

# Графический инструментарий стоматолога-гнатолога на основе DVR

А. Белокаменская, М. Новожилов, В. Турлапов

Факультет вычислительной математики и кибернетики

Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия

belokamenskaya@vnmk.unn.ru

## Аннотация

Разработан программный комплекс, в существенной мере разрешающий проблему несовершенства трехмерных инструментов стоматолога-гнатолога в работе с височно-нижнечелюстным суставом (ВНЧС). Инструментальная поддержка построена на использовании трехмерных исходных данных, которые предоставляет томография. Для визуальной 3D реконструкции используется метод объемного рендеринга (DVR). Для измерений используется геометрическая реконструкция изоповерхностей методом марширующих кубов. На основе указанных методов реконструкции реализован ряд инструментов, обеспечивающих двумерные и трехмерные методики измерений в практике стоматолога-гнатолога.

**Ключевые слова:** 3D визуализация, цефалометрия, стоматология

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Патология височно-нижнечелюстного сустава (ВНЧС) затрагивает значительную часть населения, хотя и не рассматривается как проблема здравоохранения. Между тем, 3 - 7% населения пытается вылечить боль и дисфункции сустава или связанных с ним структур. Согласно данным литературы, распространенность клинических симптомов у населения разнится от 6 до 93%, вероятно, в результате использования различных клинических критериев.

В Национальном обзоре стоматологического здоровья, проведенном в Испании в 1994 г., в соответствии с критериями для эпидемиологических исследований здоровья полости рта Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), было выяснено, что в 12 лет 6,3% населения наблюдает щелчки в суставе, и эта цифра увеличивается до 9,4% в возрастной группе от 15 лет, достигает 14,70% в 35 - 44 лет и 23% - в 65 - 74 лет. Блокирование ВНЧС наблюдается у 2,2% населения в 12 лет, 4,5% - в интервале 35 - 44 лет и 3,5% - в возрастной группе от 65 до 74 лет. Боль, в свою очередь, наблюдается у 0,2% населения в возрасте 15 лет, 3,4% - в 35 - 44 лет и у 1,3% - у лиц в возрасте 65 - 74 лет.

В следующем исследовании, проведенном на национальном уровне в 2000 г., было видно, что 17,6% населения в возрасте 35 - 44 лет ощущает щелчки в суставе, в то время как 1,8% чувствуют боль при пальпации, и у 1,8% ограничена подвижность челюсти. Симптомы были обнаружены у 10,8% населения. В группе 65 - 74 лет щелчки присутствовали у 15,5%, боль при пальпации - у 2,5%, а также снижение подвижности - в 2,9% случаев. Симптомы присутствовали у 11,2% населения [6].

Согласно монографии 2009 г. Сёмкина и Рабухиной, анализ клинических и рентгенологических проявлений у больных с функциональной патологией ВНЧС позволяет констатировать, что дисфункции количественно преобладают среди всех заболеваний ВНЧС и встречаются более чем у 90,7% от всех пациентов с жалобами на зоны сочленений [3].

Исследования последних двух десятилетий констатируют примерно постоянный процент людей, наблюдающих симптомы дисфункции ВНЧС, что говорит о том, что пока не существует массовых эффективных методов лечения этого заболевания.

Важнейшим инструментом диагностики и оценки результатов ортодонтического лечения является цефалометрия. Цефалометрический анализ - это оценка размеров и пространственного взаимоотношения зубов, челюстей и лицевой части черепа в целом. Например, в 2002 г. 90% ортодонтов в США регулярно применяли цефалометрический анализ [4]. Долгое время цефалометрический анализ проводили, используя боковые и фронтальные рентгенограммы. С распространением компьютерной томографии (КТ) и конусно-лучевой компьютерной томографии (КЛКТ или СВСТ) стало возможным проводить цефалометрический анализ, используя трехмерные данные. Благодаря системам КЛКТ стоматологи могут получить трехмерные данные с очень низкой дозой излучения, в 15 раз меньшей, чем обычные сканеры КТ. Доза облучения при КЛКТ составляет дозу в среднем 12 панорамных рентгенограмм.

Современные информационные стоматологические системы позволяют загружать, хранить и использовать различные источники данных: рентгенограммы, фотографии, панорамные снимки зубов, оцифрованные слепки. Наблюдается дрейф в сторону использования трёхмерных данных - оцифрованных слепков и данных КЛКТ в формате DICOM для проведения диагностики и ведения лечения.

На сегодняшний момент существует множество коммерческих программ для 3D визуализации в медицине, и более десятка предназначено для визуализации в стоматологии. Самый большой недостаток этих программ - отсутствие валидации результата [1]. Из всего многообразия можно выделить 6 наиболее серьёзных и развитых систем, предназначенных для ортодонтов.

Модуль цефалометрии системы Dolphin Imaging создаёт двумерную картинку из трехмерного объема - латеральную, панорамную или фронтальную без перспективных искажений, либо с симуляцией перспективных искажений, как в реальной рентгеновской установке. После к изображению можно применить фильтры, улучшающие контраст. Далее можно воспользоваться предустановленными двумерными цефалометрическими анализами. Для более детального анализа ВНЧС выделяется бокс, содержащий сустав, по нему строится 7 сечений сустава.

В программе InVivo Dental фирмы Anatomage - самый полный модуль для цефалометрического анализа, как в 2D, так и в 3D. Ортодонт может сам построить новую трехмерную методику анализа и диагностики, задав собственные измерения и нормы, или воспользоваться предустановленными двумерными исследованиями. Anatomage предлагает также довольно мощный инструмент автоматической 3D идентификации скелетных точек, позволяющий в значительной мере снять проблемы 3D манипуляций на плоском экране.

OnyxSerh позволяет хранить в базе данных клинические фотографии, внутривидеозаписи, телерентгено-

граммы, фотографии стоматологических слепков и т.д. Можно воспользоваться более 50 анализами латеральной и фронтальной телерентгенограмм.

ITK\_SNAP – единственная система с открытым кодом ([www.itknap.org](http://www.itknap.org)) обладает модулями визуализации и сегментации трехмерных данных. Инструментов для проведения цефалометрического анализа нет.

Компания Sirona планирует в скором времени выпустить на рынок модуль SiCAT, соединяющий снимок Galileos с оптическим слепком Ceges и запись движения нижнечелюстного сустава. Программа будет визуализировать жевательные движения и позволит заказать точную окклюзионную капу. Для ортодонт Sirona уже сейчас предоставляет возможность провести двумерный цефалометрический анализ на латеральном и заднепереднем снимках.

В системе Maxilim (<http://www.medicim.com/en/products/3d-cerphalometry>) есть модуль для проведения трехмерного цефалометрического анализа.

## 2. РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДОВ АНАЛИЗА КЛКТ ТОМОГРАММ

Для трехмерной визуализации компьютерной томограммы использовалась техника прямого объёмного рендеринга (Direct Volume Rendering, DVR) (рис. 1).



Рис. 1. Визуализация методом DVR

Метод прямого объёмного рендеринга вычисляет интеграл объёмной визуализации [2]:

$$I = \int_0^D \text{intensity}(\mathbf{x}(t)) \times \text{extinction}(\mathbf{x}(t)) \times \exp\left(-\int_0^t \text{extinction}(\mathbf{x}(t')) dt'\right) dt$$

Луч  $\mathbf{x}(t)$  параметризован расстоянием  $t$  от объектива виртуальной камеры, а излучаемая яркость  $\text{intensity}(\mathbf{x})$  и коэффициент затухания  $\text{extinction}(\mathbf{x})$  могут быть вычислены в любой точке  $\mathbf{x}$  пространства, используя передаточную функцию. Интеграл объёмной визуализации описывает процесс накопления цвета вдоль луча с учетом затухания по пути следования.

Через  $D$  обозначено расстояние, на которое луч проникает в объем (в большинстве случаев определяется временем выхода из ограничивающей оболочки).

Для устранения артефактов постклассификации, которые заключаются в искажениях цвета, хорошо видимых глазом в виде колец или полос, реализован метод предынтегрированного объёмного рендеринга.

Для более точной постановки диагноза и определения содержания лечения стоматологу необходимо всесторонне изучить зубочелюстную систему пациента. Сечение в произвольной плоскости (рис. 2) позволяет подробно рассмотреть зону поражения в наиболее представительном разрезе. Реализовано сечение цилиндрической поверхностью с криволинейной направляющей, которое позволяет точно отследить существенную для постановки диагноза линию исследуемой части зубочелюстной системы.

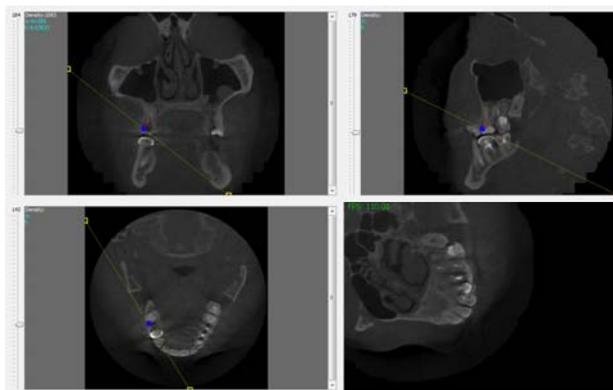


Рис. 2. Сечение томограммы произвольной плоскостью

Эмулирован рентгенологический метод исследования ортопантомографии, дающий обзорный панорамный снимок верхней и нижней челюстей (рис. 3). Благодаря такому снимку можно получить картину состояния каждого отдельного зуба, костной ткани челюстей и пародонта, составить представление о состоянии височно-нижнечелюстных суставов и гайморовых пазух.

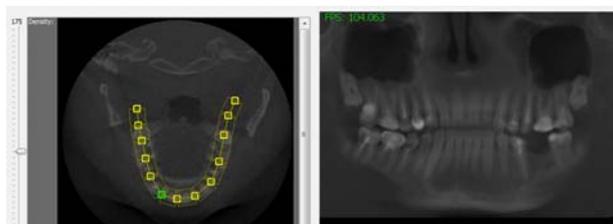
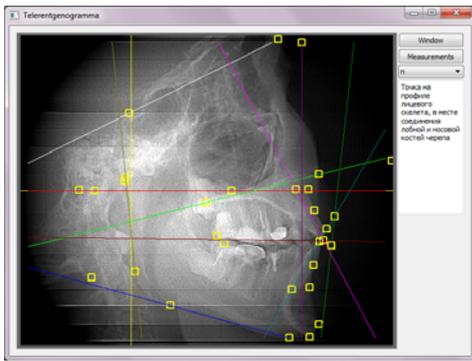


Рис. 3. Имитация панорамного снимка по данным томограммы

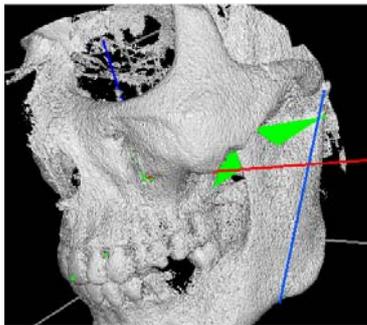
Программа позволяет построить панорамный снимок для различных эквидистант. Есть возможность варьировать толщину слоя, принимаемого во внимание при построении панорамного снимка.

В программе реализована методика анализа профильных телерентгенограмм, предложенная Р.А. Фаддеевым и А.В. Кузаковой в учебном пособии «Клиническая цефалометрия» [3]. Реализован режим телерентгенограммы. В этом режиме ортодонт наносит цефалометрические точки с помощью «мышь»: 16 скелетных антропометрических точек, 8 зубных, 7 кожных. После чего программа автоматически строит 10 цефалометрических плоскостей и рассчитывает 46 цефалометрических параметров (рис. 4). Вычисленные значения выводятся в сводную таблицу вместе с нормальными значениями и компенсаторными оценками. Если отклонение параметра от нормального значения не превышает норму, то результат выводится зелёным цветом, если превышает, – то красным.



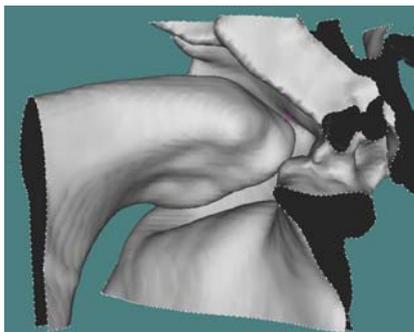
**Рис. 4. Боковая двумерная цефалометрия**

В качестве задела для построения инструментов трехмерной цефалометрии реализована возможность построить трёхмерные объекты: точку, линию, плоскость и отобразить их вместе с объёмными данными (рис. 5).

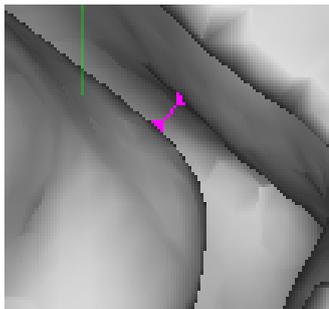


**Рис. 5. Геометрия и изоповерхность кости**

Одним из реализованных инструментов является геометрическая реконструкция челюстно-лицевой системы (рис. 6). Можно выделить зону интереса, построить полигональную модель и оперировать с ее отдельными элементами. Для построения полигональной модели используется метод марширующих кубов. Есть возможность проводить измерения, например, можно измерить кратчайшее расстояние в суставе (рис. 7). Программа написана в среде MS Visual Studio на языках C++ , OpenCL и GLSL, с использованием библиотеки Qt.



**Рис. 6. Геометрическая реконструкция ВНЧС**



**Рис. 7. Измерение зазора суставных поверхностей**

### 3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработан программный комплекс, в существенной мере разрешающий проблему несовершенства трехмерных инструментов стоматолога-гнатолога в работе с височно-нижнечелюстным суставом (ВНЧС). Инструментальная поддержка построена на использовании трехмерных исходных данных, которые предоставляет томография. Для визуальной 3D реконструкции используются методы объемного рендеринга (DVR). Для измерений используется геометрическая реконструкция полигональной модели изоповерхностей методом марширующих кубов. На основе указанных методов реконструкции реализован ряд инструментов, обеспечивающих двумерные и трехмерные методики измерений в практике стоматолога-гнатолога, такие, как: измерения на сечении томограммы произвольной плоскостью; инструменты для проведения двумерного цефалометрического анализа и построение таблицы компенсаторных оценок; диалоговый режим 3D редактирования и дополнения цефалометрических ориентиров; измерение расстояний между элементами челюстно-лицевой системы. Для томограмм поддерживается входной формат DICOM.

### 4. БЛАГОДАРНОСТИ

Работа была выполнена при поддержке программы «УМНИК».

### 5. ССЫЛКИ

- [1] Becker Otávio Emmel, et al. Three-dimensional Planning in Orthognathic Surgery using Cone-beam Computed Tomography and Computer Software. Computer Science Systems Biology. 6.6.2013 – P. 311 - 316.
- [2] Боголепов Д.К., Бугаев И., Белокаменская А.А., Турлапов В.Е. Полноэкранное сглаживание в реализации прерывного рендеринга для визуализации трехмерных скалярных полей на GPU Научная визуализация, 2012. -Кв.4. Т.4. - № 4. – С. 2 - 16.
- [3] Фадеев Р.А., Кузакова А.В. Клиническая цефалометрия. Учебное пособие по диагностике в ортодонтии / под ред. д.м.н. Р.А.Фадеева – СПб.: ООО "МЕДИ издательство", 2009. - 64 с.
- [4] Nijkamp Peter G, at al. The influence of cephalometrics on orthodontic treatment planning. The European Journal of Orthodontics. 3.11.2008. – 6 p.
- [5] Рабухина Н.А. и Сёмкин В.А. Дисфункция височно-нижнечелюстных суставов (клиника, диагностика и лечение). – М.: ЗАО Редакция журнала «Новое в стоматологии», 2000. – 56 с.
- [6] Roda Rafael Poveda, at al. Review of temporomandibular joint pathology. Part I: Classification, epidemiology and risk factors. 2007, Med Oral Patol Oral Cir Bucal – P. 292 - 298.

### Об авторах

Белокаменская Александра – аспирант ВМК ННГУ им. Н.И. Лобачевского, belokamenskaya@vmk.unn.ru  
 Новожилов Михаил – студент ВМК ННГУ им. Н.И. Лобачевского, michael.novogilov@gmail.com  
 Турлапов Вадим – профессор каф. МО ЭВМ ВМК ННГУ им. Н.И. Лобачевского, vadim.turlapov@cs.vmk.unn.ru