

ВОЗМОЖНОСТИ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛЕЙ ЧЕРЕПНЫХ ИМПЛАНТАНТОВ ПО СТАНДАРТНЫМ РЕНТГЕНОГРАФИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Шамраева Е.О., Аврунин О.Г.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники
61166, Харьков, пр. Ленина, 14 каф. Биомедицинских электронных устройств и систем,
тел. (057) 7021-364

Open cranial traumas are the most serious injury. Diagnostics of cranial traumas implemented by means of KT-registrator, X-ray unit and other. Method of cosmetic reconstruction is computer simulation. Rentgenograms in frontal and sagittal planes or KT-imaging are used as the initial data sets for reconstruction of cranial defects. The main stages of preparation and realization computer simulation included: research of a patient; receipt of rentgenograms or KT-imaging; digital image processing; mathematical simulation; construction of 3D computer model of implantate, which based on using volume models of five cranium types and the analysis of rentgenograms or KT-imaging of patient's cranium. Using given method guaranteed high accuracy of construction implante and severely simplified task solution of cosmetics reconstruction of the damaged cranium part.

Актуальность темы исследования. Черепно-мозговая травма является одной из наиболее тяжелых патологий в нейрохирургической практике. Это обусловлено массовостью ее распространения, особенно среди лиц молодого и младшего среднего возраста, высокой летальностью и инвалидизацией пострадавших, тяжестью последствий со стойкой или временной утратой трудоспособности, чрезвычайно экономически обременительной для семьи, общества и государства в целом. В мире травма как причина смерти населения занимает третье место, уступая лишь сердечно-сосудистым и онкологическим заболеваниям. Тяжелые черепно-мозговые травмы часто являются причиной развития органических и функциональных расстройств нервной системы. Опасность травматизации незащищенного мозга извне, а также косметические аспекты травмы приводят к необходимости проведения реконструктивных нейрохирургических вмешательств для коррекции черепного дефекта. Замещение обширных костных дефектов выполняется, как правило, путем установки имплантатов, выполняемых из биологически неактивных материалов (например, оксидная керамика Al_2O_3).

При определении параметров черепных дефектов сложной конфигурации стандартная процедура расчета геометрических характеристик имплантата основывается на результатах обследования пациента с помощью рентгеновской компьютерной томографии. Конфигурация имплантата определяется либо методом зеркального отражения неповрежденной области (при латеральном расположении дефекта), либо, с помощью интерполяции по узловым точкам, которые выбираются с учетом морфологических параметров черепа. Недостатками данной методики являются возможность появления искажений формы дефекта, связанных с усреднением, возникающим при формировании томографического изображения на границах объектов с различной плотностью, а также невозможность массового применения, связанная с необходимостью использования дорогостоящего томографического оборудования, которым оснащены только несколько крупнейших медицинских центров Украины. Поэтому актуальными являются задачи, направленные на разработку методов высокоточного определения параметров черепных дефектов, доступных для применения в районных специализированных медицинских учреждениях, и создание имплантатов, замещающих утраченные фрагменты черепа.

Постановка задачи. Рассматриваемая задача сводится к исследованию возможностей определения параметров черепных дефектов с помощью стандартной рентгенологической аппаратуры и получению соответствующей конфигурации имплантата. Широкая доступность и сравнительно высокая информативность рентгенологического обследования делают этот метод интраскопии одним из самых эффективных при диагностике черепно-мозговых травм. Однако традиционная рентгенограмма, будучи двумерным изображением исследуемого объекта, не передает все особенности его формы, рельефа по-

верхности, искажает истинные его размеры и поэтому не всегда дает полную информацию, необходимую для диагностики и лечения пациента. Поэтому необходима разработка методики расчета параметров черепных дефектов, позволяющей с помощью комплекса математических расчетов построить объемную модель имплантанта по данным рентгенологического обследования.

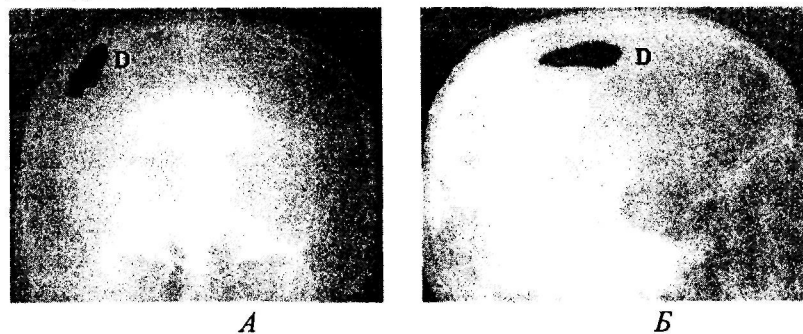


Рис. 1

Исходными данными для разработки метода являются оцифрованные изображения обзорных рентгеновских снимков головы пациента во фронтальной (рис.1,а) и сагитальной (рис.1,б) проекциях.

Методика создания математической модели имплантанта. Точность расчета параметров имплантанта в первую очередь зависит от погрешности определения контуров дефекта – граничных точек затемненной области D, приведенной на рис.1. При интерактивном обозначении контуров поврежденной области недостаточный контраст изображения и субъективность оценивания перепадов яркости могут существенно увеличить погрешность определения граничных точек дефекта. Поэтому целесообразным представляется применение алгоритма автоматизированного определения граничных точек поврежденной области.

Предварительным этапом алгоритма является устранение локальных помех на рентгеновском изображении с помощью методов селективного сглаживания, не приводящих к уменьшению перепадов яркости на границе дефекта. Далее выполняется интерактивное указание на рентгеновских изображениях прямоугольных областей интереса, содержащих изображение костного дефекта (для сагитального снимка область интереса показана в увеличенном виде на рис.2,а).

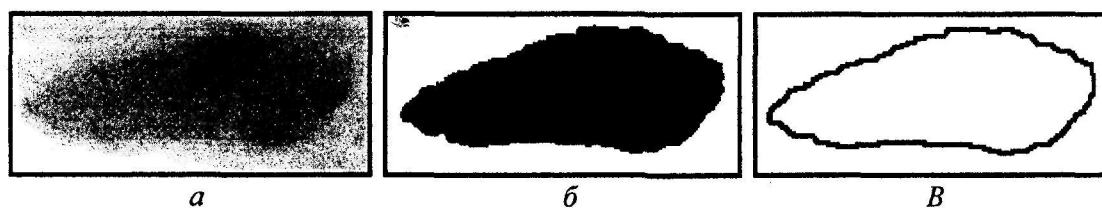


Рис. 2

Применение стандартных дифференциальных операторов для визуализации границ дефекта приводит к появлению на изображениях большого количества ложных контурных объектов, являющихся чрезвычайно сложными для логической интерпретации. Так как область интереса (рис.2,а) содержит один крупный объект D (с малой интенсивностью) на светлом фоне, целесообразно выполнить сегментацию изображения методом порогового ограничения по уровню интенсивности P , а затем выполнить дифференцирование полученного бинарного изображения.

Результатом процедуры сегментации является получение бинарной характеристической функции вида

$$h(i, j) = \begin{cases} 1; & \text{при } f(i, j) \leq P, \\ 0; & \text{при } f(i, j) > P, \end{cases}$$

где $f(i, j)$ - значение дискретной функции изображения (интенсивности) в точке с координатами (i, j) , P – величина порогового уровня интенсивности, соответствующая минимуму между двумя наибольшими максимумами гистограммы изображения.

Однако прямое восстановление формы утраченного фрагмента черепа по двум рентгеновским проекциям костного дефекта невозможно. Поэтому предлагается методика построения модели поверхности черепа, соответствующего по краниометрическим показателям черепу пациента. В современной краниологии широко применяется определение формы черепа в вертикальной норме. По очертанию контура выделяют несколько типов в зависимости от относительной длины черепа и положения его наибольшей поперечной оси:

- эллипсоидный – наибольшая ширина приходится примерно на середину;
- пентагоноидный, пятиугольный – наибольшая ширина лежит в задней трети, сильно выступают лобные и теменные бугры;
- овоидный – наибольшая ширина приходится также на заднюю треть, но лобные и теменные бугры сглажены;
- сфероидный – соответствует эллипсоидному типу, но имеет относительно меньшую длину и большую ширину;
- сфеноидный – соответствует овоидному типу, но характеризуется дополнительно уплощением затылка.

В основе построения объемной модели имплантанта лежит использование пяти базовых 3D-моделей черепов (эллипсоидный, пентагоноидный, овоидный, сфероидный, сфеноидный). Для более точного отображения конфигурации имплантанта рентгеновский снимок черепа пациента сравнивается с пятью моделями типов черепов и на основе значения корреляционной функции определяется принадлежность черепа к определенному типу. Затем двухмерное изображение области дефекта проецируется на выбранную трехмерную модель черепа с последующим интерактивным редактированием поверхности имплантанта по узловым точкам.

Выводы. В результате, компьютерное моделирование, исходными данными которого являются рентгеновские снимки черепа во фронтальной и сагиттальной плоскостях, позволяет упростить задачу определения параметров имплантанта, путем исключения необходимости проведения томографического обследования, доступного только в специализированных медицинских учреждениях.

Для повышения эффективности косметического восстановления краниальных дефектов целесообразно рассмотреть вопросы наиболее точного соответствия усредненной модели поверхности черепа конкретному пациенту с учетом анатомической variability.

Перспективы работы. Перспективой работы является создание высокоточной модели черепного имплантанта, а также методов операционного планирования, направленных на обеспечение оптимального малотравматичного хирургического доступа к поврежденной области. Наиболее актуальными при этом являются задачи не только виртуального, но и физического моделирования хода операции путем использования лазерной стереотомографической установки для создания полимерных объемных моделей головы пациента, поврежденной области и имплантанта.