Обнинский институт атомной энергетики — филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

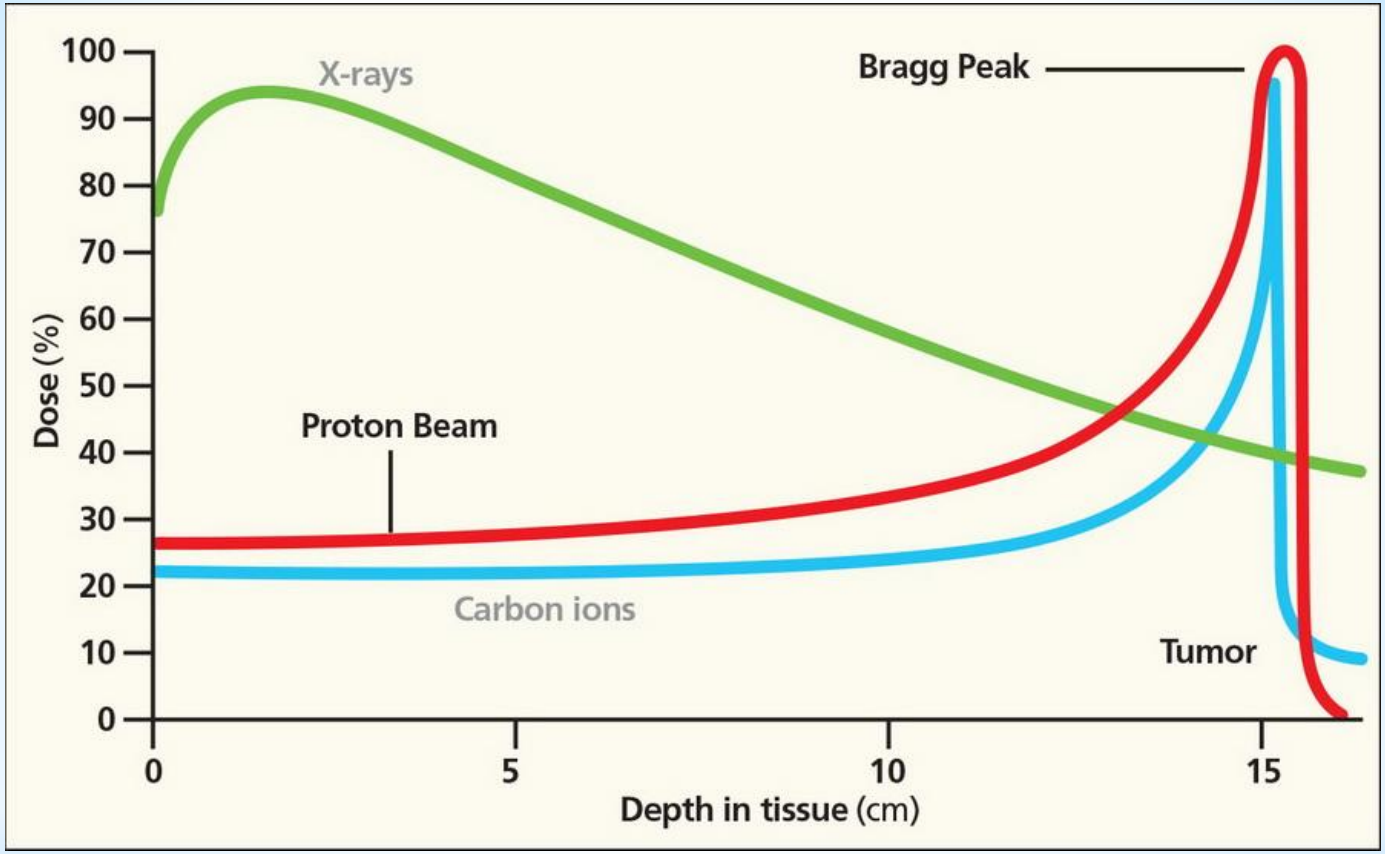
Медицинский радиологический научный центр им. А. Ф. Цыба – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России.

Применение аддитивных технологий для оценки средней поглощенной дозы в объеме.

Дюженко С.С., Голованова О.Ю., Сабуров В.О., Трошина М.В., Ульяненко С.Е.

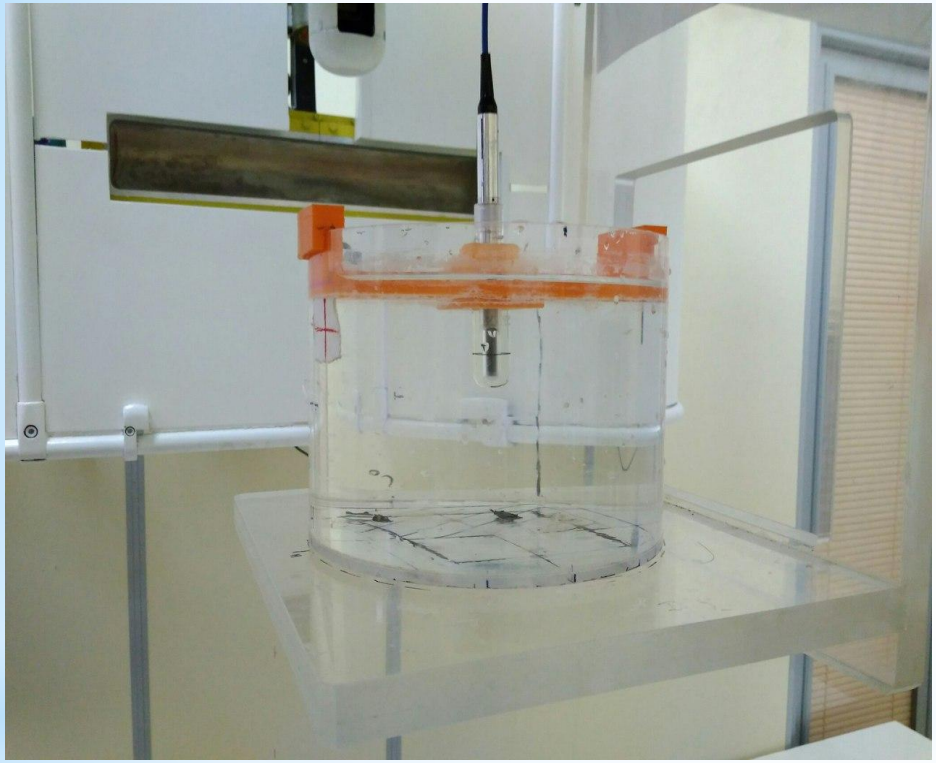
Обнинск 2017.

Терапия протонами и тяжелыми ионами



- Подведение максимальной дозы в объем мишени
- Минимальное воздействие на окружающие ткани и критические органы
- Высокая точность облучения мишени
- Облучение малых мишеней

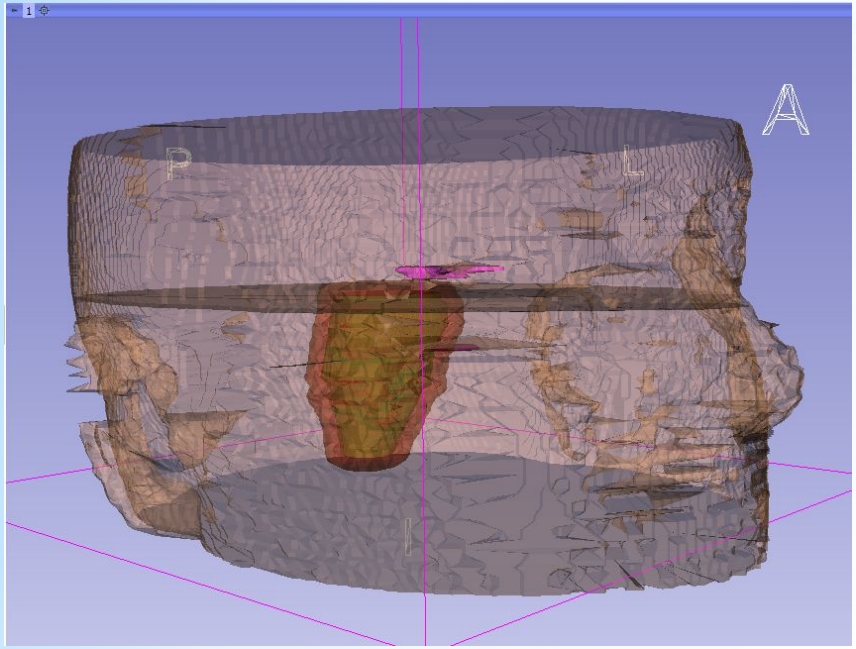
Оборудование для проведения дозиметрии

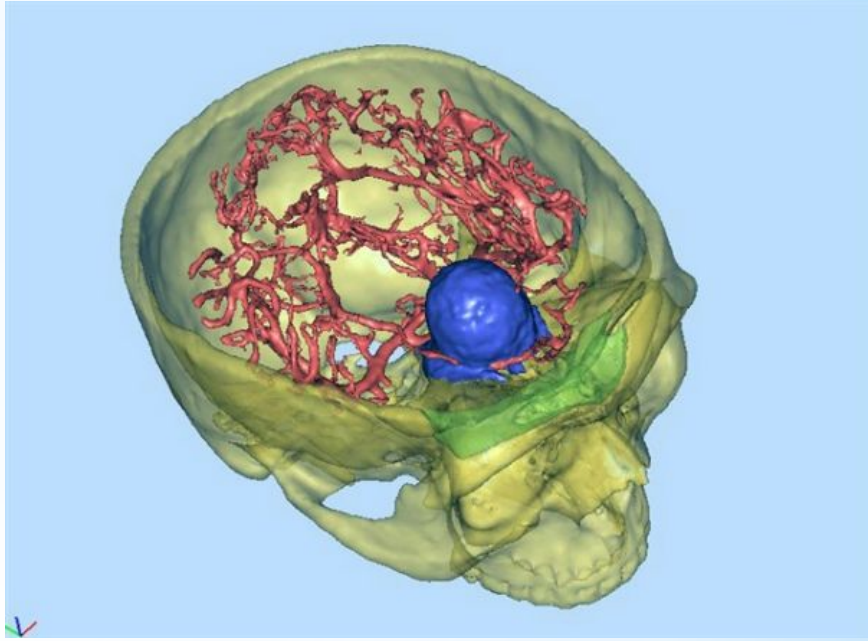


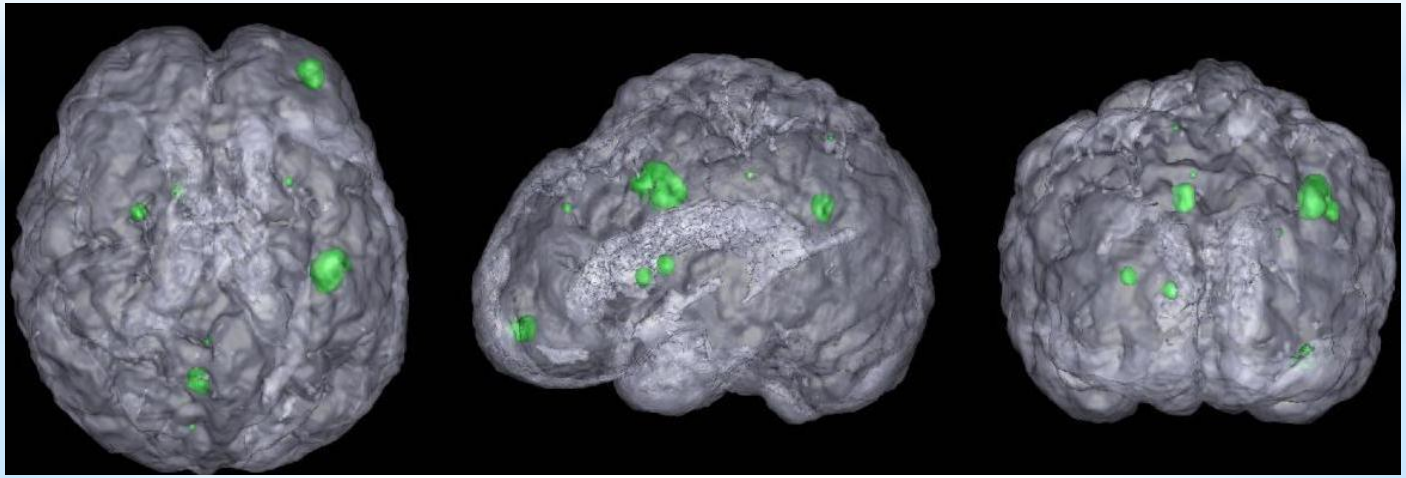
Ионизационная камера в водном фантоме

Антропоморфный фантом с радиохромными пленками

Различные геометрии мишеней для лучевой терапии







Методика определения средней поглощенной дозы в объёме

1. FDM технология 3D печати
2. Химическая дозиметрия

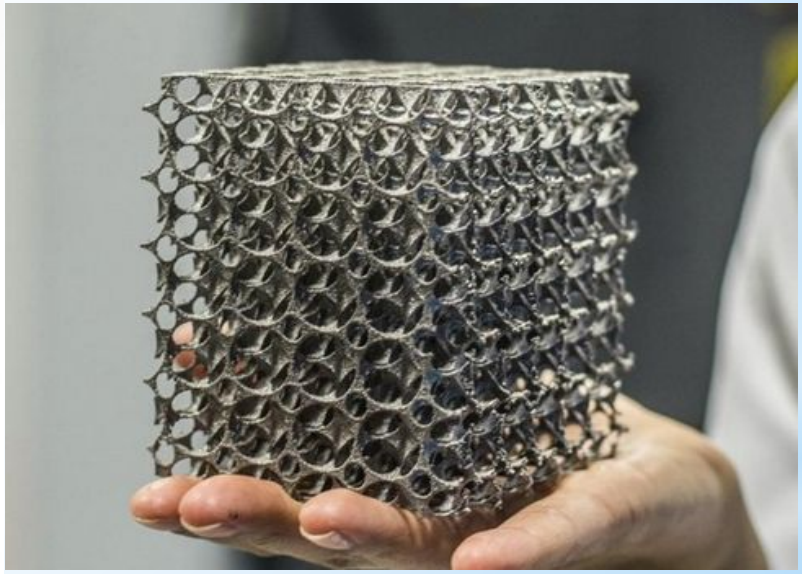
FDM технология 3D печати

Технология печати

FDM подразумевает создание трехмерных объектов за счет нанесения последовательных слоев материала, повторяющих контуры цифровой модели.

В качестве материалов для печати выступают термопластики в виде катушек нитей или прутков.

- Широкий спектр материалов для печати
- Низкая токсичность
- Низкая стоимость
- Возможность печати сложной геометрии

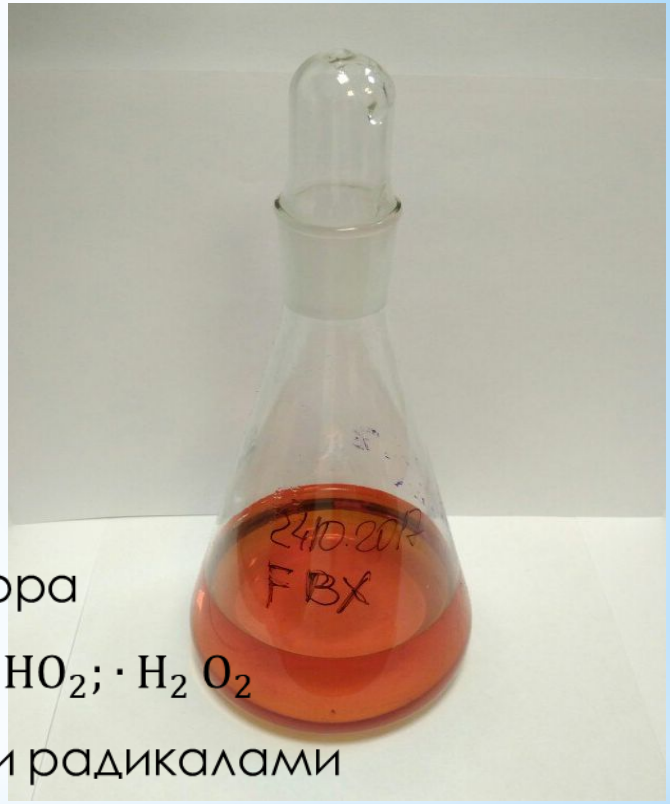


3D принтер Total Z Anyform 250-G3

Ферросульфатный дозиметр Фрикке (FBX)

$$D = 9.65 \cdot 10^6 \frac{M}{\rho \cdot G}$$

M - молярная концентрация ионов железа
G - Радиационно-химический выход

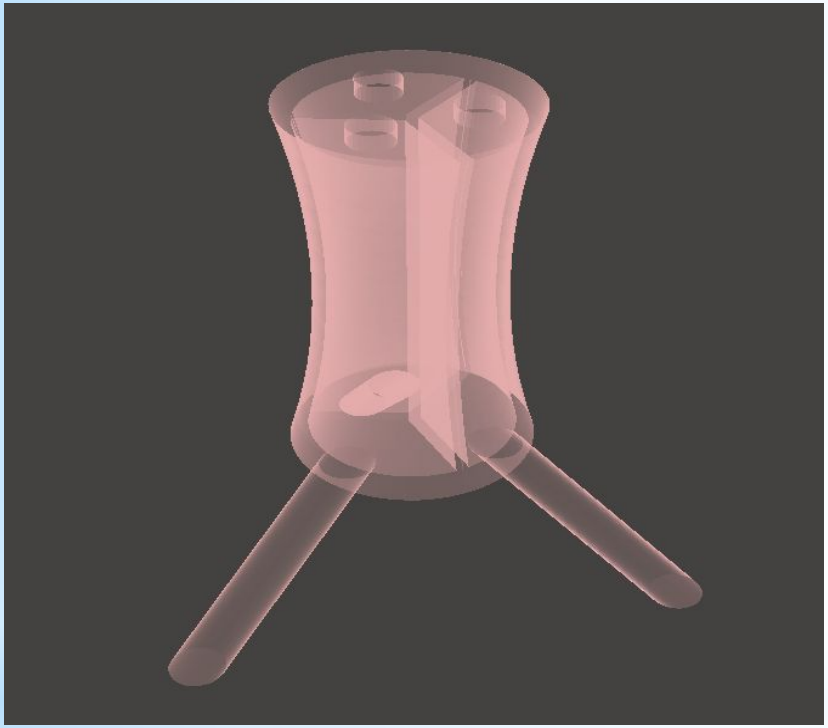


1. Возбуждение и ионизация молекул раствора
2. Образование свободных радикалов $\cdot OH$; $\cdot HO_2$; $\cdot H_2O_2$
3. Взаимодействие ионов Fe^{2+} с свободными радикалами
4. Образование ионов Fe^{3+} и изменение цвета раствора
5. Измерение оптической плотности раствора на спектрофотометре
6. Вычисление поглощенной дозы, пропорциональной молярной концентрации ионов железа 3+

Протонный комплекс «Прометеус» (ЗАО «Протом»)

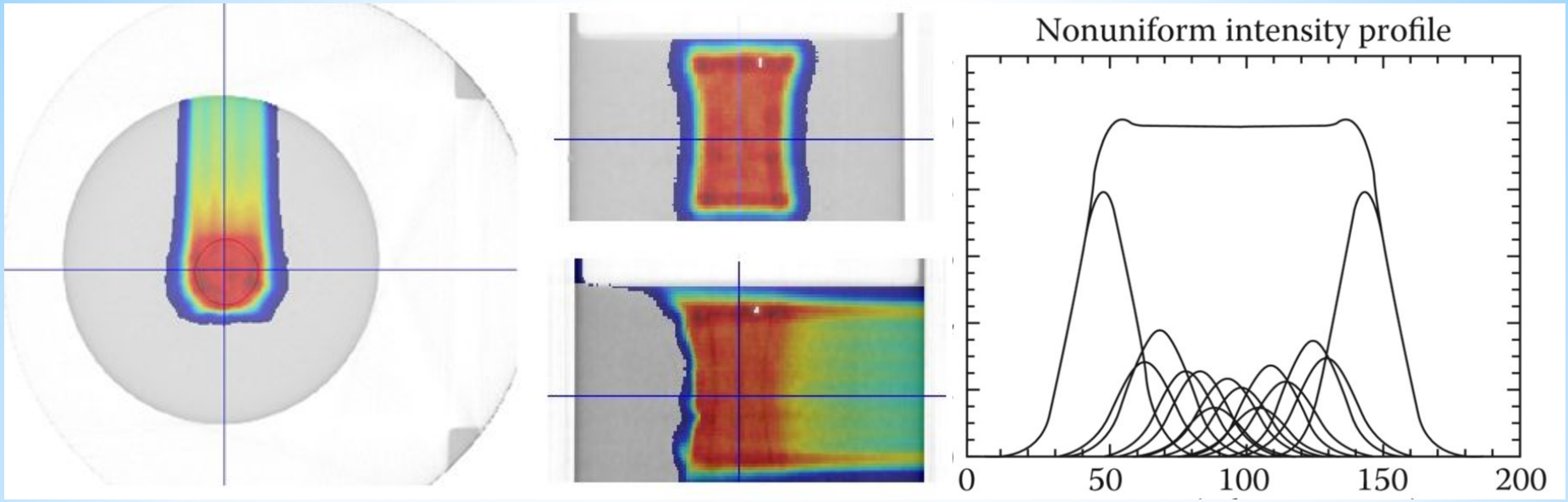
- Энергия пучка 30-330 МэВ
- Относительная погрешность энергии $\pm 0.15\%$
- Интенсивность пучка $1 \cdot 10^9\ \text{с}^{-1}$
- Сканирующая система вывода пучка
- Возможность использования дозиметра Фрикке

Тестирование метода дозиметрии на моделях сложной геометрии

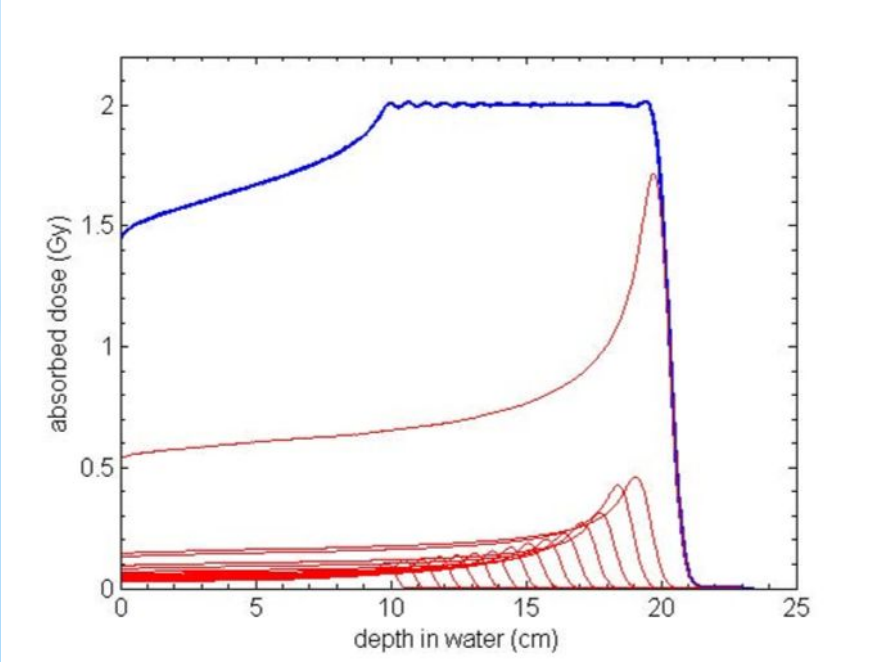


Компьютерная модель мишени

Распечатанная и подготовленная модель



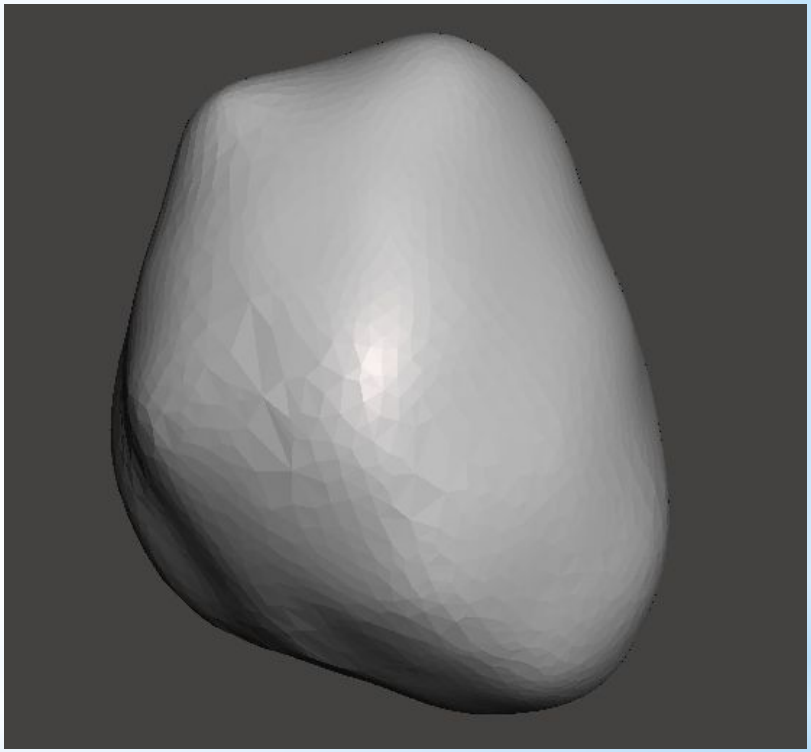
План облучения мишени



Мишень в водном фантоме

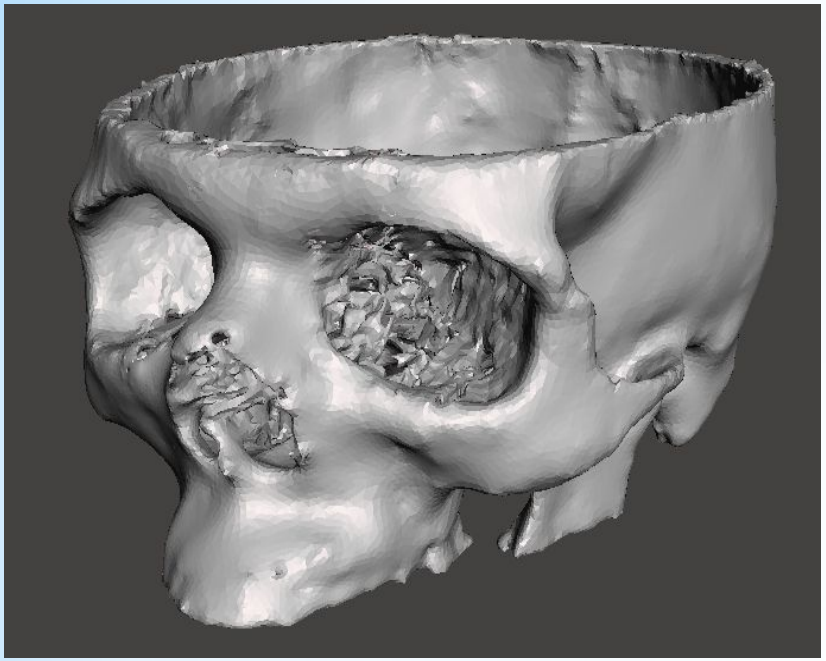
Модель PTV\GTV для определения дозовых распределений в терапевтических объемах

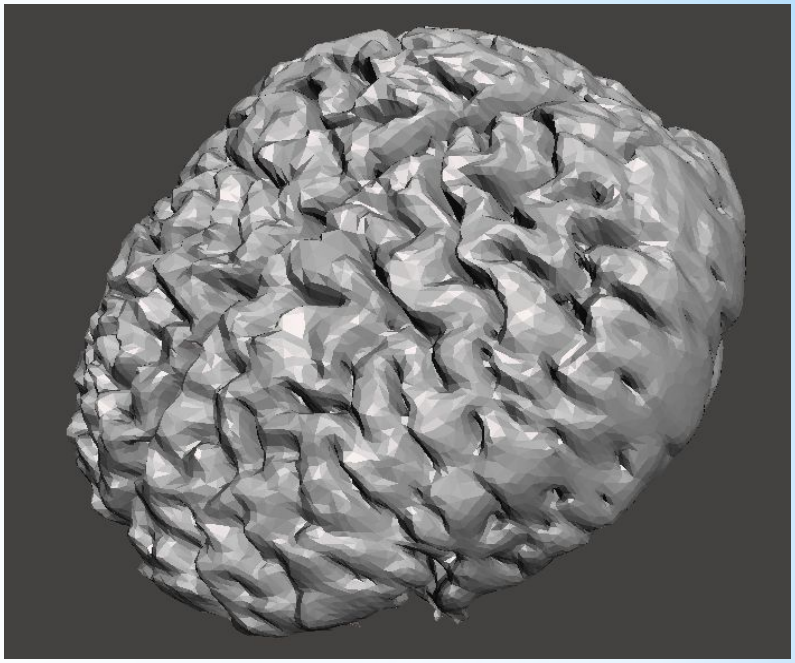
Оконтуренные PTV и GTV на снимке компьютерной томографии.



Модель GTV пациента

Модели анатомических структур





Модели воспроизводят анатомические структуры пациентов, проходящих курс протонной лучевой терапии.
Все модели созданы по снимкам, МРТ и КТ томографий, используемым при диагностики и планирование курса лечения онкологических заболеваний.

Результаты

- Подобран химически нейтральный материал, используемый в 3D печати и не вступающий в реакцию ни с одним из компонентов FBX дозиметра
- Изготовление герметичных мишеней сложной геометрии для размещения дозиметра FBX
- Проведено измерение средней поглощенной дозы в объеме для мишеней различной формы
- Полученные результаты подтверждают возможность применения представленной технологии для дозиметрии протонных пучков

Возможное применение FDM технологии в лучевой терапии и радиобиологических исследованиях

- Создание персонифицированных фантомов
- Создание оснасток для клеточных культур в радиобиологических исследованиях
- Разработка методик для подготовки медицинских физиков
- Создание иммобилизующих устройств

Спасибо за внимание!

s.dujenko@gmail.com