

УДК 681.3.01

Е.О. Шамраева, А.А. Шамраев

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков

НЕЙРОХИРУРГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ УСТРАНЕНИЯ ПОСТТРАВМАТИЧЕСКИХ ДЕФЕКТОВ ЧЕРЕПА

В работе разработана структурная схема нейрохирургического комплекса, предназначенного для получения исходных данных, их обработки с целью получения компьютерной модели, и изготовления вещественной копии черепного имплантата. Сформулированы медико-технические требования к данному комплексу. Проиллюстрированы результаты работы нейрохирургического комплекса на примере изготовления вещественных копий черепных имплантатов по томографическим и рентгенографическим данным.

Ключевые слова: нейрохирургический комплекс, томограммы, рентгенограммы, черепной имплантат.

Актуальность темы исследования

При черепно-мозговой травме рентгенографическое (РГ) обследование головы является обязательным и, что является очень важным, доступно практически в любой районной больнице. Последующее же обследование головы с помощью КТ аппарата не всегда возможно и доступно. Поэтому использование методов построения черепных имплантатов по данным спирального компьютерного томографа ограничено.

Рентгеновские компьютерные томографы с пошаговым сканированием в Украине являются более доступными, чем спиральные КТ, однако это касается только областных центров, в районных же центрах они практически отсутствуют, что существенно снижает эффективность этого метода диагностики.

В больницах, не имеющих доступа к современной томографической аппаратуре, эскизы черепного имплантата строят вручную, что является чрезвычайно трудоемким процессом, с большими погрешностями результатов моделирования имплантата, возникающими за счет субъективности оценки геометрических характеристик поврежденной области.

Поэтому актуальными являются задачи, направленные на разработку методов автоматизированного построения компьютерных моделей черепных имплантатов, доступных для применения в районных специализированных медицинских учреждениях. Решение этих задач возможно в рамках нейрохирургического комплекса (НХК), использование которого позволило бы получить модели черепных имплантатов, информативностью и качеством не уступающие их аналогам, полученным при помощи спирального компьютерного томографа. При этом стоимость используемых средств для получения исходных данных и построения имплантата должна быть настолько низкой, чтобы быть доступной районным больницам.

Структурная схема НХК для устранения посттравматических дефектов черепа

Системы интроскопии, операционного планирования и формирования вещественной копии имплантата являются составной частью нейрохирургического комплекса для проведения реконструктивных вмешательств по КТ- и РГ- данным, структурная схема которого представлена на рис. 1.

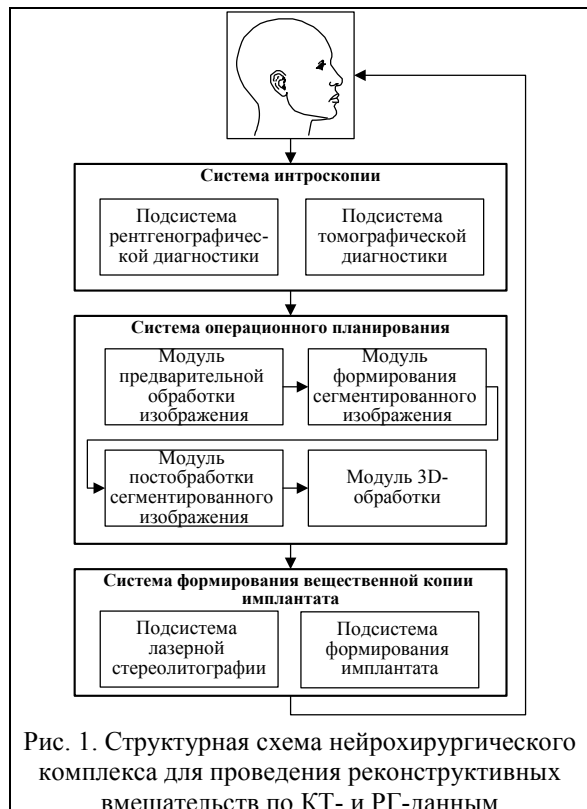


Рис. 1. Структурная схема нейрохирургического комплекса для проведения реконструктивных вмешательств по КТ- и РГ-данным

Система интроскопии позволяет получить рентгеновские снимки (в цифровом виде либо на пленке) или томограммы головы пациента.

Система операционного планирования представляет собой структурную единицу программного продукта для планирования нейрохирургических ре-

конструктивних втручаннях, в основі котрої лежать методи побудови комп'ютерних моделей черепа і імплантата по даним рентгенографії і/або комп'ютерної томографії, розглянуті в [1 – 5].

В системі формування речовинної копії імплантата відбувається безпосереднє виготовлення імплантата. В системі лазерної стереолітографії відбувається формування пластикової моделі черепа і/або імплантата на основі отриманих відповідних комп'ютерних моделей. Речовинна модель імплантата може бути виготовлена як з біологічно неактивного матеріала, так і з біоінесумісного матеріала. В першому випадку імплантат може бути використаний безпосередньо для відновлення цілості черепа; во другому випадку він використовується тільки як прототип заміщаючого імплантата. По такому прототипу нескладно виготовити високоточну форму (наприклад, воскову) для безпосереднього виготовлення імплантата з біологічно неактивного матеріала.

Система операційного планування призначена для створення тривимірних комп'ютерних моделей черепа і черепного імплантата, що в значительній ступені полегчає і прискорює етап планування хірургічного втручання за рахунок наочності представлення даних і попереднього виготовлення імплантата. Початковими даними є рентгенографічні і томографічні знімки. Вихідні дані представлені в форматі .stl, найбільш прийнятним для подальшого виготовлення речовинної копії імплантата.

Програмне забезпечення, реалізуюче описані в [1 – 5] методи, дозволяє виконувати наступні функції:

- читати початкові дані (томографічні знімки або рентгенограми) в форматі .bmp;
- фільтрувати і сегментувати томограми або краніограми;
- визначати межі кістяних фрагментів на томограмах і формувати комп'ютерну модель черепа;
- отримувати усереднену модель черепа;
- обчислювати основні показники черепа на об'ємній моделі черепа пацієнта і на РГ-знімках для знаходження відповідної усередненої тривимірної моделі черепа;
- в інтерактивному режимі формувати комп'ютерну модель черепного імплантата по:
 - томографічним даним з урахуванням симетрії черепа людини або на основі усередненої моделі черепа;
 - рентгенографічним даним на основі відповідної усередненої моделі черепа;
 - визначати основні геометричні характеристики імплантатів;
 - дозволяє зберігати дані про моделі черепа і черепного імплантата в форматі .stl, який є загальноприйнятим для налаштування лазерної стереолітографії.

Обробка томограм і рентгенограм в розробленому програмному забезпеченні відбувається наступним чином. На початковому етапі обробки КТ-даних до початкового зображення (один КТ-знімок) застосовується медіанний фільтр з маскою 5×5 для згладжування імпульсного шуму. Далі побудована гистограма яскравості і її обробка дає т.н. «визначену граничну точку» (рис. 2).

Користувач має можливість змінити це значення і отримати т.н. «змінювану граничну точку». «Визначене» або «змінюване» значення граничної точки повинно бути збережено. Це виконується для економії часу і машинних ресурсів при подальшій обробці всього набору КТ-знімків (для отримання об'ємної моделі черепа) за рахунок заміни побудови гистограми яскравості і обчислення порога бінаризації збереженим значенням «граничної точки». Далі до зображення, обробленого медіанним фільтром, застосовується пороговий фільтр (згідно «визначеної граничної точки» або «змінюваної граничної точки»), а також морфологічний фільтр для виділення контура кістяних структур і видалення шумів і неінформативних об'єктів на зображенні. Заключальним етапом комплексної обробки є знаходження меж кістяних структур на обробленому КТ-знімку.

Після побудови об'ємної моделі черепа по КТ-даним створюються 6 середніх проєкцій цієї моделі: по дві проєкції на кожну площину для точної локалізації дефекта і визначення основних показників черепа. Далі необхідно виділити посттравматичний дефект черепа (ПТДЧ) на одній з проєкцій. Модель черепного імплантата будується відповідно координат точок на виділеній області і т.н. «точок різкого згинання контура» кістяних структур, які автоматично визначаються при комплексній обробці КТ-зображень при наявності ПТДЧ (рис. 3) або методом зворотного відображення області дефекта, або методом порівняння з усередненою моделлю. Далі необхідно зберегти отримані моделі черепа і черепного імплантата в форматі stl.

Послідовність дій при обробці РГ-знімків аналогічна обробці КТ-зображень. Основне відміння полягає в тому, що на етапі попередньої обробки використовується адаптивний медіанний фільтр і знаходження порога бінаризації необхідно проводити не для одного РГ-знімка, як для томограм, а для всіх. Заключальним етапом комплексної обробки рентгенограм є морфологічний фільтр, який усуває локальні шуми на зображенні.

Після обробки РГ-даних необхідно вказати орієнтацію ПТДЧ (в фронтальній площині – спереду або ззаду; в сагітальній площині – зліва або справа). Це необхідно для правильного визначення основних показників черепа, які є основним критерієм відповідності даного черепа одному з 5 основних типів черепів, пред-

ставленных усредненными моделями, а также для корректного получения самой модели имплантата. Затем происходит масштабирование усредненной модели черепа к рентгеновскому снимку. На нем

необходимо выделить область с ПТДЧ. Далее строится модель черепного имплантата как набор точек данной усредненной модели черепа, соответствующих выделенному фрагменту на РГ-снимке (рис. 4).

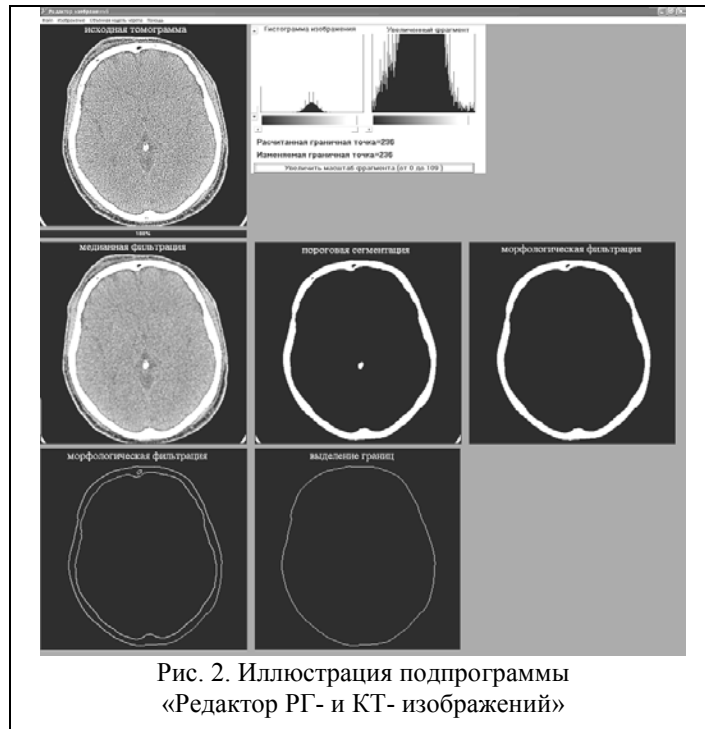


Рис. 2. Иллюстрация подпрограммы «Редактор РГ- и КТ- изображений»

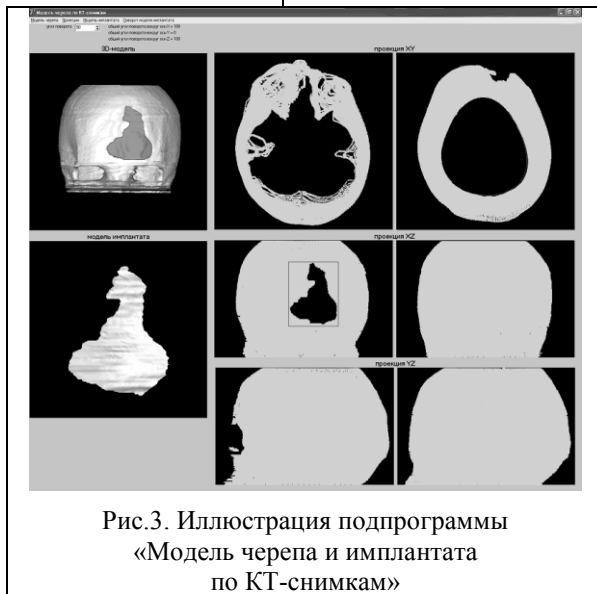


Рис.3. Иллюстрация подпрограммы «Модель черепа и имплантата по КТ-снимкам»

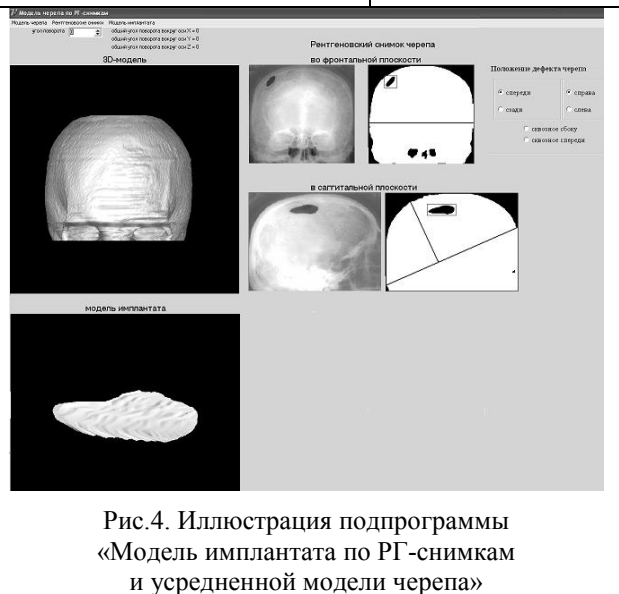


Рис.4. Иллюстрация подпрограммы «Модель имплантата по РГ-снимкам и усредненной модели черепа»

Затем полученную модель черепного имплантата необходимо сохранить в stl-формате.

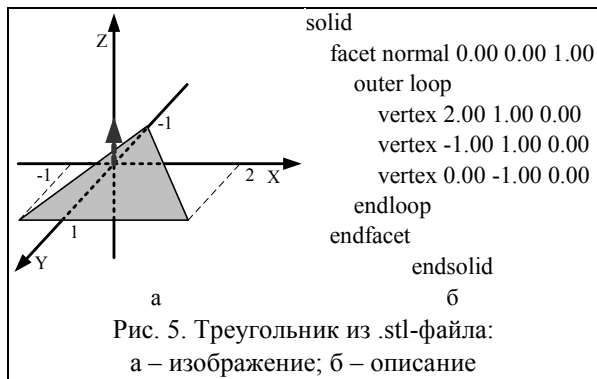
Вопрос изготовления вещественных копий имплантатов решается путем пересылки stl-файлов (через Интернет, почтовое отделение связи или каким-либо другим доступным способом) в любую организацию, занимающуюся непосредственным изготовлением твердых копий объектов с помощью СТЛ.

Система формирования вещественной копии имплантата. Возможность широкого варьирования механических и физико-химических свойств отвержденного материала путем изменения состава фотопо-

лимеризующейся композиции, а также высокая точность получения моделей трехмерных объектов любой сложности, делают процесс изготовления 3D-моделей по их компьютерным образам с помощью стереолитографической установки весьма привлекательным.

Наиболее распространенным входным форматом для большинства систем быстрого прототипирования является формат .stl. Информация об объекте включает список треугольных граней, которые описывают поверхность его твердотельной модели с заданной точностью, и может быть представлена в текстовом виде или в виде двоичного файла.

Текстовий файл повинен починатися ключевим словом `solid` і закінчуватися `endsolid`. Внутрі цих ключевих слів приводиться опис трикутника. Опис кожного трикутника включає опис одиничного вектора нормалі, направленої від його поверхності, за яким слідують список тривимірних координат всіх вершин. Всі координати представлені в декартовій системі координат і записані в вигляді чисел з плаваючою запятою. На рис.5 приведено зображення і приклад текстового опису одного трикутника з `.stl`-файла.



Медико-технічні вимоги до НХК

На основі аналізу використовуваних програмних і технічних засобів виявлені вимоги до нейрохірургічного комплексу.

Вимоги до вихідних даних для системи операційного планування. Основні параметри вихідних даних мають велике вплив на якість побудови моделей черепа і імплантата, побудованих як по томографічним, так і по рентгенографічним даним. До таких параметрів належать:

- кількість томографічних срезів, необхідне для коректної побудови моделей черепа (усередненої і з ПТДЧ). Кількість томографічних срезів суттєво впливає на якість моделей черепа (рис.6) і, відповідно, імплантатів, отриманих по КТ- і РГ-даним. Оптимальне число томограм (при побудові цілого черепа) становить 100 – 150 знімків. Максимальне число томограм – 300. Це обумовлено налаштуваннями розробленої програми. При побудові усередненої моделі черепа, всі її моделі черепів повинні мати однакове число срезів;

- товщина томографічних срезів також суттєво впливає на якість моделей черепа і імплантатів (рис. 6). Цей параметр важливий при виготовленні речовинних копій черепа і імплантатів на стереолітографічній установці. Оптимальна товщина становить 1 – 2 мм. При побудові усередненої моделі черепа, всі її моделі черепів повинні мати однакову товщину срезу;

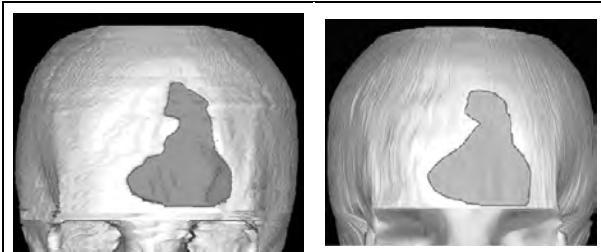


Рис. 6. Модель черепа:
а – побудована по 129 КТ-знімкам при товщині срезу 1 мм; б – побудована по 23 КТ-знімкам при товщині срезу 6 мм

- порядок обробки КТ-знімків з ПТДЧ. Желательно обробку знімків починати з знімків, відповідних темній частині черепа. Це вимога є не обов'язковою, але для зручності сприйняття результатів обробки краще її виконувати: в протилежному випадку модель черепа, його проекції і модель імплантата зображаються перевернутими;

- порядок обробки КТ-знімків для побудови усередненої моделі: обробка повинна проводитися тільки з знімків, відповідних темній частині черепа. Це обумовлено тим, що при накладенні обробленого РГ-знімка на відповідну усереднену модель черепа їх орієнтація повинна збігатися;

- відхилення орієнтації голови пацієнта від центральної осової лінії при КТ- і РГ-дослідженнях не повинно перевищувати 2 градуси;

- розмір РГ-знімка не повинен перевищувати 2000×2000 пікселів. Це обумовлено налаштуваннями програми;

- положення дефекта, заміняемого імплантатом, повинно бути одностороннім;

- розмір дефекта, який може бути замінений імплантатом, не повинен перевищувати 150 см².

Вимоги до програмно-апаратного забезпечення. Для роботи з розробленою програмою планування нейрохірургічних реконструктивних втручань достатньо IBM-сумісного комп'ютера, який має параметри не менше перелічених:

- процесор Pentium III;
- розмір ОЗУ 256 МБайт;
- розмір доступного дискового простору 200 Мбайт для збереження програми і 5 усереднених моделей, 40 Мбайт для кожної моделі черепа і черепного імплантата, побудованих по КТ-даним і 5 Мбайт для кожної моделі імплантата по РГ-даним;

- операційна система – Windows 2000, XP с Service Pack 2;

- графічний прискорювач, який підтримує апаратне прискорення функцій API OpenGL; швидкість прорисовки трикутників повинна бути не менше 2 млн/с.

Компьютерная томография или рентгенография, компьютерное моделирование и лазерная стереолитография были применены для изготовления имплантатов (рис. 7, а, б), предназначенных для устранения косметического дефекта черепа, полученного в результате ЧМТ. Изготовление имплантата производилось ЗАО «Конструкторско-технологическое бюро верификационного моделирования и подготовки производства» (Украина) на основании данных, представленных в формате .stl. Имплантат, изготовленный ручным методом, представлен на рис. 7, в. Черепной имплантат, изготовленный по данным спирального компьютерного томографа с помощью СТЛ (ООО «Мегамед» (Украина)) представлен на рис. 7, г.

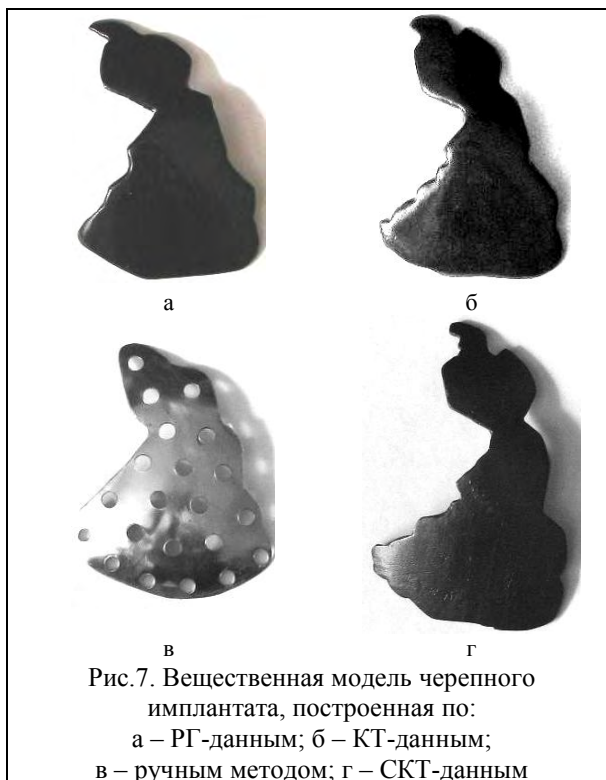


Рис.7. Вещественная модель черепного имплантата, построенная по:
а – РГ-данным; б – КТ-данным;
в – ручным методом; г – СКТ-данным

Выводы

Проблема устранения последствий ПТДЧ эффективно может быть решена только с использова-

нием комплексного подхода. В связи с этим авторами были решены следующие задачи:

1. Разработана структурная схема нейрохирургического комплекса для проведения реконструктивных вмешательств. Составной частью данного комплекса является система операционного планирования, в основе которой лежат методы построения черепа и черепных имплантатов по томографическим и рентгенографическим данным.

2. Разработаны медико-технические требования к нейрохирургическому комплексу. Практическая реализация разработанных методов предполагает выполнение большого числа операций над исходными данными, что в конечном итоге определяет время построения и отображения моделей черепа и имплантата. Выполнение совокупности медицинских требований позволяет избежать ошибок на этапах изготовления моделей черепа и имплантата и получить качественные модели.

Список литературы

1. Бых А.И. Возможности реконструкции черепных дефектов по данным краниографии / А.И. Бых, О.Г. Аврунин, Е.О. Шамраева // *Техническая электродинамика*. – 2008. – № 4. – С. 113-116.
2. Шамраева Е.О. Реконструкция объемных моделей черепа и имплантата по томографическим снимкам / Е.О. Шамраева, А.А. Шамраев, О.Г. Аврунин // *Системы обработки информации: сб. науч. пр.* – X.: ХУПС, 2007. – Вып. 9 (67). – С. 137-140.
3. Шамраева Е.О. Выбор метода сегментации костных структур на томографических изображениях / Е.О. Шамраева, О.Г. Аврунин // *Бионика интеллекта: информация, язык, интеллект*. – 2006. – № 2 (65). – С. 83-87.
4. Шамраева Е.О. Построение моделей черепных имплантов по рентгенографическим данным / Е.О. Шамраева, О.Г. Аврунин // *Прикладная радиоэлектроника*. – 2005. – Т. 4, № 4. – С. 441-443.
5. Шамраева Е.О. Сравнительный анализ методов построения черепных имплантатов в зависимости от типа исходных данных / Е.О. Шамраева // *Збірник наукових праць ХУПС*. – X., 2008. – Вып. 2 (17). – С. 154-156.

Поступила в редколлегию 9.12.2009

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.Г. Удовенко, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.

НЕЙРОХІРУРГІЧНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ УСУНЕННЯ ПОСТТРАВМАТИЧНИХ ДЕФЕКТІВ ЧЕРЕПУ

О.О. Шамраєва, А.А. Шамраєв

У роботі розроблено структурну схему нейрохірургічного комплексу, який призначено для одержання вихідних даних, їхньої обробки з метою одержання комп'ютерної моделі, і виготовлення речовинної копії черепного імплантату. Сформульовано медико-технічні вимоги до даного комплексу. Проілюстровано результати роботи нейрохірургічного комплексу на прикладі виготовлення речовинних копій черепних імплантів за томографічними і рентгенографічними даними.

Ключові слова: нейрохірургічний комплекс, томограми, рентгенограми, черепною імплантат.

NEURO-SURGICAL COMPLEX FOR REMOVAL OF CRANIAL DEFECTS

Е.О. Shamraeva, А.А. Shamraev

The flow diagram of neuro-surgical complex is developed. It intended for the input data obtaining, its treatment and making of implant material copy. The basic medical-technical specification are developed to this complex. The results job of neuro-surgical complex job are illustrated on the example of making of cranial implants material copies on tomography and X-ray data base.

Keywords: neuro-surgical complex, tomogram, sciagrams, cranial implant.