

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2019

Апресян С.В.

ЦИФРОВОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ОРТОПЕДИЧЕСКОГО СТОМАТОЛОГИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ

Кафедра ортопедической стоматологии ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», 117198, г. Москва

В данной статье приведен ретроспективный литературный мета-анализ особенностей современных аппаратов, устройств и компьютерных программ, используемых в стоматологии для планирования и осуществления высоко-точного ортопедического лечения.

Ключевые слова: цифровой дизайн улыбки; компьютерное моделирование в стоматологии; современные стоматологические CAD/CAM системы.

Для цитирования: Апресян С.В. Цифровое планирование ортопедического стоматологического лечения. Российский стоматологический журнал. 2019; 23 (3-4): 158-164. <http://dx.doi.org/10.18821/1728-2802-2019-23-3-4-158-164>

Apresyan S.V.

DIGITAL PLANNING OF ORTHOPEDIC DENTAL TREATMENT

Department of orthopedic dentistry «Peoples' friendship University of Russia», 117198, Moscow

This article presents a retrospective literary meta-analysis of the features of modern devices, devices and computer programs used in dentistry for the planning and implementation of high-precision orthopedic treatment.

Key words: digital smile design; computer modeling in dentistry; modern dental CAD/CAM systems.

For citation: Apresyan S.V. Digital planning of orthopedic dental treatment. Rossiyskii stomatologicheskii zhurnal. 2019; 23(3-4): 158-164. <http://dx.doi.org/10.18821/1728-2802-2019-23-3-4-158-164>

For correspondence: Apresyan Samvel Vladislavovich, PhD, E-mail: o.dr.apresyan@gmail.com

Acknowledgments. The study had no sponsorship.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Received 06.03.2019

Accepted 16.04.2019

Рабочий процесс стоматологического ортопедического лечения стремительно развивался в направлении повышения эффективности и рентабельности, которые стали возможными благодаря внедрению современных технологий [1]. Оцифровка стоматологических записей, компьютерные методы визуализации и виртуальное планирование лечения революционизировали клиническую практику. Постепенно и последовательно цифровизация была принята на трех основных этапах стандартного рабочего процесса ортопедического лечения: на этапе сбора данных – данные о пациенте оцифровываются и хранятся в цифровом виде; на этапе планирования – использование CAM и визуальное планирование лечения; на этапе лечения – процедурам лечения могут помочь компьютерные устройства с использованием технологии фрезерования или 3D-печати (CAM) [2–4].

Цель проведенного анализа литературы — обобщение имеющихся данных о виртуальном цифровом планировании стоматологического лечения, позволяющего исключить вопросы неудовлетворенности пациента проведенной работой и повысить качество и точность зубного протезирования на естественных и искусственных опорах.

Материал и методы

Информационный поиск проведен по запросу «виртуальное планирование стоматологического лечения» (*virtual planning of dental treatment*) в научных базах eLIBRARY, PubMed и Scopus, сроком 11 лет: с 2008 по 2019 г. Для анализа выбраны публикации, в которых подробно описаны алгоритмы компьютерного моделирования лечения стоматологического пациента, дана подробная характеристика программного обеспечения и необходимого оборудования, а также начальные и отдаленные результаты лечения с использованием указанных методов.

Результаты исследования

По указанному поисковому запросу нами проанализированы 235 статей, из них 41 статья выявлена в базе системы eLIBRARY, остальные – в базах сайтов PubMed и Scopus. Статей, подходящих по уточненному запросу, касающихся непосредственно планирования ортопедического лечения, было 76, из них 4 отечественные и 72 зарубежные системы PubMed. Статьи располагались следующим образом: 2 статьи – 2008 г.; 1 – 2009 г.; 4 – 2010 г.; 5 – 2011 г.; по 4 статьи опубликованы в 2012 и 2013 гг.; 8 – в 2014 г.; 12 – в 2015 г.; 14 – в 2016 г.; 2 – в 2017; 17 статей опубликовано в 2018 г. и 3 – в 2019 г., что, безусловно, говорит о временном росте в потребности данного вопроса.

Для корреспонденции: Апресян Самвел Владиславович, канд. мед. наук, E-mail: dr.apresyan@gmail.com

По результатам анализа видно, что к основным достоинствам виртуального планирования можно отнести то, что данные пациента хранятся в цифровых банках данных и доступны в любой момент времени, цифровые оттиски можно моментально отправить в зуботехническую лабораторию, минуя промежуточный этап, характерный для традиционной техники – отлив гипсовой модели. Таким образом, вероятность погрешностей становится минимальной. К тому же цифровое планирование дает возможность рассмотрения всех этапов работы в различные интервалы времени [5]. Кроме того, передача планирования с использованием направляющих и выравнивателей, специализированных компьютерных приборов, управляемой пьезоассистированной хирургии или даже управляемой имплантации зубов может обеспечить более точный и предсказуемый результат [6–10].

Все CAD/CAM-системы состоят из 3 компонентов: цифровой инструмент/сканер, который преобразует геометрию в цифровые данные, которые могут быть обработаны компьютером; программное обеспечение, которое обрабатывает данные и создает набор данных для продукта, который будет изготовлен и производственная технология, которая преобразует набор данных в желаемый продукт (фрезерования или 3D-печать) [11]. Финансовая доступность, небольшой размер оборудования и удобный интерфейс позволяют использовать эти технологии даже в условиях мелких частных клиник. На рынке появляется все больше и больше доступных программ, среди которых особо выделяются программы, использующие концепцию Digital Smile Design [11, 12]. Эти программы представляют собой многоцелевые концептуальные инструменты, которые помогают повысить точность диагностики, улучшают понимание между врачом и пациентом и существенно повышают предсказуемость лечения, позволяя проводить более тщательный анализ характеристик лица и зубов пациента [13–15]. На данный момент в цифровом виде можно представить любой этап и почти любой аспект работы, начиная от общего внешнего вида приспособления до протезирования и моделирования движений зубов [16–18].

Фундаментальные критерии эстетического анализа улыбки включают в себя лицевую, зубодесневую и зубную эстетику [19, 20].

Работа в программах DSD начинается с правильно откалиброванных фотографий [21]. Анализ лицевых параметров макроэстетики улыбки выполняется с использованием контрольных линий, на основе которых разработаны стандартизированные параметры для фронтального и профильного вида лица. Горизонтальные контрольные линии, используемые при фронтальном анализе, включают межзрачковые и межкомиссуральные линии, которые обеспечивают общее ощущение гармонии и горизонтальной перспективы в эстетически приятном лице, в то время как вертикальные контрольные линии включают срединную линию лица, средние линии зубов и нижней челюсти [22, 23].

Параметры, используемые для анализа профиля лица, представляют собой лицевой угол, который указывает на базовый скелетный паттерн (Naini and Gill,

2008; Rifkin, 2000), эстетическую линию Рикеттса (касательную от кончика носа к наиболее выступающей части подбородка), эстетическую линию Холдавея (линия, соединяющая переходную точку в основании носа и наиболее выступающую точку подбородка) и носогубный угол [2, 13].

Анализ зубочелюстной системы включает параметры здоровья и морфологию десны, такие как состояние межзубных сосочков и образование черных треугольников, положение зенита десны и линии десны, контур десны, линию улыбки и размер буккальных коридоров. Соответствующие отношения зубов и окружающих их мягких тканей будут в значительной степени определять общий эстетический результат лечения [1, 2, 14, 22, 24 – 27].

И, наконец, стоматологический анализ – это определение окончательных параметров (размер, форма и цвет) восстановленных зубов. Для определения адекватного размера зуба используют несколько теорий, которые включают золотую пропорцию [1, 24], соотношение ширины к длине зубов [28], концепцию Паунда [29], повторяющуюся эстетическую пропорцию, закон гармонии [29] и совсем недавно появившуюся концепцию — «visagism» [30]. При рассмотрении цвета зуба можно выделить четыре основных атрибута (оттенок, насыщенность, светлота и прозрачность) и такие характеристики, как текстура и блеск, которые также могут изменить восприятие формы зуба [31].

В исследовании I. Caviggioli с соавт. [7] дано подробное описание процесса компьютерного моделирования улыбки с использованием программного обеспечения DSD. На первоначальном этапе созданная программой виртуальная улыбка как бы «примеряется» на лицо пациента, совмещая одновременно реальное и желаемое изображения. В случае полной адентии программный продукт позволяет сделать предварительный обзор подходящих пациенту вариантов протезов. По окончании предварительной визуализации проект зубной дуги передается в систему CAD. После определения эстетики рабочий процесс переходит к захвату 3D-данных. Используя 3D-данные лица и рта, авторы изучили окклюзию, а также соотношения между зубами и губами. Это позволило совместить 3D-визуализацию лица с 3D-визуализацией ротовой полости благодаря дополнительному сканированию, сделанному с внеротовой опорной точки. Окончательный прототип демонстрируется пациенту, а все файлы записываются на цифровые носители. После этого шага структура для поддержки акрилового прототипа зубов была разработана и построена в DentalCad. Далее созданные файлы были переданы в CAM для обработки с помощью программного обеспечения, встроенного в DentalCad. После цикла фрезерования продукт был тщательно адаптирован к модели для того, чтобы завершить работу. В частности, подготовлена титановая структура, правильная постановка искусственных зубов была произведена с использованием виртуального артикулятора [7].

Виртуальный артикулятор требует цифрового трехмерного представления челюстей и специфических данных пациента о движениях челюсти. Затем он моделирует движения челюсти и обеспечивает динамическую визуализацию окклюзионных контактов [32].

Существует два типа виртуальных артикуляторов, а именно: полностью настраиваемый (регулируемый) и математически смоделированный [32, 33]. Полностью регулируемый виртуальный артикулятор записывает/воспроизводит точные пути движения нижней челюсти, используя электронную систему регистрации челюстей, называемую Jaw motion analyzer. Затем оцифрованные зубные арки движутся по этим траекториям движения, которые можно увидеть на экране компьютера, состоящем из трех основных окон, показывающих одинаковое движение арок из разных плоскостей. Программное обеспечение рассчитывает и визуализирует как статические, так и кинематические окклюзионные столкновения и используется при проектировании и коррекции окклюзионных поверхностей в CAD. Последние версии программного обеспечения включают ортодонтический модуль, создающий виртуальные установки. Этот программный инструмент также позволяет наблюдать взаимосвязь между резцом и мышечкой и влияние подвижности суставов на окклюзию [34, 35]. Математически моделируемый виртуальный артикулятор записывает/воспроизводит движения артикулятора на основе математического моделирования движений артикулятора. Полностью регулируемый 3D-виртуальный артикулятор способен воспроизводить все движения артикулятора. Эти виртуальные артикуляторы допускают дополнительные настройки, такие как изогнутые движения Беннета или другие движения для регулировки в идеальных настройках. Основным недостатком является то, что он ведет себя как артикулятор среднего значения, и невозможно получить индивидуальные траектории движения каждого пациента [36]. Однако в недавнем исследовании E. Solaberrieta с соавт. [35] при помощи технологии Leap Motion было разработано устройство регистрации движений нижней челюсти пациента, которое позволяет учитывать кинематику нижней челюсти каждого пациента.

В литературе также найдены исследования, сравнивающие результаты, полученные с помощью механического (SAM AxioGraph Axi 200) и цифрового аксиографа (SAM AxioGraph Axi 200) — прибора, предназначенного для регистрации вращательных и поступательных движений нижней челюсти. В результате авторы не обнаружили статистически значимых различий ни по одному из тестируемых параметров, хотя и отмечают большее количество погрешностей при использовании механического аксиографа [3]. В более позднем исследовании R.D. Prasad с соавт. [37] найдено статистически значимое различие между результатами, полученными с помощью ультразвукового аксиографа Axioquick, и ручным методом регистрации межокклюзионного соотношения ($p \leq 0,001$) — более точные результаты были при использовании ультразвукового аксиографа.

Конструкции, полученные с помощью программного обеспечения CAD, преобразуются во фрезерные полосы для САМ-обработки и, наконец, загружаются во фрезерное устройство. Обработываемые устройства различаются по количеству фрезерных осей: 3, 4 и 5-осевые. Качество реставрации не обязательно улучшается с увеличением количества осей обработки

и гораздо больше зависит от процесса оцифровки, обработки данных и производства. На практике используются различные варианты обработки поверхности, каждая из которых предполагает свои недостатки и преимущества. Сухая обработка применяется в основном в отношении заготовок из оксида циркония с низкой степенью предварительного спекания. Достоинствами этого вида обработки являются минимальные инвестиционные затраты на фрезерное устройство и отсутствие влагопоглощения пресс-формы ZrO₂, в результате чего отсутствует начальное время сушки для рамы ZrO₂ до спекания. Существенным недостатком данного вида является то, что более низкая степень предварительного спекания приводит к более высоким значениям усадки для каркасов. При влажной обработке фрезерный алмазный или твердосплавный резак защищен от перегрева разбрызгиванием холодной жидкости. Этот вид обработки необходим для всех металлов и стеклокерамического материала, чтобы избежать повреждения в результате тепловыделения. Более высокая степень предварительного спекания приводит к снижению коэффициента усадки и позволяет уменьшить искажения при спекании [10].

Быстрое создание прототипа возможно также с использованием технологии 3D-печати. Когда процесс проектирования и анализа завершен, файл экспортируется в формате STL на 3D-принтер, в котором используются пластик, металл, биоматериалы, керамические материалы и до 140 различных цифровых материалов благодаря объединению существующих первичных материалов по-разному при печати. После печати прототип подвергается последующей обработке для отделения материала подложки или растворения его в моющем средстве и воде, пескоструйной обработке, струйной промывке, шлифовании, инфильтрации, термообработке (для металлических предметов), а затем деталь готова к использованию [41].

На сегодняшний день в распоряжении специалиста имеется целый ряд программ, с помощью которых можно оценить и изменять в цифровом виде эстетические параметры лица, десны и улыбки. К наиболее часто используемым можно отнести Photoshop CS6 (Adobe Systems Incorporated), Keynote (Apple Incorporated), Smile Designer Pro (Tasty Tech Ltd), Aesthetic Digital Smile (ADSD), Cerec SW 4.2. (Sirona Dental Systems Incorporated), Planmeca Romexis Smile Design (PRSD) (Planmeca Romexis®), VisagiSMile (Web Motion LTD) и приложение DSD от Coachman (DSDApp LLC) [22, 23, 38].

Опираясь на данные, имеющиеся в литературных источниках, D. Omar с соавт. [22] сравнили эстетические компетенции каждой программы, используя 12 параметров анализа лица, 3 зубодесневых параметра и 5 параметров зубов, проанализировав тем самым 20 эстетических особенностей.

Самый высокий балл набрали программы Photoshop и Keynote (20/20 и 19/20 баллов соответственно). В отличие от программы Photoshop, использование которой позволяло учесть все отобранные эстетические параметры благодаря возможности обрабатывать фотографии любого типа (фронтальные, боковые, окклюзионные, втянутые), а также свободно

рисовать опорные линии и углы, в программе Keynote оказалось невозможно модифицировать и генерировать мелкие анатомические особенности на поверхности зуба. Программа ADSD получила 18/20 баллов. Следует отметить, что программа ADSD, в отличие от двух предыдущих, была разработана специально для цифрового дизайна улыбки и ее рабочий интерфейс более простой и эффективный, однако ее функции ограничены теми, которые уже включены в программу. Программы Cerec SW 4.2, DSD APP, SDP, PRSD и VisagiSMile имели схожие оценки: (13/20, 10/20, 10/20 и 10/20 баллов соответственно). Основные недостатки этих программ были обнаружены при анализе эстетических параметров лица, которые в основном используются для калибровки изображения в этих программах. Фронтальные параметры лица были ограничены, а параметры профиля лица включены в Cerec SW 4.2 лишь частично и полностью отсутствовали в остальных программах. Кроме того, некоторые из этих программ также не учитывали мелкие анатомические особенности на поверхности зуба [22].

В ряде исследований была продемонстрирована возможность успешного использования программы Photoshop для DSD и возможность успешного использования Keynote [23]. Достоинства подхода улучшения эстетики пациента с помощью методов DSD подтверждается другими работами [40, 41].

В целом в литературе содержится крайне мало информации о применении описанных программ. Santos с соавт. рассмотрели случай пластической хирургии пародонта у 16-летней пациентки с жалобами на «десневую» улыбку. Для планирования эстетической улыбки использовали программу Keynote, с помощью которой было сделано три фотографии пациента: фотография лица с широкой улыбкой, фотография лица в состоянии покоя и интраоральная фотография. Оттиск сделали с помощью альгинатных масс и затем использовали для проведения диагностики. Макет улыбки получили из материала на основе бис-акриловых смол. Пациент остался полностью доволен результатом и процессом реставрации. Rihal с соавт. (2016) описали случай использования программного обеспечения Cerec SW 4.2 в сочетании с CEREC и внутренним фрезерованием. Авторы отмечают, что общее время, затраченное специалистами на всю процедуру изготовления коронок (зубы (13,23,11,21) для пациента, включая примерку и подгонку, составило всего 5 ч.

Программа VisagiSMile – это программа, полностью разработанная на основе концепции «visagism». В исследовании N. Bichacho с соавт. [42] описан случай женщины, обеспокоенной неэстетичностью улыбки, вследствие цветовой неоднородности старых композитных реставраций на двух верхнечелюстных центральных резцах. Анализ улыбки, проведенный при помощи программы VisagiSMile, выявил еще несколько дополнительных факторов, способствующих негармоничному внешнему виду пациентки: относительно небольшие боковые резцы, асимметричные края десны и различные форма и цвет центральных резцов, наличие пространства между боковыми и центральными резцами. На основании анкетирования пациента и про-

веденного устного интервью программное обеспечение VisagiSMile показало, что темпераменту пациента соответствуют треугольные/овальные зубы. Желательные изменения смоделировали в 3D-формате, в затем показали и обсудили с пациентом. Авторы отмечают, что решающее значение как при традиционных способах реставрации, так и при использовании цифровой реставрации играет мастерство и опыт терапевтической команды [42].

Meereis с соавт. (2016) описали случай пациентки, которой после сбора анамнеза и клинического обследования диагностировали гипоплазию эмали, а также дисгармонию формы и пропорции передних зубов верхней челюсти и контура десны. Чтобы добиться большей предсказуемости предлагаемого лечения и облегчить общение между междисциплинарной стоматологической командой, в дополнение к изготовлению слепка зубов и проведению дополнительных и внутриротовых фотографий было выполнено цифровое планирование случая с помощью программного обеспечения Keynote по методике DSD. Сначала были выполнены три фотографии, необходимые для анализа DSD. На фотографии полной улыбки лица горизонтальная плоскость и срединная сагиттальная плоскость определены согласно межзрачковой линии и анатомическим ссылкам, таким как глabella, нос и подбородок соответственно. Эти две линии были перенесены на внутриротовую фотографию для анализа улыбки в соответствии с лицевыми линиями. Была установлена дентальная средняя линия и окклюзионная плоскость и проанализирована их связь с лицевыми линиями. После анализа лица был проведен стоматологический анализ. DSD использовали в качестве инструмента для общения с пациентом, чтобы ясно проиллюстрировать лечение и обсудить, соответствовало ли оно его ожиданиям. После получения согласия пациента был определен план лечения.

Массовый переход от традиционного снятия оттисков к цифровому внутриротовому сканированию является недавней тенденцией, хотя первый сканер появился еще в 1985 г. Под термином «сканер» в области стоматологии понимают инструменты сбора данных, которые измеряют трехмерные структуры челюсти и зуба и преобразуют их в цифровые наборы данных. Различают оптические и механические сканеры, каждый из которых обладает рядом недостатков и достоинств. Механический сканер отличается большей точностью измерений, но и длительным временем обработки и высокой стоимостью, поэтому в клинической практике распространение получили оптические сканеры [44].

Стандартный подход к лечению состоял из традиционных методов получения оттисков и каменных отливок, изготовленных из восстановленных из акрила и фарфора сплавов с металлом с использованием техники выпадения воска [43]. Внедрение CAD/CAM-технологии стало переломным моментом в производстве монолитных фиксированных зубных протезов на зубах и имплантатах с помощью цифрового экранного проектирования с применением стоматологического программного обеспечения и вторичного компьютерного производства, с быстрыми процедурами

создания прототипов, такими как фрезерование или 3D-печать в виртуальной среде, без каких-либо физических модельных ситуаций.

Многие исследования уже показали многочисленные преимущества цифровых оттисков по сравнению с традиционными методами, в том числе экономия времени, отсутствие дискомфорта у пациента при проведении процедуры, отсутствие погрешностей, присущих традиционным оттискам, возможность внести исправление тут же, сделав повторный снимок [44]. Однако данные о точности существующих сканеров достаточно противоречивы. Процесс создания цифрового оттиска в ортопедической стоматологии состоит из нескольких этапов, каждый из которых представляет возможность ошибки и, как следствие, снижение точности [8, 45]. Клинически, различиям в результатах могут способствовать прозрачность поверхности, геометрия поверхности или связанные с пациентом факторы, такие как контроль слюны или движение пациента. Также нельзя игнорировать операторские факторы, например такие как последовательность сканирования или регистрация прикуса [46].

А. Ender с соавт. [45] выявили, что правильность (степень близости среднего значения, полученного на основе проведения 10 или более испытаний, к принятому опорному значению) традиционной гипсовой модели составляет $55 \pm 21,8$ мкм, правильность цифрового оттиска системы Lava COS: $40,3 \pm 14,1$ мкм, а правильность цифрового оттиска системы Cerec BlueCam: $49 \pm 14,2$ мкм. В то время как прецизионность (степень близости друг к другу независимых результатов измерений, полученных в конкретных заданных условиях) традиционной модели составила $61,3 \pm 17,9$ мкм, цифрового оттиска системы Lava COS – $60,1 \pm 31,3$ мкм, а прецизионность цифрового оттиска системы Cerec BlueCam – $30,9 \pm 7,1$ мкм. Можно видеть, что значения правильности очень близки друг к другу и разница между ними незначительна, однако значение прецизионности цифрового оттиска системы Cerec BlueCam значительно выше, чем в остальных. В другом исследовании эталонный сканер показал высокую точность отображения полной зубной дуги со значениями прецизионности $1,6 \pm 0,6$ мкм и правильности $5,3 \pm 1,1$ мкм. Оттиски, полученные традиционными методами, показали значительно более высокую прецизионность – $20,4 \pm 2,2$ мкм и правильность ($20,4 \pm 2,2$ мкм) с небольшими отклонениями в области моляров. Цифровые оттиски были значительно менее точными с прецизионностью $32,4 \pm 9,6$ мкм и правильностью $58,6 \pm 15,8$ мкм [45].

Сравнительный анализ результатов изготовления традиционных и «оптических» слепков исследовали А.В. Юмашев с соавт. [46]). Проанализировав результаты применения аналоговой техники получения оттиска и внутриротового сканирования, авторы выявили, что общее время, необходимое для внутриротового сканирования, негативно воспринималось пациентами лишь в небольшом количестве случаев. В целом меньше времени требовалось при использовании аналоговой техники оттиска. Однако проведенное после процедур анкетирование выявило, что все

пациенты нашли процедуру внутриротового сканирования более приемлемой, чем традиционный слепок – у двух пациентов с выраженным рвотным рефлексом получить оттиски традиционным методом не удалось, а у 9 пациентов получение оттисков с помощью слепочных масс было довольно затруднительным [46].

Одну из ключевых ролей в цифровизации стоматологического лечения сыграло внедрение в практику ортодонта-стоматолога низкодозовой трехмерной конусно-лучевой компьютерной томографии (КЛКТ), пришедшей на смену обычной КТ. Именно благодаря объединению данных КЛКТ с цифровыми оттисками хирургическая стоматология стала точным и легко внедряемым инструментом, и виртуальное трехмерное планирование реставраций имплантатов получило широкое распространение. На сегодняшний день метод КЛКТ лежит в основе принципа работы десятков дентальных сканеров, отличающихся друг от друга по многочисленным параметрам [47].

В исследовании Т.Н. Манак с соавт. [48] сравнивали три типа планирования протезирования фронтальной группы зубов у 5 пациентов. Первая техника (DSD) включала в себя создание цифровой модели будущего протеза на фотографии с последующей передачей с полученных данных в зуботехническую лабораторию, где техник создавал Waxup по заданным величинам, вторая техника предусматривала 3D-моделирование, а третья являлась симбиозом предыдущих двух. Для каждого пациента на основе сделанных фотографий в программе Power point были разработаны 2D-модели будущих протезов с учетом усредненных эстетических параметров. После сканирования гипсовых моделей на оптическом сканере «Shining 3D» их цифровые копии отгружались в программы «Autodesk Maya» и «Autodesk Mudbox». Далее в программе «AutodeskMudbox» выполнялось удлинение моделей. Затем модели переносили в программу «AutodeskMaya», где проводилось наложение цифровой фотографии с контурами будущих реставраций на модель. Моделирование будущего протеза выполнялось с использованием программы «Quad Draw» и «Extrude». Затем после детализации и индивидуализации будущих протезов в программе «AutodeskMaya» цифровые заготовки протезов припасовывались на исходную модель. Для определения эффективности методики проводили моделирование будущих реставраций, используя все три техники с учетом времени, затрачиваемого на создание модели и конечной погрешности [48–51].

По результатам сравнения трех методик выяснилось, что на моделировку будущего протеза с применением техники DSD затрачивается 63 ± 5 мин, на моделировку в 3D – 46 ± 5 мин, в то время как при комбинировании методик – 27 ± 5 мин. Измерение конечных погрешностей показало, что величина конечной погрешности при применении DSD составила $2,1 \pm 0,1\%$, 3D-моделирования – $1,7 \pm 0,1\%$ и при использовании комбинированной техники – $1,4 \pm 0,1\%$. Очевидно, комбинированная техника выигрывает по сравнению с двумя другими методиками в контексте времени, которое затрачено на моделировку будущей реставрации, а также имеет меньшую погрешность [49, 50].

Заключение

Научное подтверждение и доказательства клинической, экономической и технической осуществимости процесса, а также долгосрочные биологические результаты полных цифровых рабочих процессов имеют решающее значение для понимания влияния фактической тенденции к цифровизации на изменение устоявшихся традиционных протоколов в фиксированном протезировании. Однако число исследований в этой области крайне ограничено. Большинство отобранных публикаций посвящены смешанным концепциям лечения, сочетающим аналоговые и цифровые рабочие этапы. Кроме того, эти испытания представляют из себя больше лабораторные исследования, технические отчеты и серии случаев. Таким образом, несмотря на большие перспективы, на сегодняшний день можно говорить об отсутствии значительных доказательств в области полных цифровых протезных рабочих процессов. И с практической точки зрения эта проблема представляет большой интерес для врача, который должен принять решение об инвестировании и внедрении полных цифровых рабочих процессов в стоматологической рутине.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Демирель К. Оценка пародонта с точки зрения эстетики. *Пародонтология*. 2011; 163(60): 55–8.
2. Денисова Ю.Л. Современные вопросы эстетической стоматологии. *Стоматология*. 2014; 2: 39–45.
3. Wagner A. и др. A comparative analysis of optical and conventional axiography for the analysis of temporomandibular joint movements. *J. Prosthet Dent*. 2003; 90(5): 503–9.
4. Арутюнов С.Д., Лебедево И.Ю., Манин О.И., Степанов А.Г. Стоматологические инновации. /под редакцией Арутюнова С.Д. и Лебедево И.Ю. – М.: ООО «Новик», 2014. – 152 с. ISBN 978-5-904383-28-2.
5. Cassetta M., Ivani M. The accuracy of computer-guided piezocision: a prospective clinical pilot study. *Int. J. Oral Maxillofac. Surg.* 2017; 46(6): 756–765.
6. Calamia J.R. и др. Smile Design and Treatment Planning With the Help of a Comprehensive Esthetic Evaluation Form. *Dent. Clin. North Am.* 2011a; 55(2): 187–209.
7. Caviggioli I., Molinelli F., Rossi M. Компьютерное моделирование улыбки. Создание цельномостового протеза в приложении Digital Smile System [Электронный ресурс]. URL: <https://stomatologclub.ru/stati/ortopediya-11/kompyuternoe-modelirovanie-ulybki-sozdanie-celnomostovogo-roteza-v-prilozhenii-digital-smile-system-1333/> (дата обращения: 23.05.2002).
8. Vandenberghe B. The digital patient - Imaging science in dentistry. *J. Dent.* 2018; 74(1): S21–S6.
9. Camardella L.T. и др. Virtual setup: application in orthodontic practice. *J. Orofac. Orthop.* 2016; 77(6): 409–19.
10. Beuer F., Schweiger J., Edelhoff D. Digital dentistry: an overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations. *Brit. Dental J.* 2008; 204(9): 505–11.
11. Ahrberg D. et al. Evaluation of fit and efficiency of CAD/CAM fabricated all-ceramic restorations based on direct and indirect digitalization: a double-blinded, randomized clinical trial. *Clin. Oral Investig.* 2016; 20(2): 291–300.
12. Jarad F.D., Russell M.D., Moss B.W. The use of digital imaging for colour matching and communication in restorative dentistry. *Br. Dent. J.* 2005; 199(1): 43–9; discussion 33.
13. Calamia J.R. и др. Smile design and treatment planning with the help of a comprehensive esthetic evaluation form. *Dent. Clin. North Am.* 2011b; 55 (2): 187–209. vii.
14. Patel A., Chapple I. *Periodontal Aspects of Esthetic Dentistry: Managing Recession Defects*. Essentials of Esthetic Dentistry: Principles and Practice of Esthetic Dentistry 2015: 137–63.
15. Solaberrieta E. et al. Direct transfer of the position of digitized casts to a virtual articulator. *J. Prosthet. Dent.* 2013; 109(6): 411–4.
16. Cervino G. et al. Fem and Von Mises Analysis of OSSTEM® Dental Implant Structural Components: Evaluation of Different Direction Dynamic Loads. *Open Dent. J.* 2018; 12: 219–29.
17. Lauritano F. et al. Three-dimensional evaluation of different prosthesis retention systems using finite element analysis and the Von Mises stress test. *Minerva Stomatol.* 2016; 65(6): 353–67.
18. Brown M.W. et al. Effectiveness and efficiency of a CAD/CAM orthodontic bracket system. *Am. J. Orthod. Dentofacial Orthop.* 2015; 148(6): 1067–74.
19. Magne P., Belser U. *Natural oral esthetics // Bonded Porcelain Restorations in the Anterior Dentition: A Biomimetic Approach*. 2010; 57–98.
20. McLaren E.A., Garber D.A., Figueira J. The Photoshop Smile Design technique (part 1): digital dental photography. *Compend. Contin. Educ. Dent.* 2013a; 34(10): 772, 774, 776 passim.
21. Cervino G. et al. Dental Restorative Digital Workflow: Digital Smile Design from Aesthetic to Function. *Dentistry J.* 2019; 7(2): 30.
22. Omar D., Duarte C. The application of parameters for comprehensive smile esthetics by digital smile design programs: A review of literature. *Saudi Dent. J.* 2018; 30(1): 7–12.
23. Coachman C., Calamita M. Digital Smile Design: A Tool for Treatment Planning and Communication in Esthetic Dentistry. *QDT 2012 Quintessence*. 2012; 35: 1–9.
24. Шундрик М.А., Марченко И.Я., Ткаченко И.М. Современные критерии оценки эстетики улыбки. *Вестник проблем биологии и медицины*. 2018; 1(4 (146): 32–5.
25. Alexandre Câmara C. Esthetics in Orthodontics: six horizontal smile lines. *Dent. Press J. Orthodont.* 2010; 15: 118–31.
26. Nascimento D.C. et al. Influence of buccal corridor dimension on smile esthetics. *Dent. Press J. Orthodont.* 2012; 17(5): 145–50.
27. Prato G.P.P. et al. Interdental papilla management: a review and classification of the therapeutic approaches. *Int. J. Periodont. Rest. Dent.* 2004; 24(3): 246–55.
28. Ward D.H. Proportional Smile Design: Using the Recurring Esthetic Dental Proportion to Correlate the Widths and Lengths of the Maxillary Anterior Teeth with the Size of the Face. *Dent. Clin. North Am.* 2015; 59(3): 623–38.
29. Oliveira Farias F. de, Ennes J.P., Zorzatto J.R. Aesthetic Value of the Relationship between the Shapes of the Face and Permanent Upper Central Incisor. *Int. J. Dent.* 2010; 2010.
30. Sharma A., Luthra R., Kaur P. A photographic study on Visagism. *Indian J Oral Sci.* 2015; 6 (3): 122.
31. Morley J., Eubank J. Macroesthetic elements of smile design. *J. Am. Dent. Assoc.* 2001b; 132(1): 39–45.
32. Koralakunte P.R., Aljanakh M. The Role of Virtual Articulator in Prosthetic and Restorative Dentistry. *J. Clin. Diagn. Res.* 2014; 8(7): ZE25–ZE28.
33. Kordass B. et al. The virtual articulator in dentistry: concept and development. *Dent. Clin. North Am.* 2002; 46(3): 493–506, vi.
34. Maestre-Ferrin L. et al. Virtual articulator for the analysis of dental occlusion: An update. *Med. Oral Patol. Oral Cir. Bucal.* 2012; 17(1): e160–e163.
35. Solaberrieta E. et al. Registration of mandibular movement for dental diagnosis, planning and treatment. *Int. J. Interact. Des. Manuf.* 2018; 12 (3): 1027–38.
36. Sousa Dias N., Tsingene F. SAEF - Smile's Aesthetic Evaluation form: a useful tool to improve communications between clinicians and patients during multidisciplinary treatment. *Eur. J. Esthet. Dent.* 2011; 6(2): 160–76.
37. Prasad K.D., Shetty M., Chandy B.K. Evaluation of condylar inclination of dentulous subjects determined by axiograph and to compare with manual programming of articulators using protrusive interocclusal record. *Contemp Clin. Dent.* 2015; 6(3): 371–4.
38. Hartomacioglu S. и др. 3D Bio-Cad modeling of human mandible and fabrication by rapid-prototyping technology. *Usak Univer. J. Mat. Sci.* 2013; II: 135–45.
39. Coachman C., Calamita M.A., Sesma N. Dynamic Documentation of the Smile and the 2D/3D Digital Smile Design Process. *Int. J. periodont. rest. dent.* 2017; 37(2): 183–93.
40. Arias D.M. et al. Treatment of the Patient with Gummy Smile in Conjunction with Digital Smile Approach. *Dent. Clin. North Am.* 2015; 59 (3): 703–16.
41. Tak On T., Kois J.C. Digital Smile Design Meets the Dento-Facial Analyzer: Optimizing Esthetics While Preserving Tooth Structure. *Compend Contin Educ Dent.* 2016; 37(1): 46–50.
42. Bichacho N., Musella V., Feraru M. Individualizing a smile makeover. Current strategies for predictable results. 2016; 32: 109–19.
43. Dawood A. et al. Microtechnologies in implant and restorative dentistry: a stroll through a digital dental landscape. *Proc. Inst. Mech. Eng. H.* 2010; 224(6): 789–96.
44. Yuzbasioglu E. et al. Comparison of digital and conventional impression techniques: evaluation of patients' perception, treatment comfort, effectiveness and clinical outcomes. *BMC Oral Health.* 2014; 14: 10.
45. Ender A., Mehl A. Influence of scanning strategies on the accuracy of digital intraoral scanning systems. *Int. J. Comput. Dent.* 2013; 16(1): 11–21.
46. Юмашев А.В. и др. Варианты использования 3D сканирования в ортопедической стоматологии. *Вестник новых медицинских технологий*. Электронное издание. 2015; 9(1).

47. Наумович С.С., Наумович С.А. Конусно-лучевая компьютерная томография: современные возможности и перспективы применения в стоматологии. *Современная стоматология*. 2012; 2(55): 31–5.
48. Манак Т.Н., Ермаркевич М.И., Разоренов А.Н. Цифровой дизайн в планировании эстетического протезирования фронтальной группы зубов. *Современная стоматология*. 2016; 3(64): 63–5.
49. Strbac G.D. et al. Guided Autotransplantation of Teeth: A Novel Method Using Virtually Planned 3-dimensional Templates. *J. Endod.* 2016; 42(12): 1844–50.
50. Vasantha Kumar M., Ahila S.C., Suganya Devi S. The science of anterior teeth selection for a completely edentulous patient: a literature review. *J. Indian Prosthodont. Soc.* 2011; 11(1): 7–13.
51. Костюкова В.В., Ряховский А.Н., Уханов М.М. Сравнительный обзор внутриротовых трехмерных цифровых сканеров для ортопедической стоматологии. *Стоматология*. 2014; 93(1): 53–9.
24. Shundrik M.A., Marchenko I.Ya., Tkachenko I.M. Modern criteria for evaluating the aesthetics of a smile. *Vestnik problem biologii i meditsiny*. 2018; 14 (146): 32–5. (in Russian)
25. Alexandre Câmara C. Esthetics in Orthodontics: six horizontal smile lines. *Dent. Press J. Orthodont.* 2010; 15: 118–31.
26. Nascimento D.C. et al. Influence of buccal corridor dimension on smile esthetics. *Dent. Press J. Orthodont.* 2012; 17(5): 145–50.
27. Prato G.P.P. et al. Interdental papilla management: a review and classification of the therapeutic approaches. *Int. J. Periodont. Rest. Dent.* 2004; 24(3): 246–55.
28. McLaren E.A., Garber D.A., Figueira J. The Photoshop Smile Design technique (part 1): digital dental photography. *Compend Contin Educ. Dent.* 2013b; 34(10): 772, 774, 776 passim.
28. Ward D.H. Proportional Smile Design: Using the Recurring Esthetic Dental Proportion to Correlate the Widths and Lengths of the Maxillary Anterior Teeth with the Size of the Face. *Dent. Clin. North Am.* 2015; 59(3): 623–38.
29. Oliveira Farias F. de, Ennes J.P., Zoratto J.R. Aesthetic Value of the Relationship between the Shapes of the Face and Permanent Upper Central Incisor. *Int. J. Dent.* 2010; 2010.
30. Sharma A., Luthra R., Kaur P. A photographic study on Visagism. *Indian J Oral Sci.* 2015; 6 (3): 122.
31. Morley J., Eubank J. Macroesthetic elements of smile design. *J. Am. Dent. Assoc.* 2001b; 132(1): 39–45.
32. Koralakunte P.R., Aljanakh M. The Role of Virtual Articulator in Prosthetic and Restorative Dentistry. *J. Clin. Diagn. Res.* 2014; 8(7): ZE25–ZE28.
33. Kordass B. et al. The virtual articulator in dentistry: concept and development. *Dent. Clin. North Am.* 2002; 46(3): 493–506. vi.
34. Maestre-Ferrin L. et al. Virtual articulator for the analysis of dental occlusion: An update. *Med. Oral Patol. Oral Cir. Bucal.* 2012; 17(1): e160–e163.
35. Solaberrieta E. et al. Registration of mandibular movement for dental diagnosis, planning and treatment. *Int. J. Interact. Des. Manuf.* 2018; 12 (3): 1027–38.
36. Sousa Dias N., Tsingene F. SAEF - Smile's Aesthetic Evaluation form: a useful tool to improve communications between clinicians and patients during multidisciplinary treatment. *Eur. J. Esthet. Dent.* 2011; 6(2): 160–76.
37. Prasad K.D., Shetty M., Chandy B.K. Evaluation of condylar inclination of dentulous subjects determined by axiograph and to compare with manual programming of articulators using protrusive interocclusal record. *Contemp Clin. Dent.* 2015; 6(3): 371–4.
38. Hartomacioglu S. и др. 3D Bio-Cad modeling of human mandible and fabrication by rapid-prototyping technology. *Usak Univer. J. Mat. Sci.* 2013; II: 135–45.
39. Coachman C., Calamita M.A., Sesma N. Dynamic Documentation of the Smile and the 2D/3D Digital Smile Design Process. *Int. J. periodont. rest. dent.* 2017; 37(2): 183–93.
40. Arias D.M. et al. Treatment of the Patient with Gummy Smile in Conjunction with Digital Smile Approach. *Dent. Clin. North Am.* 2015; 59 (3): 703–16.
41. Tak On T., Kois J.C. Digital Smile Design Meets the Dento-Facial Analyzer: Optimizing Esthetics While Preserving Tooth Structure. *Compend Contin Educ Dent.* 2016; 37(1): 46–50.
42. Bichacho N., Musella V., Feraru M. Individualizing a smile makeover. Current strategies for predictable results. 2016; 32: 109–19.
43. Dawood A. et al. Microtechnologies in implant and restorative dentistry: a stroll through a digital dental landscape. *Proc. Inst. Mech. Eng. H.* 2010; 224(6): 789–96.
44. Yuzbasioglu E. et al. Comparison of digital and conventional impression techniques: evaluation of patients' perception, treatment comfort, effectiveness and clinical outcomes. *BMC Oral Health.* 2014; 14: 10.
45. Ender A., Mehl A. Influence of scanning strategies on the accuracy of digital intraoral scanning systems. *Int. J. Comput. Dent.* 2013; 16(1): 11–21.
46. Yumashev A.V., et al. Variants of using 3D scanning in prosthetic dentistry. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy*. Electronic edition. 2015; 9(1).
47. Naumovich S.S., Naumovich S.A. Cone beam computed tomography: modern capabilities and prospects of use in dentistry. *Sovremennaya stomatologiya*. 2012 2(55): 31–5. (in Russian)
48. Manak T.N., Ермаркевич М.И., Разоренов А.Н. Digital design in the planning of aesthetic prosthetics of the frontal group of teeth. *Sovremennaya stomatologiya*. 2016; 3(64): 63–5. (in Russian)
49. Strbac G.D. et al. Guided Autotransplantation of Teeth: A Novel Method Using Virtually Planned 3-dimensional Templates. *J. Endod.* 2016; 42(12): 1844–50.
50. Vasantha Kumar M., Ahila S.C., Suganya Devi S. The science of anterior teeth selection for a completely edentulous patient: a literature review. *J. Indian Prosthodont. Soc.* 2011; 11(1): 7–13.
51. Kostyukova V.V., Ryakhovskiy A.N., Ukhonov M.M. Comparative review of intraoral three-dimensional digital scanners for orthopedic dentistry. *Stomatologiya*. 2014; 93(1): 53–9. (in Russian)

Поступила 06.03.2019

Принята в печать 16.04.2019