

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ БЫСТРОГО ПРОТОТИПИРОВАНИЯ В ИЗГОТОВЛЕНИИ МЕДИЦИНСКИХ ИМПЛАНТАТОВ

Шумков А.А.¹

¹*Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия, 614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, shumkov_89@mail.ru*

В данной работе рассмотрен метод получения медицинских имплантатов с помощью технологий быстрого прототипирования. Технология основана на иницировании реакции полимеризации цифровыми видео проекторами. Данная технология позволяет получать индивидуальные имплантаты сложной формы без дополнительной оснастки по результатам конусно – лучевой компьютерной томографии. По результатам томографии было отобрано 191 снимок объекта. Для построения компьютерной трехмерной модели использовался программный комплекс 3D – DOCTOR, с помощью которого цифровые снимки были объединены в сечения будущей 3D модели. Экспериментально определены режимы построения имплантата челюсти человека из сшитого фотополимерного материала SI500. Установлена возможность получения индивидуальных сложнопрофильных имплантатов по технологии быстрого прототипирования использующую в качестве иницирования реакции полимеризации два цифровых видео проектора.

Ключевые слова: имплантат, быстрое прототипирование, конусно – лучевая компьютерная томография (КЛКТ), фотополимерный материал.

APPLICATION RAPID PROTOTYPING TECHNOLOGIES IN THE MANUFACTURE OF MEDICAL IMPLANTS

Shumkov A.A.¹

¹*Perm national research polytechnic university, Russia, Perm, 614990, Komsomolsky Av. 29, shumkov_89@mail.ru*

In this paper the method for producing medical implants using rapid prototyping technologies. The technology is based on initiating the reaction of polymerization using digital video projectors. This technology makes it possible to obtain individual implants of complex shape without using additional tools, by the results of cone-beam computer tomography. By the results of tomography, 191 images of the object were selected. The 3D-DOCTOR software suite was used to build a three-dimensional computer model; the images were merged into cross-sections of the will-be 3D model. The modes of building an implant of man's jaw from cross-linked photopolymer material SI500 have been experimentally determined. A possibility has been established to obtain individual geometrically-complex implants using the rapid prototyping technology, where two digital video projectors are used for initiating the reaction of polymerization.

Keywords: Implant, Rapid prototyping, Cone-beam computer tomography (CBCT), Photopolymer material, Photopolymer material

До последнего времени рентгеновское исследование было единственным объективным и быстрым способом получения информации о внутренней структуре органов человека, наличии переломов, инородных предметов, состоянии трансплантатов и эндопротезов [5]. Однако традиционная рентгенограмма, будучи двумерным изображением исследуемого объекта, не передает все особенности его формы, рельефа поверхности, искажает истинные его размеры и поэтому не всегда дает полную информацию, необходимую для диагностики и лечения пациента. Более широкие возможности открывает компьютерная томография, позволяющая получать высокоточные трехмерные изображения различных структур тела человека [3]. Но для получения полной и объективной информации,

особенно о характере травматических повреждений и для их эффективного лечения, желательно иметь реальную трехмерную модель поврежденного органа или объекта [6]. Широкое распространение цифровых технологий в области проектирования (CAD), моделирования и расчетов (CAE), и механообработки (CAM) стимулировало развитие RP – технологий (быстрое прототипирование). Цифровые 3D – технологии открыли уникальные возможности воспроизведения сложнейших пространственных форм, объектов и механизмов. Современные методы быстрого прототипирования позволяют оперативно и быстро решить задачи по изготовлению копий компьютерных моделей, которые были созданы программным обеспечением для трехмерного проектирования [7]. Переход на цифровое описание объектов – CAD, и появившиеся вследствие CAD, RP – технологии произвели революцию в таких областях как, медицина, археология и криминалистика. В медицине, в настоящее время, пластиковые модели наиболее широко используются в черепно - челюстно - лицевой хирургии, при подготовке и планировании операций по устранению врожденных и посттравматических дефектов и изготовлению имплантатов.

Выпускаемые в настоящее время и используемые в медицине имплантационные системы являются унифицированными, т. е. выпускаются имплантаты разных размеров, но одинаковой формы. Это накладывает серьезные ограничения на применение имплантации в сложных случаях [4], а именно увеличивает время операции из-за подгонки имплантата по месту, приводит к возникновению зон концентрации напряжений, снижающих прочность имплантата. Выходом может стать применение индивидуальных сложнопрофильных имплантатов, спроектированных и изготовленных с использованием современных технологий быстрого прототипирования [1].

Следовательно, актуальной является задача быстрого и точного преобразования данных, полученных с помощью измерительных машин, томографов и других средств контактной и бесконтактной диагностики объектов в их вещественные копии [2].

Целью данной работы является исследовать методику получения копии фрагмента челюсти человека, по результатам компьютерной томографии с помощью метода стериолитографии основанного на инициировании реакции полимеризации за счет цифровых видео проекторов (Digital Light Processing).

Материалы и методы исследования

В работе проведено экспериментальное исследование получения пластикового прототипа челюсти человека по результатам конусно – лучевой компьютерной томографии (КЛКТ) с помощью метода стериолитографии.

Экспериментальные исследования включали в себя следующие этапы:

- 1.Обследование пациента на рентгеновском конусно – лучевом компьютерном томографе Planmeca ProMax 3D.
2. Предварительную обработку результатов томографического исследования, с целью получения упорядоченного набора томограмм (аксиальные срезы) в виде файлов в формате DICOM.
3. Преобразование томограмм в трехмерную компьютерную модель в формате STL.
- 4.Изготовление пластиковой копии фрагмента челюсти методом стереолитографии основанным на технологии Digital Light Processing компании Envisiointec.

Данное исследование основано на получении экспериментального пластикового образца из фотополимерного материала SI500 на стереолитографической машине по результатам конусно – лучевой компьютерной томографии (КЛКТ) челюсти человека.

Для получения цифровых изображений в данной работе использовалась установка Planmeca ProMax 3D. В целях получения четких и надежных трехмерных изображений при ограниченных лучевых нагрузках на пациента в рентгеновских установках серии Planmeca ProMax 3D применяется технология объемной томографии с применением конусного луча (CBVT). Для качественных трехмерных изображений, сканирование на конусно – лучевом томографе проходило при определенных параметрах процесса. Параметры процесса представлены в табл. 1.

Таблица 1

Параметры процесса сканирования.

Количество кадров	401
Напряжение (кВ)	90
Ток (мА)	10
Время экспозиции (с)	12,118
Уровень облучения пациента DAP (мГр/см ²)	1094,2

Предварительную обработку результатов томографического исследования, проводили с помощью программного комплекса Planmeca Romexis Viewer 3.6.0 R. Программа предназначена для просмотра результатов сканирования на томографической установке, редактирования изображений, измерения поврежденных зон, а так же импортирования изображений в программные модули, предназначенные для преобразования в трехмерную модель.

Для преобразования результатов томографического сканирования в трехмерную модель использовался программный модуль 3D – DOCTOR. Программа позволяет обработать изображения интересующей области томограммы, для объединения в сечения будущей 3D – модели и сохранение результатов в STL формате.

Для построения прототипа из фотополимерного материала использовалась система быстрого прототипирования EnvisionTec Perfactory Xede.

Основные параметры контролируемые в процессе построения твердотельного экспериментального прототипа челюсти пациента на установке EnvisionTec Perfactory Xede из фотополимерного материала SI500 представлены в табл. 2.

Таблица 2

Параметры процесса построения

Толщина слоя (мкм)	Толщина поддержек (мкм)	Высота поддержек (мм)	Время засветки сечений прототипа (ms)	Время засветки поддержек (ms)
50	250	4	13000	40000

Результат исследования пациента на конусно-лучевом компьютерном томографе преобразовывался в набор из 401 томограммы с шагом 0,600 мм, которые вводились в персональный IBM совместимый компьютер в формате DICOM. Полученные изображения томограммы, с помощью пакета 3D - DOCTOR преобразовывались в трехмерную компьютерную модель в STL формате, который является входным форматом для программного обеспечения, разработанного для установки стереолитографии Envisiontec Perfactory XEDE.

Результаты исследования и их обсуждение

Для обработки результатов исследования на конусно – лучевом компьютерном томографе использовалась программа Planmeca Romexis Viewer 3.6.0 R. Трехмерное изображение одновременно отображается в четырех разных видах: сагиттальный (Sagittal, красный, ось x), корональный (Coronal, зеленый, ось y), осевой (Axial, синий, ось z), трехмерный рендеринг (3D rendered view) (рисунок 1).

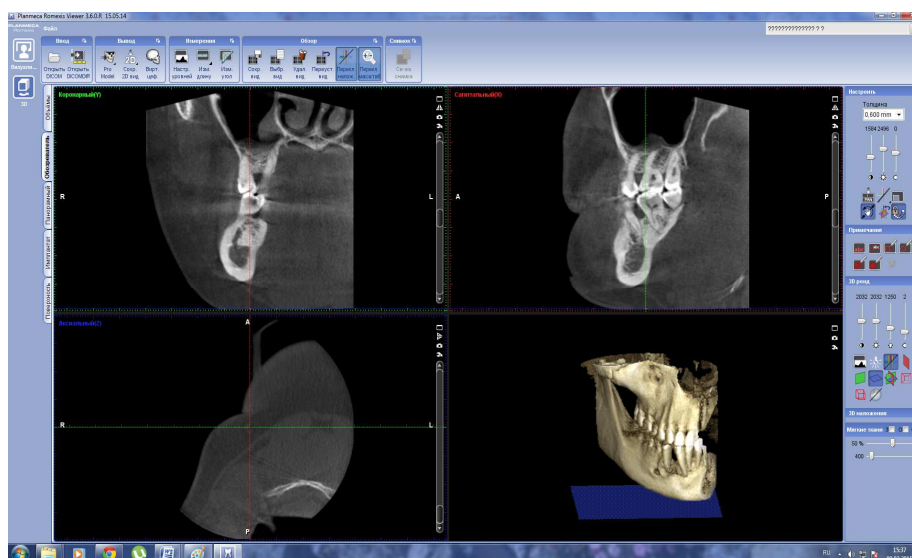


Рис.1. Трехмерное изображение результатов томограммы

Для отбора изображений в качестве основы для построения 3D модели использовался осевой вид. В качестве интересующей зоны для построения 3D модели был выбран фрагмент нижней челюсти. Отбор изображений проводился с помощью снимка аксиальных срезов. Отобранные фотографии поперечных сечений фрагмента нижней челюсти в количестве 191 изображения затем сохранялись в формате JPEG для последующей передачи файлов.

Обработка изображений зубочелюстной системы, полученных при проведении компьютерной томографии с последующим отбором фотографий аксиальных срезов фрагмента нижней челюсти в формате JPEG и построение на их основе цифровой модели, проводилась с помощью программного комплекса 3D DOCTOR. Первый этап обработки изображений заключается в сегментации выделенной зоны интереса, с созданием объемного объекта (рисунок 2).

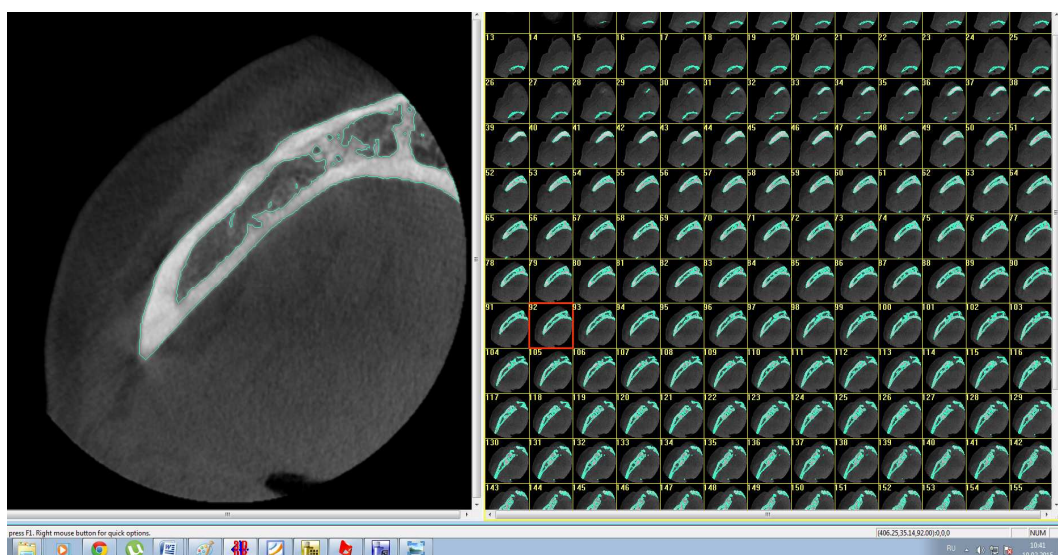


Рис. 2. Разметка маркером фрагмента нижней челюсти

Учитывая, что каждая точка томограммы имеет свою яркость, которая зависит от того, насколько оптически плотным является участок органа или ткани, то, задавая пороговые значения оптической плотности, можно отделить сегменты изображения с одинаковой яркостью, или оптической плотностью. Таким сегментом будет нижний фрагмент челюсти. На следующем этапе на сегментированном по пороговому значению изображении расставляются маркеры, соответствующие фрагменту нижней челюсти. Результатом сегментации, является объект фрагмента нижней челюсти (рисунок 3).

В случае если полученная объемная модель не достаточно качественная, то программа позволяет провести повторную расстановку маркеров либо же изменить порог сегментации. Применение при обработке изображений двухэтапной сегментации с разными порогами позволяет максимально точно реконструировать челюстные кости без потери данных.

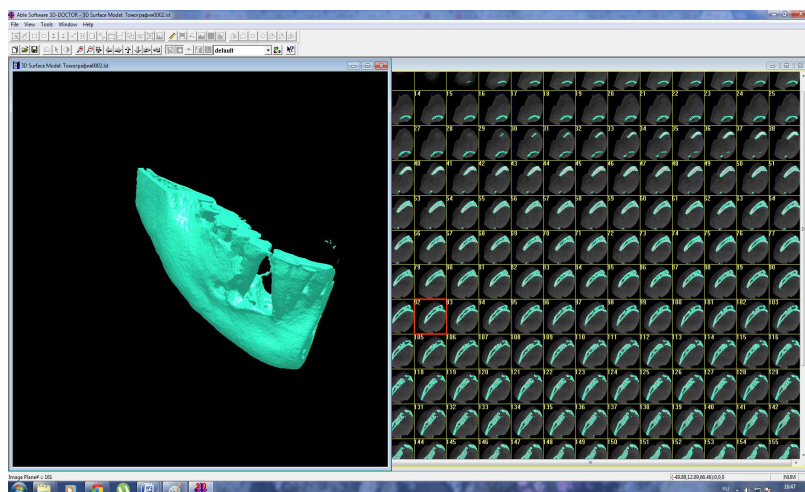


Рис.3. Объемная модель фрагмента нижней челюсти

Дальнейшая обработка компьютерной модели в STL формате проводилась программой Magics12 фирмы Materialize. Обработка модели включала: удаление артефактов, образовавшихся в процессе создания объемной модели, позиционирование в рабочей области стереолитографической машины Perfactory XEDE компании Enviziontec, генерацию элементов поддержки.

Изготовленный экспериментальный образец фрагмента нижней челюсти человека представлен на рисунке 4. Для высокой детализации профиля экспериментальной копии фрагмента нижней челюсти использовался шаг построения в 0,05мм, при времени засветки каждого последующего слоя в 13 секунд. Данный режим построения обеспечивает точность размеров, минимальную шероховатость поверхности пластиковой копии.



Рис.4. Экспериментальный образец фрагмента нижней челюсти из фотополимерного материала SI500

Выводы

В результате проведенных исследований продемонстрирована высокая эффективность изготовления пластиковых имплантатов по технологии стереолитографии для

деформированных или полностью утраченных костных тканей челюстно-лицевых органов человека.

Установлено, что для получения качественной компьютерной модели необходимо проводить двухэтапную сегментацию исследуемого объекта.

В ходе исследования экспериментально определены оптимальные режимы выращивания на стереолитографической машине, а именно время засветки слоев поддержек равное 40 секундам, время засветки основной модели равное 13 секундам и толщина слоя в 0,05 мм. Это позволило получить качественный экспериментальный пластиковый образец без дополнительной механической обработки поверхности.

Список литературы

- 1.Абрамов С.С., Болдырев Н.Н., Евсеев А.А. и др. Изготовление пластиковых копий трехмерных объектов по томографическим данным. – Оптическая техника. – 1998. – №1 (13). – С. 45–49.
- 2.Евсеев А.В., Камаев С.В., Коцюба Е.В. и др.// Современные Компьютерное биомоделирование и лазерная стереолитография / лазерно – информационные и лазерные технологии : сб.тр.ИПЛИТРАН. – М.: Интерконтакт. Наука, 2005. – С.119-130.
- 3.Рабухина Н. А., Голубева Г. И., Перфильев С. А. Спиральная компьютерная томография при заболеваниях челюстно-лицевой области. – М., 2006. – 128 с.
- 4.М.М. Тверской, Л.Н. Петров, А.С.Аладин, А.С. Жаринова, Компьютерная технология изготовления медицинских имплантатов методом послойного спекания // Вестник ЮУрГУ. – №23. – 2012. – С. 64-69.
5. Шавладзе З. Н., Налапко В. И., Рабухина Н. А. и др. Использование рентгенологических методов в дентальной имплантологии // Стоматология. – 2002. – № 6. – С. 34–37.
- 6.Sykes LM, Parrott AM, Owen CP, Snaddon DR. Applications of rapid prototyping technology in maxillofacial prosthetics. Int J Prosthodont 2004; 17: 454-459.
- 7.Popat A.H. Rapid prototyping and medical modeling // Phidias Rapid Prototyping in medicine.- 1998.-1.-p.10-12.

Рецензенты:

Сиротенко Л.Д., д.т.н., проф., каф. МТиКМ, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь;

Матыгуллина Е.В., д.т.н., проф., каф. МТиКМ, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь.