

Компьютерное проектирование зубных рядов полных съемных протезов

Д.м.н., проф. А.Н. РЯХОВСКИЙ, М.В. ПОЛЯКОВА¹

Computer design of artificial tooth series of complete removable prostheses

A.N. RYAKHOVSKY, M.V. POLJAKOVA

Центральный НИИ стоматологии и челюстно-лицевой хирургии, Москва

Активное развитие и внедрение CAD/CAM-технологий в стоматологическую практику побудило авторов статьи к разработке алгоритма виртуального проектирования искусственных зубных рядов полных съемных протезов с использованием системы трехмерной визуализации лица и зубных рядов. Было проведено сканирование лица пациента, оттисков на индивидуальных ложках с прикусными валиками, после чего виртуальные объекты были сопоставлены в корректном положении в единой сцене. Виртуальные искусственные зубы были выбраны из электронного банка данных искусственных зубов.

Ключевые слова: CAD/CAM, виртуальная постановка искусственных зубов, полные съемные протезы, трехмерное сканирование лица.

The active development and introduction of CAD/CAM technologies in dental practice initiated the authors (of the article) to develop the algorithm of virtual set up of complete removable prostheses using 3D visualization system of face and dentitions. Patient's faces and individual tablespoon with occlusal rollers were scanning. Three-dimensional models were received on. Then both models were put in correspondence with each other by software RapidForm 2006 Basis. Virtual artificial teeth were selected from computerized databank.

Key words: CAD/CAM, virtual set up, complete removable dentures, 3D face scanning.

Полная потеря зубов — распространенное заболевание челюстно-лицевой области в группе пожилых людей 60—80 лет (от 25 до 62%) [5]. По официальным прогнозам, доля пожилых людей среди населения России к 2015 г. составит около 24% [7]. Однако у людей 40—59 лет частота полной вторичной адентии составляет 1—5,5% [5]. При этом частота полного отсутствия зубов на обеих челюстях — 56,4%, полного отсутствия зубов только на верхней челюсти — 33,2%, полного отсутствия зубов только на нижней челюсти — 10,4% [4]. Реабилитация таких пациентов предусматривает изготовление полных съемных протезов или условно-съемных протезов с опорой на имплантаты. В психологическом статусе больных с полной потерей зубов, особенно среднего возраста, преобладают склонность к интроверсии, настороженности, стремление к строгому контролю над собой [2]. Их психологическая и социальная адаптация находится в прямой зависимости от эстетического и функционального результата ортопедического лечения.

За многие десятилетия лечения полной вторичной адентии с помощью полных съемных протезов проведено большое количество исследований и разработаны различные методики, которые продолжают совершенствоваться благодаря появлению новых материалов и технических средств. В последние годы в практике ортопедической стоматологии все более широкое применение нахо-

дят CAD/CAM-технологии. Компьютерное проектирование и автоматизированное производство обладают такими преимуществами, как высокая производительность, чистота рабочего места, прогнозируемость конечного результата. За последние 10 лет количество CAD/CAM-систем на стоматологическом рынке неуклонно увеличивается. Их использование главным образом распространяется на несъемное протезирование (изготовление керамических вкладок, коронок, мостовидных протезов) [9]. Применение CAD/CAM-систем в съемном протезировании пока ограничивается сложностью технологий. Это направление только начинает развиваться.

Y. Maeda и соавт. [15] предложили способ изготовления протеза из фотополимеризующейся пластмассы. После сканирования двустороннего оттиска верхней и нижней челюсти трехмерным лазерным сканером проектировали цифровую модель протеза. По полученным цифровым данным изготавливали на литографической машине специальные прозрачные оболочки для базиса протеза и зубных рядов, в них помещали пластмассу цвета десны и зубов и фотополимеризовали. Однако в исследовании не указана методика автоматизированного проектирования, а данный способ пока не нашел широкого практического применения.

P. Lü и соавт. [13, 14] одними из первых спроектировали кривые для постановки зубов полных съемных про-

© А.Н. Ряховский, М.В. Полякова, 2011

Stomatologiya (Mosk) 2011; 2: 65

¹e-mail: polakowa1@rambler.ru

тезов. Авторы создали систему координат для постановки каждого искусственного зуба, разработали программное обеспечение для управления роботизированной системой. Х. Cheng и Y. Sun [11] использовали для моделирования полного съемного протеза программу трехмерного графического редактора. Клинические этапы получения функциональных оттисков, гипсовых моделей, определения центрального соотношения соответствовали традиционным. Гипсовые модели и прикусные валики сканировали трехмерным лазерным сканером. Были подробно описаны этапы проектирования искусственных зубных рядов и создание виртуального базиса протеза. Для изготовления протеза моделировали виртуальную пресс-форму, которую перевели в физическую с помощью быстрого прототипирования. Затем протез изготавливали с использованием традиционных материалов.

М. Busch и В. Kordass [10] на виртуальных моделях беззубых челюстей определяли расположение окклюзионной плоскости, центры альвеолярных отростков на верхней и нижней челюстях, отмечали линию зубной дуги. Искусственные зубы выбирали из электронного банка данных искусственных зубов. На этом этапе компьютерного проектирования заканчивался. Для постановки боковых искусственных зубов использовали специальное устройство. Однако метод создания базы данных искусственных зубов, постановки зубов, проектирования базиса протеза в настоящей публикации не нашел отражения.

Все вышеперечисленные способы компьютерного проектирования и изготовления полных съемных протезов имеют существенный недостаток: отсутствует этап проверки конструкции протеза относительно лицевых признаков, что может привести к неудовлетворительному эстетическому результату и необходимости переделки протеза. Поэтому мы поставили перед собой задачу разработать алгоритм компьютерного проектирования искусственных зубных рядов полных съемных протезов с учетом лицевых признаков, используя различные методы постановки искусственных зубов.

Материал и методы

В современной ортопедической стоматологии при изготовлении полных съемных протезов наиболее часто используются анатомическая постановка зубов по Васильеву («по стеклу»), постановка по сферической поверхности, постановка по индивидуальным окклюзионным поверхностям [1].

Постановка зубов по индивидуальным окклюзионным поверхностям, разработанная М.А. Нападковым и А.Л. Сапожниковым [6], осуществляется по окклюзионной поверхности индивидуально притертого воскабразивного прикусного валика. Материал для валиков представляет собой смесь из 100 г парафина, 10 г пчелиного воска, 15 г канифоли и 365 г мелкодисперсного абразива (100–150 мкм) из расчета на 500 г материала (рис. 1).

После припасовки валиков в полости рта (определение межальвеолярной высоты, формирование вестибулярного контура, оформление границ жестких базисов с помощью термопластической массы) пациент осуществляет движения нижней челюстью в разных направлениях, притирая валики и создавая индивидуальную окклюзионную поверхность. После установки моделей в окклюзатор начинают постановку зубов верхней челюсти по

окклюзионной поверхности нижнего прикусного валика таким образом, чтобы все бугры и режущие края, за исключением боковых резцов, касались окклюзионной поверхности. Боковые зубы располагают по центру альвеолярного гребня так, чтобы межальвеолярные линии проходили через центральные фиссуры. После формирования верхнего зубного ряда переходят к постановке нижних зубов, которые устанавливают в плотном окклюзионном контакте с верхними.

Анатомическую постановку по Васильеву осуществляют по протетической плоскости верхнего окклюзионного валика, которую заменяют стеклом, укрепленным на модели нижней челюсти. Постановку начинают с фронтальных зубов верхней челюсти так, чтобы режущий край центральных резцов и вершина клыка касались плоскости, а режущий край боковых резцов отстоял от нее на 0,5 мм. Устанавливают первые премоляры верхней челюсти, щечные бугры которых касаются плоскости, а небные отстоят на 1 мм; вторые премоляры касаются плоскости обоими буграми; бугры первых моляров ориентированы так, что медиально-небные бугры касаются протетической плоскости, медиально-щечный, дистально-щечный и дистально-небный бугры приподняты соответственно на 0,5, 1,5 и 1 мм. Постановку зубов нижней челюсти начинают со вторых премоляров, которые располагают между вторым и первым премолярами верхней челюсти. Вертикальные оси зубов при этом должны быть параллельны. Осуществляют контроль расположения зубов по центру альвеолярного гребня с помощью межальвеолярных линий. Нижние боковые зубы устанавливают в плотном окклюзионном контакте с верхними. В последнюю очередь ставят нижние фронтальные резцы, контролируя вертикальное и горизонтальное перекрытие.

Для постановки зубов по сферической поверхности используют сферическую калотту артикулятора, которая может быть двух- или трехмерной. По К. Фидлеру [12] сначала устанавливают центральные резцы верхней челюсти, располагая режущий край на 1–2 мм ниже окклюзионной плоскости, которая проходит на середине межвестибулярного расстояния через всю полость рта и доходит до верхней трети ретромюлярного треугольника. В артикуляторе она обозначается с помощью натянутого резинового жгута. Межвестибулярное расстояние измеряется между самыми глубокими точками переходных складок верхней и нижней челюстей, которые располагаются рядом с уздечками верхней и нижней губ. Затем устанавливают клыки верхней челюсти, ориентируя их относитель-

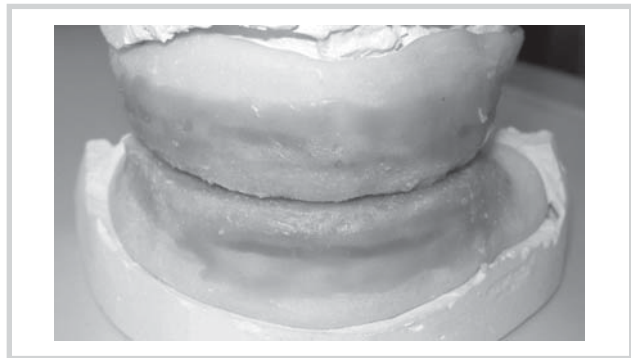


Рис. 1. Воскабразивные валики.

но больших небных складок так, чтобы расстояние от небного края шейки клыка до конца складки равнялось 2 мм, а вершины клыков касались окклюзионной плоскости или располагались чуть ниже нее. В полученном пространстве между резцами и клыками располагают боковые резцы, их режущие края должны находиться на расстоянии 0,5 мм от окклюзионной плоскости. Клыки нижней челюсти устанавливают так, чтобы их вершины указывали на точку контакта между боковыми резцами и клыками верхней челюсти. На виде спереди клыки нижней челюсти должны располагаться практически вертикально. Далее ставят первые премоляры нижней челюсти, формируя вырезку правильной дельтовидной формы между дистальной поверхностью клыка и медиальной гранью щечного бугра первого премоляра. Калотту ориентируют так, чтобы ее передняя часть нижней поверхностью касалась вершины щечных бугров первых премоляров, а нижняя кромка дистальной части находилась напротив верхней трети ретромолярного треугольника. Вторые премоляры касаются вершиной щечного бугра нижней поверхности калотты. Устанавливают боковые зубы нижней челюсти таким образом, чтобы прямая, соединяющая центральные фиссуры, совпадала с прямой, проведенной через вершину нижнечелюстного клыка и середину ретромолярного треугольника. Относительно калотты вершины бугров нижних моляров располагаются следующим образом: медиально-щечные, медиально-язычные и дистально-щечные бугры касаются нижней поверхности. Верхние боковые зубы устанавливают в плотном окклюзионном контакте с нижними, начиная постановку с первого моляра, располагая его в ортогнатическом соотношении. Согласно «биофункциональной» концепции постановки, межальвеолярные линии должны проходить через центральные фиссуры нижних зубов и небные бугры верхних. Последними ставят фронтальные зубы нижней челюсти, создавая вертикальное и горизонтальное перекрытие с верхними.

Вышеперечисленные методические рекомендации по постановке искусственных зубов различными методами легли в основу алгоритма виртуального проектирования искусственных зубных рядов.

Для компьютерного проектирования искусственных зубных рядов полных съемных протезов была использована система трехмерной визуализации лица и зубных рядов [8]. Данная система представляет собой аппаратно-программный комплекс, состоящий из лицевого сканера, бесконтактного трехмерного лазерного сканера, программ ввода и обработки цифровой информации, полученной при сканировании.

На 1-м этапе получали анатомические оттиски протезного ложа верхней и нижней челюстей (или зубов-антагонистов) с помощью альгинатной оттискной массы, по ним отливали модели из гипса III или IV класса. Изготавливали индивидуальные ложки из самотвердеющей пластмассы Ivoclar («Ivoclar», Германия) с прикусными воскабразивными или восковыми валиками.

Следующие этапы были одинаковыми для всех методов постановки. Индивидуальные ложки и прикусные валики припасовывали в полости рта, определяли центральное соотношение и межальвеолярную высоту относительно состояния физиологического покоя мышц. Получали функциональные оттиски под жевательным давлением в центральном соотношении. На вестибулярной поверхно-

сти верхнего прикусного валика отмечали среднюю и клыковые линии с помощью глубоких насечек, служащих впоследствии реперными точками. Проводили сканирование улыбающегося лица пациента с прикусными валиками в полости рта с помощью лицевого сканера FaceScan III («Breuckman», Германия). Данный сканер работает по принципу монофотограмметрии со структурированной подсветкой (подсветка и проецирование производятся через один объектив сканера, съемка — через другой). Сканирование проводили при естественном освещении средней интенсивности. Процесс сканирования занимал 2—3 с. Сканируемый объект (лицо пациента) находился на расстоянии 1,0 м от сканера. Пациент во время сканирования оставался неподвижным.

Оттиски и валики сканировали с помощью трехмерного бесконтактного лазерного сканера LPX-250 («Roland»). Принцип работы сканера основан на методе сканирования точкой. Глянцевую или прозрачную поверхность сканируемого объекта покрывали матирующим спреем синего или зеленого цвета. Валики, скрепленные между собой воском в центральном соотношении, размещали на поворотном столике сканера. Затем валики разъединяли и сканировали отдельно окклюзионную поверхность каждого. При наличии зубов-антагонистов сканировали гипсовую модель антагонистов. Для постановки по сферической поверхности сканировали калотту артикулятора Stratos-200 («Ivoclar», Германия).

Полученную при сканировании информацию экспортировали в программу трехмерного графического редактора Rapid Form 2006 Basis («INUS Technology», Южная Корея) и проводили сопоставление по реперным точкам и идентичным поверхностям всех виртуальных объектов (лицо, валики, оттиски) в корректном относительно друг друга положении. Для удобства работы с трехмерными объектами в системе координат экрана создавали 3 взаимно перпендикулярные плоскости — срединносагитальную, горизонтальную и фронтальную, соответствующие осям OX, OY, OZ. Трехмерную сцену ориентировали так, чтобы окклюзионная поверхность верхнего прикусного валика соответствовала горизонтальной плоскости, вестибулярная поверхность — фронтальной плоскости, а средняя линия лица — срединносагитальной плоскости (рис. 2).

Для моделирования искусственных зубных рядов была создана электронная база данных искусственных зубов. С этой целью гарнитурные зубы различных форм и размеров сканировали с помощью трехмерного лазерного сканера. Виртуальные зубы объединяли в электронные файлы в виде отдельных блоков соответствующей гарни-



Рис. 2. Расположение сцены моделирования в системе координат экрана.

туры или целых зубных рядов. Имя файла содержало информацию о фасоне, размерах, фирме-производителе. Искусственные зубные ряды были ориентированы в сцене также относительно 3 взаимно перпендикулярных плоскостей. При загрузке файла с выбранной формой и размером в сцену трехмерного моделирования виртуальные зубные ряды автоматически располагались на своем месте.

На виртуальной модели протезного ложа верхней и нижней челюстей отмечали центры альвеолярных гребней, межальвеолярные линии, центр резцового сосочка, ретромолярные треугольники (рис. 3).

Положение верхних фронтальных зубов в вестибуло-оральном направлении контролировали по вестибулярной поверхности прикусного валика (рис. 4).

Для контроля правильного расположения центральных резцов в вестибулооральном положении использовали функцию определения расстояния от точки до плоскости, а именно от середины резцового сосочка до вестибулярной поверхности центральных резцов. По разным данным, это расстояние должно составлять от 6 до 9 мм (рис. 5).

При выборе мезиодистального размера передних зубов ориентировались на расстояние между крыльями носа, которое можно измерить на виртуальной модели лица.

Средняя линия лица должна была совпадать со стоматологической средней линией. Расположение клыков в зубном ряду контролировали с помощью линии, соединяющей вершины бугров. Она должна проходить через середину резцового сосочка (рис. 6).

На этапе постановки фронтальных зубов по любой из перечисленных методик проверяли соответствие формы и размера зубов форме лица пациента. Виртуальная модель лица служила главным ориентиром (рис. 7).

Положение каждого зуба индивидуализировали в соответствии с методическими рекомендациями для выбранного способа постановки. Для этого использовали специальные программные инструменты (манипулятор, функция измерения расстояния между точками на объектах сцены), позволяющие работать с каждым виртуальным зубом отдельно. При постановке боковых зубов нижней челюсти следили за тем, чтобы межальвеолярные линии проходили через центральные фиссуры.

Для виртуальной постановки искусственных зубов только на верхней челюсти сопоставляли отпечатки зубов на окклюзионной поверхности прикусного валика с виртуальной моделью зубов-антагонистов. Постановку начинали с фронтальной группы зубов. Боковые зубы устанавливали посередине альвеолярного гребня, контролируя окклюзионные контакты с зубами-антагонистами (рис. 8).

Особенность виртуальной постановки по сферической поверхности заключалась в применении виртуальной калотты, идентичной физической калотте артикулятора Stratos-200, полученной с помощью сканирования. Уровень расположения окклюзионной плоскости, необходимой для правильного расположения режущих краев фронтальных зубов верхней челюсти, находили путем измерения межвестибулярного расстояния на виртуальных моделях челюстей (рис. 9). Используя программный инструмент-манипулятор, позиционировали виртуальную калотту в межчелюстном пространстве в соответствии с методическими рекомендациями, изложенными выше.

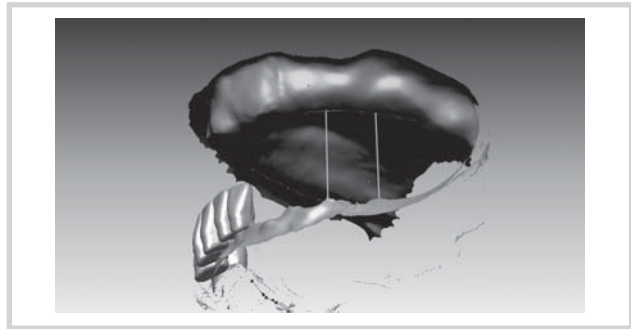


Рис. 3. Центр альвеолярных гребней и межальвеолярные линии.

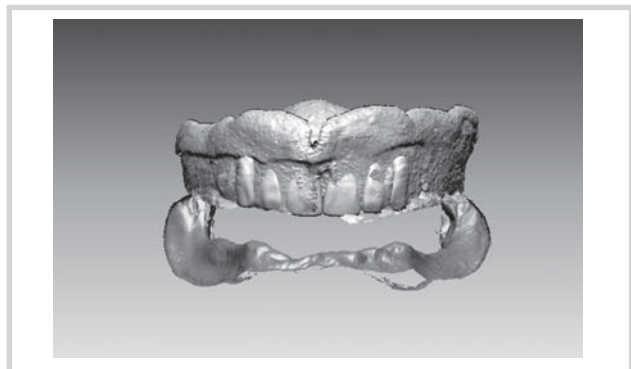


Рис. 4. Расположение фронтальных зубов относительно вестибулярной поверхности прикусного валика.

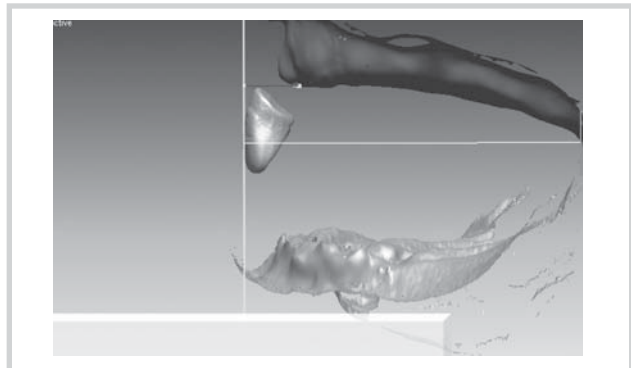


Рис. 5. Измерение расстояния между центром резцового сосочка и вестибулярной поверхностью центральных резцов верхней челюсти.

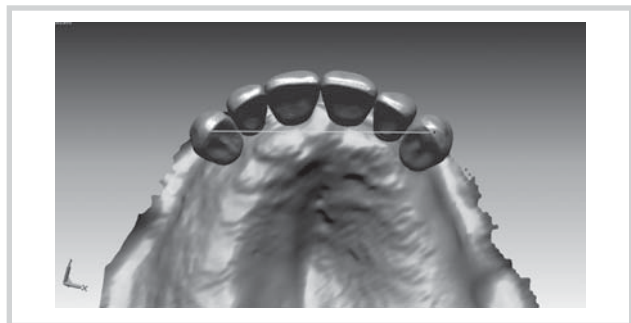


Рис. 6. Линия, соединяющая вершины клыков верхней челюсти.



Рис. 7. Проверка постановки фронтальных зубов относительно лицевых признаков.



Рис. 8. Постановка зубов по антагонистам.

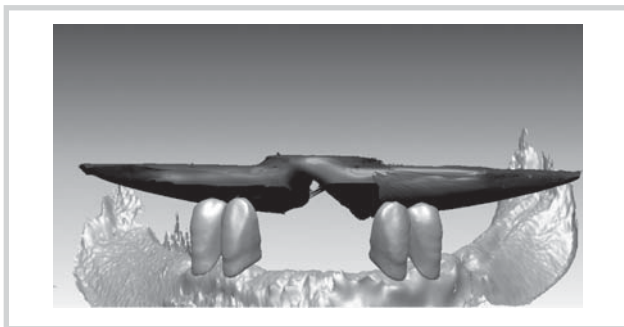


Рис. 9. Позиционирование виртуальной калотты в сцене трехмерного моделирования.

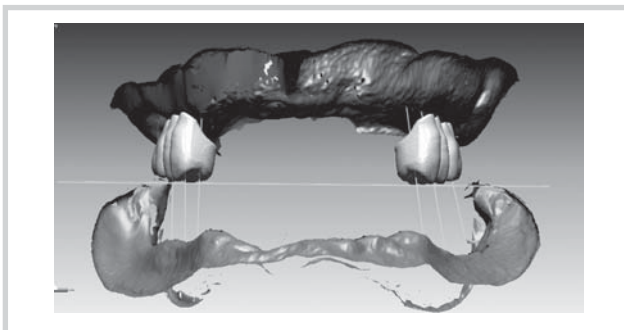


Рис. 10. Анатомическая постановка по Васильеву.

На рис. 10 представлена постановка боковых зубов «по стеклу». За протетическую плоскость (поверхность стекла) принята виртуальная плоскость, проходящая через 3 произвольные точки на окклюзионной поверхности верхнего прикусного валика (1 в переднем отделе и 2 в боковом отделе справа и слева). Межалвеолярные линии получены с помощью функции создания линий, соединяющих точки на кривой. В данном случае кривые проходят по центру альвеолярного гребня на виртуальной модели протезного ложа верхней и нижней челюстей.

Результаты и обсуждение

Проведенная нами работа показала широкие возможности современного программного обеспечения для моделирования искусственных зубных рядов полных съемных протезов. Любая из применяемых сегодня методик постановки искусственных зубов может быть использована для виртуального проектирования. С помощью программных средств можно реализовать многие задачи, которые сложно решить на физических моделях. Например, межалвеолярные линии, служащие важным ориентиром для расположения боковых зубов по центру альвеолярного гребня и помогающие определить соотношение челюстей и выбрать метод постановки [3], на реальных моделях могут быть только воображаемыми, в то время как на виртуальных моделях они легко визуализируются.

Расстояние между какими-либо точками на виртуальных объектах измеряется за несколько секунд с точностью до сотых и тысячных. Это упрощает процедуру измерения, не требует дополнительных инструментов, исключает определение расстояния «на глаз», например в случае расположения вершин бугров относительно протетической плоскости.

Разработанные правила подбора фасона зубов по форме лица безусловно остаются важным руководством. Однако при наличии в сцене проектирования объемной модели лица появляется возможность более точно прогнозировать эстетический результат. Включать в процесс проектирования искусственных зубных рядов трехмерную модель лица можно на любом этапе постановки. Она помогает определить более гармоничное расположение уровня протетической плоскости и своевременно его скорректировать, если на клиническом этапе припасовки прикусных валиков была допущена ошибка.

Общим правилом для каждого метода постановки является расположение фронтальных зубов по вестибулярной поверхности верхнего прикусного валика. Контур мягких тканей нижней трети лица зависит от степени поддержки, создаваемой прикусным валиком. Трехмерная модель лица отображает этот контур. Поэтому в случае гиперкоррекции положения мягких тканей, незамеченной на клиническом этапе припасовки прикусных валиков, можно установить фронтальные зубы чуть более орально.

Одновременно с неоспоримыми достоинствами виртуальной постановки зубов выявлены следующие ее недостатки. Во-первых, это большая время- и трудозатратность, связанная с использованием неспециализированных программных продуктов, не адаптированных к решению такого рода задач. Можно предположить, что этот недостаток будет устранен по мере развития и проникновения CAD/CAM-технологий в стоматологиче-

скую практику благодаря появлению новых компьютерных программ.

Во-вторых, широкое клиническое применение разработанного алгоритма ограничено дороговизной оборудования. На данном этапе развития технологий вариантом решения проблемы могут служить специализированные центры и интернет как средство сообщения. При отсутствии лицевого сканера альтернативой является интегрирование двухмерной фотографии лица пациента в трехмерную сцену.

Контроль окклюзионных контактов может быть только визуальным и приблизительным или необходимо проводить достаточно трудоемкие манипуляции с виртуальными моделями зубов, что значительно усложняет работу. Помочь в решении этой проблемы, по нашему мнению, должны программы виртуальных артикуляторов. Анализ литературы [16] показывает, что это направление компьютерных технологий активно развивается и уже не ограничивается применением только в несъемном протезировании.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воронов А.П., Лебедеко И.Ю., Воронов И.А. Ортопедическое лечение больных с полным отсутствием зубов: учебное пособие. М: МЕД-пресс-информ 2009.
2. Гильманова Н.С. Адаптация к полным съемным протезам лиц среднего возраста в зависимости от их психоэмоционального статуса: Автореф. дис. ... канд. мед. наук. М 2007.
3. Калинина Н.В., Загорский В.А. Протезирование при полной потере зубов. М: Медицина 1990.
4. Кандейкина Н.В. Распространенность и клинические особенности полного отсутствия зубов у лиц пожилого и старческого возраста: Автореф. дис. ... канд. мед. наук. Казань 2001.
5. Мойсюк К.В., Лебедько А.В. Обследование пациентов с полной потерей зубов. Актуальные проблемы современной медицины. Материалы международной конференции студентов и молодых ученых, посвященных 85-летию Белорусского государственного медицинского университета. В 2 ч. Минск 2006;315—316.
6. Нападов М.А., Сапожников А.Л. Протезирование больных с полным отсутствием зубов. Киев: Здоровье 1972.
7. Павлова О.В. Что мы приобретаем старея. Психология 2007.
8. Ряховский А.Н., Левицкий В.В. Планирование эстетического результата стоматологического лечения. Панорама ортопедической стоматологии 2008;2:2—8.
9. Ряховский А.Н., Каранетян А.А., Аваков Г.С. Точность сканирования полостей с помощью CAD/CAM-систем. Материалы XXI и XXII Всероссийской научно-практической конференции. М 2009;268—270.
10. Busch M., Kordass B. Concept and development of a computerized positioning of prosthetic teeth for complete dentures. Int J Comput Dent 2006;9:2:113—120.
11. Cheng X., Hua X., Hua Z. The study of a computer aided artificial teeth arrangement of complete denture. Zhonghua Kou Qiang Yi Xue Za Zhi 2000;35:2:147—149. Sun Y., Lü P., Wang Y. Study on CAD&RP for removable complete denture. Comput Methods Programs Biomed 2009;93:3:266—272.
12. Fiedler K. Полные BPS-протезы с системой для достижения поставленной цели. М: Медицинская пресса 2006.
13. Lü P., Wang Y., Li G. et al. Development of a system for robot aided teeth alignment of complete denture. Zhonghua Kou Qiang Yi Xue Za Zhi 2001;36:2:139—142.
14. Lü P., Wang Y., Li G. et al. A system of Complete Denture teeth composing with Robot Aid. J Dent Res 2006;9:2:34—39.
15. Maeda Y., Minoura M., Tsutsumi S. et al. A CAD/CAM system for removable denture. Part I: Fabrication of complete dentures. Int J Prosthodont 1994;7:1:17—21.
16. Sun Y.C., Wang Y. Semi-adjustable articulator for computer aided design of complete denture. Beijing Da Xue Xue Bao 2008;18:40:1:92—96.