

# МЕТОД ЛАЗЕРНОЙ СТЕРЕОЛИТОГРАФИИ В ЧЕРЕПНО-ЛИЦЕВОЙ ХИРУРГИИ

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. 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. 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. И здесь на помощь медикам приходит лазерная стереолитография.

Компьютерная томография основана на сканировании объекта потоком энергии (например, рентгеновскими лучами) и определении количества энергии, рассеянного тканью. Каждый элемент томограммы – функция плотности объекта в точке с координатами  $x, y, z$ . По этим данным компьютер строит модель распределения вещества с разной плотностью в пространстве, т.е. трехмерное изображение исследуемого объекта. Сегодня существует несколько видов компьютерных томографов: рентгеновская система, формирующая контрастные изображения костей; система на основе ядерного магнитного резонанса, с помощью которой можно получить четкое изображение ткани, при этом яркость изображения зависит от содержания воды в ткани; УЗ-система, позволяющая определять строение мягких тканей. Но во многих случаях медикам для эффективного лечения недостаточно иметь виртуальное компьютерное изображение исследуемого органа – им нужна реальная твердотельная высокоточная трехмерная модель. Создать такую модель можно с помощью лазерной стереолитографии, позволяющей оперативно преобразовать компьютерное изображение в его вещественную трехмерную копию.

В основе метода лазерной стереолитографии лежит локальное изменение фазового состояния фотополимеризующегося материала (переход из жидкого состояния в твердое) под воздействи-

В.Стучилов,  
А.Никитин,  
А.Евсеев



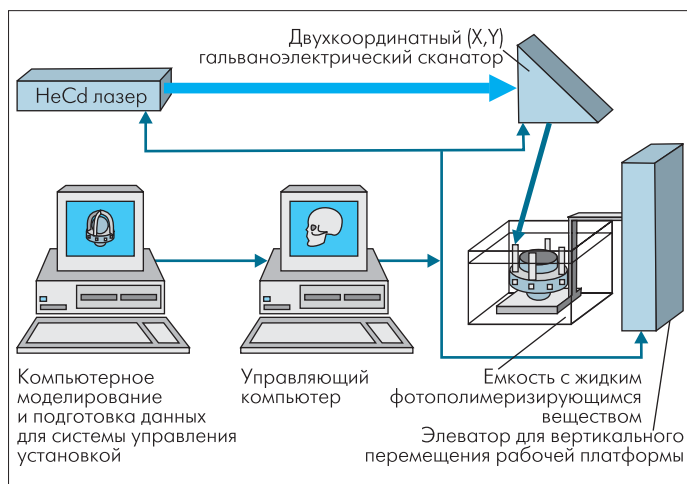
ем инициирующего лазерного излучения. Отсюда и название метода – лазерная стереолитография. Позиционирование лазерного луча в заданную точку фотополимеризующегося материала и его перемещение по нужной траектории производится на основе данных компьютерной томографии. Эти данные с помощью пакета программ 3Dview, разработанных специалистами Института проблем лазерных и информационных технологий (ИПЛИТ) РАН, преобразуются в трехмерную компьютерную модель, а затем – во входной STL-формат программной поддержки лазерных стереолитографических установок (разработки того же Института). Чтобы создать модель, компьютер "разрезает" изображение объекта на слои толщиной одна-две сотни микрон (при малом размере объекта – на слои толщиной 20–50 мкм). Для каждого слоя рассчитывается траектория перемещения лазерного пучка по поверхности особого фотополимеризующегося вещества, позволяющая воспроизвести контуры сечения и заполнить внутренние области сечения исследуемого объекта (тела). Сфокусированный лазерный луч инициирует полимеризацию облученной области, в результате чего образуется твердый полимер. Параметры лазерного излучения (мощность излучения и диаметр пучка), а также скорость перемещения пучка по поверхности вещества выбираются так, чтобы полимеризация эффективно протекала в слое толщиной 0,2 мм. Траектория и скорость перемещения лазерного пучка рассчитываются компьютером, управляющим двухкоординатным гальваноэлектрическим сканатором, который позиционирует пучок в заданную точку на поверхности фотополимеризи-

## Представляем авторов статьи

**СТУЧИЛОВ Владимир Александрович.** Кандидат медицинских наук. Старший научный сотрудник Московского областного клинического института (МОНИКИ), Клиника челюстно-лицевой хирургии.

**НИКИТИН Александр Александрович.** Доктор медицинских наук, профессор, лауреат государственной премии, академик Академии информатизации. Руководитель Клиники челюстно-лицевой хирургии.

**ЕВСЕЕВ Александр Викторович.** Кандидат физико-математических наук. Заведующий лабораторией Института проблем лазерных и информационных технологий (ИПЛИТ) РАН.



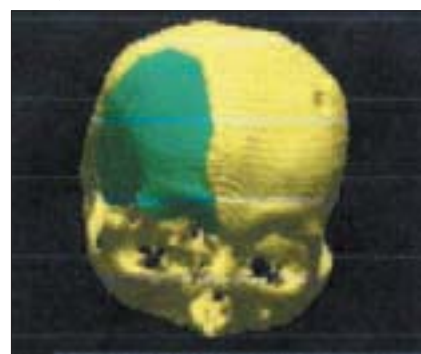
**Рис.1. Схема установки лазерной стереолитографии на основе непрерывного HeCd-лазера**

рующегося материала и перемещает его по рассчитанной траектории с заданной скоростью (рис.1). Коэффициент поглощения излучения обрабатываемым веществом должен быть достаточно велик, с тем чтобы излучение почти полностью поглощалось тонким слоем (0,1–0,2 мм). В результате на облученной поверхности фотополимеризирующегося материала образуется пленка твердого полимера и таким образом формируется изображение, соответствующее первому сечению объекта. После завершения формирования первого слоя платформа, на которой "выращивается" модель, опускается на расстояние, равное толщине следующего слоя, и на поверхности фотополимеризирующегося материала формируется изображение, соответствующее второму сечению объекта. Параметры иницирования выбираются таким образом, чтобы второй слой надежно "приклеился" к первому. Процесс продолжается до тех пор, пока не будут изготовлены все слои. Точность изготовления стереолитографической модели с помощью установки на основе HeCd-лазера непрерывного излучения с длиной волны 325 нм достигает  $\pm 0,1$  мм.

Особенно широкие возможности открывает применение стереолитографии в черепно-лицевой и пластической хирургии. При черепных и лицевых повреждениях возникают разного рода деформации, т.е. смещение комплексов мягких и костных тканей и изменение их объема, для диагностики и планирования лечения которых важно быстро получить точное трехмерное изображение поврежденной костной и мягкотканной структуры. Лазерная стереолитография позволяет сформировать пластиковые копии черепа исследуемых больных всего за несколько часов. Так, про-

цесс формирования пластиковой модели черепа с помощью стереолитографической установки СЛТ ЛС-250/Э не превышал 24 часов. При этом использовались преобразованные в STL-формат данные набора из 100–150 томограмм с шагом 1,5 мм, полученные в ходе исследования больных на компьютерном рентгеновском томографе модели HiSpeed CT GEMS\_IDEN\_01 фирмы GE Medical Systems.

К достоинствам стереолитографической модели относится, во-первых, возможность определения на основании пластиковой копии черепа большого размера дефекта и деформации костных и мягких тканей и составления оптимальной программы хирургического лечения – выявления направления дистракции, определения оптимальной конструкции индивидуального компрессионно-дистракционного аппарата и обозначение основных ориентиров его установки. Во-вторых, имея пластиковую копию черепа больного, хирург может моделировать индивидуальные имплантаты, которые бы позволили устранить дефекты и деформации в челюстно-лицевой области. Причем имплантаты могут быть изготовлены вручную (лепкой) непосредственно на пластиковой модели (рис.2) и во время операции перенесены на область дефекта. Можно создать и компьютерную копию имплантата, а затем изготовить ее методом лазерной стереолитографии.



**Рис.2. Стереолитографическая модель черепа с наложенным имплантатом**

Исследования, проведенные в лечебных учреждениях, показали, что применение метода лазерной стереолитографии позволяет получить достаточно полную объективную информацию о патологиях в черепно-лицевой области и значительно расширяет возможности их лечения.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 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.
- Stereolithography and Other RP&M Technologies, ed. P. F. Jacobs. – Dearborn, MI: Society of Manufacturing Engineers, 1995, p.451.
- Arver J.F., Barker T.M. et al. Maxillofacial Biomodelling. British Journal of Oral & Maxillofacial Surgery, 1994, N32, p.276–283.