

## **Программно-аппаратный метод анализа окклюзии и артикуляции: общие контуры решения**

**Смирнов А.Г. ([alex.smirnov.spb@mail.ru](mailto:alex.smirnov.spb@mail.ru))(1), Бобров А.П. (3),  
Казанский И.П. (2), Булгаков М.Г. (1)**

- (1) Общество с ограниченной ответственностью "Институт компьютерного моделирования биологических объектов",  
(2) Автономная некоммерческая организация Институт физико-технической информатики,  
(3) ГОУВПО Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И.П.Павлова Росздрава**

*Публикация по проекту "Разработка виртуальной модели челюстно-лицевой области для исследования развития патологии и выбора методик лечения стоматологических пациентов", грант РФФИ 07-07-00373*

Анализ окклюзии и артикуляции является ключевым событием для диагностики и последующих клиничко-лабораторных этапов ортопедического лечения стоматологической патологии. Одним из аспектов задачи анализа зубочелюстной системы конкретного пациента является точная реконструкция окклюзионного поля.

Современные механические приборы отслеживают топологию межзубных взаимоотношений без учета всех гнатологических факторов в полости рта пациента, из-за чего на практике существенно снижается точность исследования. Ниже предлагается рассмотреть вопросы к подходам разработки нового метода системного анализа окклюзии и артикуляции, основанного на математическом моделировании и компьютерной трехмерной визуализации.

С внедрением в практику ортопедического лечения современных технологических возможностей, материалов, инструментов и зуботехнического оборудования все большее внимание уделяется качеству восстановления функциональных характеристик зубочелюстной системы. Важную роль при таком подходе играет построение адекватной формы взаимоотношений зубных рядов, которая создается при моделировании окклюзионной поверхности.

Для анализа окклюзионного поля применяются имитационные механические устройства разной степени сложности и различных конструкций – артикуляторы. На практике даже такие механические артикуляторы, которые снабжены специальными вкладышами, позволяющими настраивать механизмы по некоторым индивидуальным

параметрам пациента (суставные и резцовые пути), например SAM 3, допускают до 31% погрешностей (несоответствия контактных полей и точек на окклюзионных поверхностях гипсовых моделей в артикуляторе и на окклюзионных поверхностях зубов)[1].

Объясняется это, в том числе, тем, что перемещения нижней челюсти имеют сложную и неочевидную в деталях организацию и траекторию. Механические приборы не позволяют точно имитировать топологию межзубных взаимоотношений с учетом всех индивидуальных факторов в полости рта пациента, ибо выполняют эту задачу в ограниченных пространственных координатах, т.е., представляют динамические процессы, возникающие при артикуляции упрощенно. В то же время специалисты нуждаются в объективных знаниях о контактах между зубами. Продолжаются споры по поводу числа и расположения контактных участков, необходимых для поддержания стабильности отдельного зуба. Сторонники некоторых концепций окклюзии считают, что нужно придерживаться специфической модели множественных контактов для каждого зуба [2], однако такой подход предполагает точность, которая на практике не обеспечивается механическими устройствами. Самая яркая иллюстрация для такого утверждения невозможность имитировать, а следовательно и учитывать на гипсовых моделях челюстей в артикуляторе экскурсии зубов, возникающие при приложении к зубам сил в разных направлениях.

Очевидно, что для решения задачи построения правдоподобной динамической модели зубочелюстной системы требуются новые, более технологичные клиничко-лабораторные методы исследования.

**Цель разработки программно-аппаратного метода анализа окклюзии и артикуляции - создание системы, позволяющей повысить точность исследования окклюзионного поля.**

Для решения поставленной задачи предлагается использовать методы математического моделирования и компьютерной трехмерной визуализации.

Метод исследования зубочелюстной системы с привлечением программно аппаратных средств, **отличается тем**, что предлагает потребителю (врачу, зубному технику) возможность проводить **исследования математической биомеханической модели** зубочелюстной системы конкретного пациента с возможностью получения компьютерной трехмерной визуальной информации об объекте и интерактивного взаимодействия с таким объектом.

Подобная система должна выполнять следующие основные технические задачи:

1. создавать математическую и графическую трехмерную модель наружного рельефа слизистой оболочки челюстей, десен, коронковых частей зубов;
2. создавать математическую модель и графическую трехмерную имитацию движений нижней челюсти с возможностью интерактивного взаимодействия и сообразно специфике топографии окклюзионных поверхностей зубов конкретного пациента;
3. создавать математическую модель и имитировать в сцене трехмерной модели челюсти экскурсии зубов, возникающие под воздействием нагрузок при жевании;
4. совмещать трехмерную модель выполняемой ортопедической конструкции с трехмерной моделью челюсти;
5. выполнять математический анализ окклюзионного поля в процессе артикуляции с учетом факторов восстановленного участка окклюзионного поля на ортопедической конструкции;
6. выявлять и визуализировать на трехмерной модели челюстей и ортопедической конструкции суперконтакты (преждевременные контакты).

Принципиальная схема работы системы анализа окклюзии и артикуляции, построенной на реализации методов математического моделирования и компьютерной трехмерной визуализации включает следующие этапы:

1. сбор информации об объекте;
2. обработка данных;
- 3.1. ответ в форме трехмерной компьютерной имитации;
- 3.2. ответ в форме цифровых данных о геометрии модели.

Каждый этап предполагает сочетание определенных программно аппаратных блоков и методик, интегрированных в единую замкнутую конфигурацию.

До последнего времени было предложено несколько технических приемов визуализации для специальных приложений. Однако общая концепция и полный

математический анализ существующих методов пока не разработан. В качестве языка программирования для предложенной схемы удобно использовать язык C++. Этот язык оптимален для определения двух категорий объектов – «узлы» и «датчики». «Узлы» составляют объектно-ориентированный граф сцены, который осуществляет представление и отображение сложной геометрии. «Датчики» обеспечивают связь с реальным миром и используются, чтобы вводить данные с внешних устройств в приложение. Все объекты – полевые контейнеры, представляющие информацию о состоянии объекта как совокупность полей. Объекты поддерживают универсальный потоковый интерфейс, который позволяет записывать в поток объекты и информацию об их состоянии, и впоследствии реконструировать эти данные из потока путем определения связи между полями, формируя граф потоков данных, который является концептуально ортогональным к графу сцены и служит для ввода в сцену реальных данных, необходимых для моделирования интерактивного поведения.

Для визуализации процессов предлагается использование графической библиотеки OpenGL, а для ускорения использовать 3D-ускоритель Performer который обладает рядом специальных свойств, таких как стирание невидимых граней, переключение степени детализации и связь с аппаратным обеспечением. Результат передается графической библиотеке OpenGL, которая отрисовывает примитивы (треугольники, линии, точки) с учетом графических мод. Техники нижнего уровня (Z-буферизация, маскировка, шейдинг) реализуются в графической карте.

Следует также иметь ввиду перспективу применения возможностей технологий виртуальной реальности (использование среды разработки АВАНГО) [3].

Применение систем виртуального окружения существенно обогащает представление больших массивов данных, позволяя взаимодействовать с объемными моделями изучаемых объектов, изучать их поведение и внутреннюю структуру, что особенно актуально применительно к такой сложной для исследования системы, как зубочелюстная. Средства виртуального окружения обеспечивают "погружение" пользователя в искусственный мир исследуемого явления и прямое взаимодействие с данными в пространстве модели, что способствует качественно более высокому уровню обработки данных и детальному "пониманию" биомеханических процессов в полости рта.

В настоящее время в крупных стоматологических клиниках в качестве диагностических приборов применяются компьютерные томографы, неконтактные

сканеры, содержащие программное обеспечение, способное предлагать цифровую и визуальную информацию в форме незамкнутых статических трехмерных моделей отдельных элементах зубочелюстной системы. При этом такие устройства не могут имитировать и рассчитывать взаимодействие этих элементов между собой в динамике процесса артикуляции (частный случай - жевание). Новый метод базируется на систему, содержащую такие программно аппаратные инструменты, которые способны обработать информацию, полученную от перечисленных выше устройств и других необходимых клинических исследований и синтезировать математическую биомеханическую и динамическую трехмерную модель исследуемой зубочелюстной системы.





Приведенные изображения являются скрин-шотами опытной трехмерной модели черепа, имитирующей артикуляционные движения. Данная модель построена на основе цифровой информации, полученной в результате сканирования анатомического препарата с последующей графической обработкой в среде Maya и представляет собой замкнутую динамическую модель зубочелюстной системы с возможностью интерактивного взаимодействия.

В 2007 году разработчики из Германии представили так называемый "виртуальный артикулятор" [4]. По сути, это программное обеспечение, позволяющее пользователю интерактивно взаимодействовать на экране монитора с трехмерными моделями механического артикулятора и гипсовыми моделями челюстей. В данном случае можно говорить, что применение программных технологий выполняет задачу визуализации действий механического устройства, автоматически копируя, содержащиеся в нем недостатки.

Современные механические приборы, предназначенные для анализа окклюзии и артикуляции не предлагают современной практике удовлетворительную точность исследования.

Логика развития применения информационно-вычислительных технологий в стоматологии подводит к мысли о целесообразности создания нового перспективного

метода исследования зубочелюстной системы для повышения качества исследования окклюзионного поля.

Сочетание современных диагностических приборов (компьютерные томографы, сканеры), содержащих возможности цифровой обработки информации с вычислительными системами (суперкомпьютеры, кластерные системы) позволит построить систему, которая сможет достаточно полно и точно моделировать сложные артикуляционные движения, недоступные прямой экспериментальной проверке и имитации с помощью механических устройств и решать задачу адекватной реконструкции окклюзии.

## Литература

1. А.П. Бобров, А.Г. Смирнов, Е.В. Падалко, С.Ч. Бя, Д.П.Суслов. Применение в клинической практике артикуляторов ASA Dental, Hager Werken, SAM 3 – сравнительный анализ// Институт Стоматологии.- 2008. - №1(38). – С. 126-127.
2. Клинеберг И., Джагер Р. Окклюзия и клиническая практика.- М.: МЕДпресс-информ, 2006.-200с.:ил.
3. С.В.Клименко, И.Н. Никитин, Л.Д.Никитина. АВАНГО: система разработки виртуальных окружений.- Москва.- Протвино, Институт физико-технической информатики.- 2006.- 252 с.
4. [http://www.3dlabservice.de/eng\\_index.html](http://www.3dlabservice.de/eng_index.html)