

МЕТОД НАУЧНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ как инструмент исследования развития патологии челюстно-лицевой системы и прогнозирования последствий медицинских вмешательств

А.Э.Лукьянов

• д.м.н., профессор, ректор НОУ «Санкт-Петербургский медико-технический институт»

С.В.Клименко

• д.ф.-м.н., профессор, заведующий кафедрой системной интеграции и менеджмента, Московский физико-технический институт (государственный университет)

А.П.Бобров

• д.м.н., профессор, декан стоматологического факультета, заведующий кафедрой пропедевтической стоматологии, СПбГМУ

А.Г.Смирнов

• директор ООО «Институт компьютерного моделирования биологических объектов», Москва

Публикация по теме проекта «Разработка виртуальной модели челюстно-лицевой области для исследования развития патологий и выбора методик лечения стоматологических пациентов», проект поддержан Российским Фондом Фундаментальных Исследований, грант №07-07-00373.

Современное взрывное развитие информационных технологий открывает новые широкие перспективы для исследователей в области медицинских специальностей. Одним из новшеств является научная визуализация, сформировавшаяся как дисциплина в последнее десятилетие.

В процессе развития визуализации как научной дисциплины и технологии анализа данных было осознано, что человек лучше всего понимает и проникает в суть исследуемого явления, когда он может полностью сосредоточиться на исследуемой модели или явлении, а также когда он может легко манипулировать параметрами и данными исследуемой модели или динамикой её поведения. Так сформировалась наиболее передовая технология визуализации — виртуальное окружение, или виртуальная реальность.

Виртуальная реальность (называемая также кибернетическим пространством) определяется как «интерактивная графика в реальном времени с трёхмерными моделями, когда комбинируется специализированная технология отображения, погружающая пользователя в мир модели, с прямым манипулированием объектами в пространстве модели».

Визуальное погружение достигается за счёт создания стереоэффекта наблюдаемой искусственной сцены и визуальным экранированием реальной среды, в которой находится пользователь. Для добавления звукового впечатления обычно используется синтезированный звук, синхронизированный с видеoinформацией. Ещё больше усиливает впечатление от погружения в якобы реальный мир тактильная информация, создаваемая датчиками и устройствами силовой обратной связи, имитирующими сопротивление среды или предметов, с которыми взаимодействует пользователь.

В настоящее время развитие архитектуры персональных компьютеров позволяет создавать вычислительные комплексы большой производительности для моделирования и визуализации, используя технику распределенных систем и параллельных вычислений. Основным требованием, предъявляемым к программному обеспечению таких систем является высокая скорость графической обработки, интерактивная визуализация сложных сцен, эффективная синхронизация параллельно исполняемых процессов. Преимущество таких комплексов заключается в их относительно невысокой стоимости, что обещает им перспективу практического применения. В связи с этим возникла необходимость в разработке общедоступных крупномасштабных систем виртуального окружения на основе таких вычислительных комплексов, а также специализированного программного обеспечения и предоставления эффективного пользовательского интерфейса.

Цель нашего проекта — предложить графическую трёхмерную (3D) модель зубочелюстной системы, полости рта, с которой специалист стоматолог может выполнять работу в системе виртуального окружения.

Принципы построения 3D модели полости рта, предназначенной для профессионального и исследовательского применения:

- 1) адекватность изображения анатомии моделируемой области;
- 2) полнота изображения элементов и тканей системы;
- 3) учёт гнатологических положений и концепций;
- 4) математическое моделирование топологически сложных объектов.

Особенность создания динамической 3D модели полости рта заключается в сложности математического описания и анализа движений ВНЧС, комплекса взаимосвязей основных элементов системы: ВНЧС, жевательных мышц, языка, дна полости рта, окклюзионных точек на поверхностях зубов, соотношений челюстей.

Известно, что казалось бы при несущественном дефекте окклюзионных поверхностей зубов постепенно возникают процессы, ведущие к нарушениям функциональных соотношений элементов жевательного аппарата, в перспективе провоцирующие развитие патологий ВНЧС и болевого синдрома. Успех мероприятий, связанных с окклюзионной реабилитацией, в этом случае напрямую зависит от оценки «топологии окклюзии»*.

Исследователи статической и динамической окклюзионной морфологии, выявляя и классифицируя точки на окклюзионных поверхностях зубов, которые обеспечивают нормальную жевательную функцию зубочелюстной системы, приводят разные данные. Например, Polz, Schottel, Shulz в «Биомеханической концепции окклюзии» указывают 8 таких точек на окклюзионных поверхностях первых моляров, их японский коллега М.Кувата в своих

лекциях, посвященных принципам моделирования не прямых реставраций, — 6. На проблемы адекватного описания «топологии окклюзии» обращают пристальное внимание зубные техники, пытаются таким образом извлечь практическую пользу для построения качественных, адекватных физиологическим состояниям окклюзионных поверхностей не прямых реставраций. Однако, как следует из примера, методы их вычислений и анализа могут содержать погрешность до 25%, что наводит на мысль о возможной системной ошибке в проведении опытов, связанной с отсутствием адекватной аналитической модели, без которой выявление окончательного результата рискует стать средним движением к линии горизонта.

Если система не имеет аналитических решений, ее исследование возможно с помощью средств численного моделирования. Полученные решения, как правило, представляются многомерными данными, которые должны быть адекватно визуализированы для большего понимания изучаемых физических процессов. Таким образом, в визуальном виде можно представить компьютерную модель полости рта и различные её характеристики (интегральная траектория, фазовое пространство (проекции), различные изоповерхности) — именно здесь визуализация помогает анализу, является для того подспорьем, способна подсказать методы анализа. Визуализация получаемых результатов позволяет значительно усилить эффективность вычислительного эксперимента, придавая естественную наглядность результатам расчётных процедур, а также выявить особенности динамики. Использование машинной графики содержит визуальные подсказки, которые могут послужить поводом для новых идей, относящихся к исследуемой проблемной области. Научная визуализация уже применялась при решении ряда нелинейных и аналитически неинтегрируемых проблем классической гамильтоновой механики, таких, как исследование механизма турбулентности, анализ возмущений при орбитальном движении астрономических объектов, определение областей устойчивости и фазовых переходов различных динамических систем.

При математическом описании и построении аналитической 3D модели полости рта следует также принимать в расчет различные характеристики элементов системы, в первую очередь мышечной ткани, в зависимости от физиологического состояния элементов: покоя или, напротив, активности. Разумеется, на начальном этапе создаётся базовая, своего рода идеальная, модель системы, которую впоследствии предстоит «научить» математически анализировать и визуально отображать результаты анализа по дополнительным вводным данным: патологиям, возрастным и иным индивидуальным критериям.

Для выполнения задачи выбрана система разработки виртуальных окружений АВАНГО**.

Центральными вопросами для программного обеспечения при создании адекватной 3D модели полости рта определены:



- 1) необходимость в подходах, позволяющих моделирование и визуализацию материальных свойств объекта и его поведения под действием приложенных к нему сил;
- 2) изображение цвета и текстуры объекта;
- 3) многослойная прозрачность.


Моделирование деформаций упругих объектов в современном математическом моделировании обычно делается с помощью дискретных методов, таких, как метод конечных элементов***. При этом тело разбивается на конечное множество элементов, определяются условия физического равновесия для каждого из элементов. Эти условия записываются в виде очень большой системы уравнений с десятками тысяч неизвестных. Такая система является вырожденной, но после наложения соответствующих граничных условий становится хорошо определённой и имеет однозначное решение. Для нахождения решения необходимо чрезвычайно интенсивное вычисление, требующее большого объёма оперативной памяти. Существующие приложения представляют моделирование деформаций упругих объектов на основе точной теории сопротивления материалов и тканей. С помощью данных приложений модели упругих объектов, состоящие из 10 000 узлов, удаётся интерактивно деформировать в виртуальной реальности при скорости графики 85 Гц. Это позволяет решить задачу реалистичности постановочных сцен, связанных с пластическими деформациями мягких тканей полости рта.

Изображение цвета и текстуры. Цвет используется для выделения линий самопересечений на поверхности, а также он кодирует дополнительные координаты в многомерном координатно-цветовом пространстве, куда поверхность «вложена». Текстуры играют аналогичную роль. Текстуры на гладких поверхностях также необходимы для стабильности стереоизображения в виртуальном окружении.

Многослойная прозрачность. Прозрачность — полезное свойство для математической визуализации, необходимое для представления внутреннего строения объектов, в случае моделирования полости рта это применимо для реалистичного изображения сосудистого рисунка слизистой. Имеются препятствия для использования стандартных методов графической обработки прозрачности для сложных поверхностей. Однако при комбинации таких методов возможно получить реалистичное изображение прозрачных объектов.

ВЫВОДЫ

Сочетание возможностей современной машинной графики, математического анализа зубочелюстной системы, инструментов системы виртуального окружения позволяет говорить о создании методов и средств научной визуализации в виртуальном окружении для изучения и моделирования физиологических процессов и патологических нарушений у стоматологических больных.

Подобная работа послужит базой для уточнения диагностических и лечебных методик при сочетанных патологиях челюстно-лицевой области и полости рта. Компьютерное моделирование и средства визуализации могут представить процессы артикуляции в визуальном виде, что создаёт предпосылки для усиления эффективности вычислительного эксперимента, придавая естественную наглядность результатам расчётных процедур, а также позволяет уточнить особенности динамики артикуляции нижней челюсти. 

ЛИТЕРАТУРА:

1. С.В.Клименко, И.Н.Никитин, Л.Д.Никитина. АВАНГО: система разработки виртуальных окружений. - Москва. - Протвино, Институт физико-технической информатики. - 2006. - 252 с.
2. Клименко С.В. и др. Визуализация в топологии. Программирование. - 1998, т. 24. - №4. - С. 62-76.
3. S.Klimenko et al, Visualization Of Complex Physical Phenomena And Mathematical Objects In Virtual Environment, Late Breaking Hot Topics Proceedings, Visualization'98, Oct.21-23, Research Triangle Park, NC, USA, pp. 53-56.
4. Камер Д.Э., Стивенс Д.Л. Сети TCP/IP. Том 3. Разработка приложений клиент/сервер для Linux/POSIX// Пер. с англ. «Вильямс». - 2002. - 592 с.
5. А.П.Бобров, А.Г.Смирнов, М.Г.Булгаков. Инновационные технологии в стоматологическом образовании // Институт Стоматологии. - 2007.- №1(34). - С. 24-25.
6. А.Г.Смирнов. Компьютерное моделирование в стоматологии // Институт Стоматологии. - 2006. - №1(30). - С. 24-25.

* Топология — дословный перевод с греческого — учение о месте. Я.Стьюарт — Стьюарт Я. Концепции современной математики, Минск: Высшая школа, 1980. — приводит следующее определение: «Топология изучает те свойства геометрических объектов, которые сохраняются при непрерывных преобразованиях».

** Разработка МФТИ и Института физико-технической информатики.

*** Основоположниками в этой области являются Бро-Нильсен и Котин.