20-го столетия. Разработчиками ставились задачи:

- стандартизировать процесс конструирования реставраций, свести к минимуму субъективный человеческий фактор, дав четкое цифровое выражение параметрам моделировки;
- совершенствовать и унифицировать стоматологические конструкционные материалы путем использования стандартных заготовок;
- снизить временные и трудовые затраты на изготовление реставраций зубов.

Признанными родоначальниками считаются несколько систем-пионеров, которые внесли первый весомый вклад в развитие CAD/CAM технологий в стоматологии. В литературе встречаются сведения о разработчиках из США J.M.Young и B.R. Altschuler, которым принадлежали теоретические выкладки об использовании лазерной голографической оптики для отображения поверхности зубов Франсуа Дюре был первым практиком в области стоматологических CAD/CAM. С 1971 года он стал работать над проектом, способным изготавливать коронки с функциональной формой жевательной поверхности. Сканирование было основано на принципе лазерной голографической оптики. Коронки проектировались с учетом функциональных движений и фрезеровались при помощи станка с числовым программным управлением. На изготовление одной реставрации уходило около четырех часов. Первый прототип системы Duret был представлен на конференции Entretiens Gaugancieres во Франции в 1983 году. Позже Sopha Duret стала системой Sopha Bioconcept ®. Система не нашла широко признания из-за сложности всех производимых операций и дороговизны, но оказала влияние на последующее развитие стоматологических CAD/CAM систем в мире [10].

В начале 1980-х годов доктором W.Mormann совместно с инженером M. Brandestini, была разработана CEREC ® system (Университет г. Цюрих), первый производитель Siemens Dental Corp., Benshein (Германия), в последующем SIRONA (Германия). Для внутриротового оптического сканирования использовался структурированный свет. Система была ориентирована на изготовление керамических вкладок. Для фрезерования использовались алмазные диски. Несмотря на то, что окклюзионную поверхность врачу приходилось формировать вручную при помощи бора и наконечника, краевое прилегание керамических реставраций было удовлетворительным, и система нашла признание у стоматологов. Появление ее было поистине инновационным, поскольку она пропагандировала принцип chair side – изготовление керамических реставраций непосредственно у кресла пациента. Когда эта система была заявлена, быстро распространился термин CAD/CAM для стоматологии [11]. В разработанной позже системе CEREC 2 получали уже двухмерный оптический слепок. Один из двух дисков, использовавшихся ранее во фрезерном блоке, был заменен на алмазную фрезу, что значительно улучшало качество изготавливаемых реставраций и позволило фрезеровать коронки. Однако двухмерное изображение объекта было недостаточно информативно, и для вычисления высоты бугорков и фиссур реставрации по-прежнему были необходимы сложные математические расчеты.

Появление изометрии в CEREC 3 стало прорывом в прикладной цифровой стоматологии. Разработанная упрощенная программа моделировки стала доступна самому широкому кругу пользователей. Благодаря использованию двух фрез различной формы и диаметра, фрезерование стало еще более точным и деликат-

ным, соответственно расширялся также и спектр конструкционных материалов. В настоящее время CEREC-технология является достойной альтернативой традиционным методам изготовления реставраций [11].

Из-за повышения требований к качеству ортопедического лечения появились новые эстетичные и одновременно прочные и безопасные стоматологические материалы, которые требовали особой обработки. Это явилось толчком к дальнейшему развитию систем автоматизированного проектирования и изготовления стоматологических реставраций [В начале 1980-х годов, никель-хромовый сплав был использован в качестве замены для сплавов золота в стоматологии из-за резкого роста цен на драгоценные металлы в тот период. С этим связывали появление проблемы непереносимости стоматологических материалов. Выход был найден в использовании титана. Однако активному использованию титана мешали сложности, связанные с его литьем. Доктор М. Андерссон поставил на поток изготовление титановых каркасов методом искро-эрозийной обработки. Это было первое применение CAD/CAM в стоматологии для обработки металла (Procera® AllTitan). Шведская система Procera® system, разработчиками которой являются М. Andersson, В. Bergman, и др., была представлена на мировом стоматологическом рынке в 1996 году и сразу завоевала популярность. В дальнейшем система Procera стала одним из мировых лидеров по изготовлению цельнокерамических конструкций. Procera стала также первой и самой крупной из работающих по принципу «аутсорсинга».

В дальнейшем мощным стимулом к развитию CAD/CAM систем стало широкое использование новых керамических материалов, отвечающих требованиям прочности и эстетики. Созданная изначально с целью отхода от технической лаборатории, технология CAD/CAM переросла в массовое лабораторное производство. Менялся масштаб поставленных задач, расширялся спектр материалов. Появившиеся крупные лабораторные системы, такие как Procera (Швеция), KAVO Everest (Германия), Lava (Германия), HintElls (Германия) заявили о возможности изготовления каркасов мостовидных протезов из оксидной керамики, протяженность которых росла из года в год. А некоторые из них стали предлагать также обработку металлов и вспомогательных материалов.

Значительную роль в популяризации технологии отводят также переходу от двухмерного изображения к изометрии, что позволяет визуализировать и контролировать в полной мере процесс конструирования реставрации на экране монитора. В настоящее время список и география CAD/CAM систем в стоматологии постоянно расширяются, как и возможности самих систем

Все существующие CAD/CAM системы дифференцируются, главным образом, по типу трехмерного сбора данных о геометрии полости рта, по спектру изготавливаемых конструкций зубных протезов и используемых конструкционных материалов, а также по бизнес-модели применения в клинике. Модули проектирования и автоматизированного производства (CAM) имеют похожие функции и в основном обеспечены устройствами для фрезерования материала, на которые посылаются четкие инструкции для изготовления протезов [12]. Программное обеспечение связывает все модули и дает жизнь всей системе. Как и в случае изготовления несъемных протезов традиционными методами, первым этапом является планирование лечения и определение показаний к применению конструкции из того или иного конструкционного материала. Учитывая высочайшие прочностные характеристики современных каркасных оксидных материалов, приближенных по прочности к металлам, показания к изготовлению таких конструкций также максимально приближены к металлокерамике. Основные принципы подготовки зубов к изготовлению реставраций соответствуют классическим канонам препарирования твердых тканей и направлены на обеспечение оптимальной ретенции при наименьшей инвазивности и создание запаса пространства, необходимого для адекватной толщины конструкционного материала [1]. Отличия в препарировании твердых тканей зубов при работе с CAD/CAM системами обусловлены особенностями конструкционных материалов, требующих четкого соблюдения требований к толщине, площади сечения и форме реставрации; процесса сканирования зуба, что требует тщательного препарирования с четким краем и соблюдением рекомендуемых углов дивергенции или конвергенции стенок, в зависимости от вида реставрации, отсутствия поднутрений, а также с учетом возможной глубины сканирования (как правило, около 1 см); этапа фрезерования реставрации с учетом возможностей доступного диаметра и длины рабочей части фрезы.

Все CAD/CAM системы состоят из трех основных функциональных компонентов: модулей для сканирования, проектирования, автоматизированного изготовления [9].

1. Модуль для сканирования – получения цифровых параметров интересующих нас объектов в полости рта: геометрии протезного поля и зубов-антагонистов. С этой целью используют различные варианты сканеров. Результат сканирования называют цифровым слепком (digital impression), а в случае использования оптического сканера – оптическим слепком.

2. CAD – модуль представляет собой программный пакет с набором функций трехмерной визуализации полученной информации и моделирования виртуальной реставрации соответственно протезному полю с учетом его анатомо-функциональных характеристик.

3. CAM – модуль для изготовления реставрации. Преимущественно это фрезерные модули для обработки стандартных промышленных заготовок материала в виде станков с *числовым программным управлением* – ЧПУ, *английская аббревиатура* – CNC (Computer Numeric Control), в которые загружается виртуальная NC-модель реставрации. Однако в настоящее время все шире внедряются новые аддитивные методы изготовления реставраций зубов, такие как системы быстрого прототипирования, *селективного лазерного*

спекания (SLS) и другие [11].

Соответственно вышеназванным модулям CAD/CAM систем, основными этапами изготовления стоматологических реставраций при помощи компьютерных технологий являются:

- получение цифрового слепка, который представляет собой регистрацию комплекса цифровых параметров интересующих нас объектов. В зависимости от объема и сложности реставрации, это могут быть полости, подготовленные под вкладки, культы от препарированных зубов, соседние зубы, зубы-антагонисты. С этой целью используются сканеры или дигитайзеры, применяющие контактные и бесконтактные методы измерения профиля поверхности;
- обработка и преобразование полученной цифровой информации, реконструкция поверхности зубов на мониторе, конструирование виртуальной модели будущей реставрации;
- автоматизированное изготовление реставрации.

Основные модули CAD/CAM систем соответствуют производимым этапам, хотя иногда они могут быть совмещены в один блок.

Отличаются этапы изготовления реставраций в так называемых САМ системах, где отсутствует программа моделировки виртуальной реставрации. Эта функция традиционно выполняется техником в зуботехнической лаборатории из воска, пластмасс или других вспомогательных материалов. В дальнейшем реплика реставрации сканируется, либо сразу копируется, воплощаясь в конструкционном материале.

Литература

1. Одонтотрепарирование при лечении винирами и керамическими коронками / С.Д. Арутюнов [и др.]. – М.: Молодая гвардия. – 2008. – 135 с.
2. ГОСТ 34.003-90 Информационная технология./ Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Термины и определения
3. ГОСТ 23501.101-87 «Системы автоматизированного проектирования. Основные положения», РД 250-680-88 /Методические указания. Автоматизированные системы. Основные положения.
4. *Ибрагимов, Т.И.* Современные методы изучения окклюзионной поверхности зубов/ Т.И. Ибрагимов, Г.В. Большаков, А.В. Габучян // Сборник трудов IX Всерос. науч.-практ. конф. «Образование, наука и практика в стоматологии» по единой тематике «Пути повышения качества стоматологической помощи». – М., 2012. – С. 94–96.
5. *Ибрагимов, Т.И.* Применение свойств виртуального артикулятора в клиническом планировании и контроле одонтотрепарирования / Т.И. Ибрагимов, Г.В. Большаков, А.В. Габучян, В.А. Князь // Сборник трудов IX Всерос науч.-практ. конф. «Образование, наука и практика в стоматологии» по единой тематике «Пути повышения качества стоматологической помощи». – М., 2012. – С. 96.
6. *Малюх, В.Н.* Введение в современные САПР / В.Н. Малюх //Курс лекций. – М.: ДМК Пресс, 2010. – 192 с.
7. *Норенков, И.П.* Основы автоматизированного проектирования / И.П. Норенков // Учеб. для вузов. 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. – 430 с.
8. *Полховский, Д.М.* Применение компьютерных технологий в стоматологии / Д.М. Полховский // Современная стоматология. – 2008. – №1. – С. 24–27.
9. *Ряховский, А.Н.* Цифровая стоматология / А.Н. Ряховский. – М.: ООО «Авантис». – 2010. – 282 с.
10. *Miyazaki, T.D.* A review of dental CAD/CAM: current status and future perspectives from 20 years of experience / T.D. Miyazaki, Y. Hotta, J. Kunii. // Dental materials Journal. – 2009. – Vol. 28. – № 1. – 544–566.
11. *Mormann, W.H.* State of the Art of CAD/CAM Restorations. 20 years of CEREC / W.H. Mormann, J. Tinsert // CAD/CAM. Systems and Materials for the Dental Lab. – 2006. – P. 139–144.
12. *Schunke, S.* CAD/CAM: un paso adelante o atrás? La tecnología CAD/CAM cambia la evaluación de la calidad de la prostodoncia: un artículo actual y personal / S. Schunke // Quintessence técnica. – 2008. – Vol. 19. – № 2, ed. esp. – P. 92–102.