

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа Инженерная школа ядерных технологий
Направление подготовки Ядерная физика и технологии
Отделение школы (НОЦ) Отделение ядерно-топливного цикла

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

| Тема работы |
|---|
| Трехмерная дозиметрическая оценка сочетанного курса лучевой терапии рака шейки матки |

УДК 539.16.08:615.84.618.14-006.3

Студент

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|----------------|---------|------|
| 0АМ6М | Модебадзе Г.С. | | |

Руководитель

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|--------------------------------------|------------|---------------------------|---------|------|
| Начальник отдела ОМФ ОГАУЗ «ТООД» | Сухих Е.С. | к.ф.-м.н. | | |

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|---------------------|-----------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент ОСГН ШБИП | Верховская М.В. | к.э.н. | | |

По разделу «Социальная ответственность»

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|----------------|---------------|---------------------------|---------|------|
| Ассистент ИШЯТ | Гоголева Т.С. | к.ф.-м.н. | | |

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

| Руководитель ООП | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------------|-------------------|---------------------------|---------|------|
| Ядерная медицина | Черепенников Ю.М. | к.т.н | | |

Томск – 2018г.

Планируемые результаты обучения

| Код результата | Результат обучения |
|--|--|
| <i>Профессиональные компетенции</i> | |
| P1 | Применять глубокие, математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания для теоретических и экспериментальных исследований в области использования ядерной энергии, ядерных материалов, систем учета, контроля и физической защиты ядерных материалов, технологий радиационной безопасности, медицинской физики и ядерной медицины, изотопных технологий и материалов в профессиональной деятельности. |
| P2 | Ставить и решать инновационные инженерно-физические задачи, реализовывать проекты в области использования ядерной энергии, ядерных материалов, систем учета, контроля и физической защиты ядерных материалов, технологий радиационной безопасности, медицинской физики и ядерной медицины, изотопных технологий и материалов. |
| P3 | Создавать теоретические, физические и математические модели, описывающие конденсированное состояние вещества, распространение и взаимодействие ионизирующих излучений с веществом и живой материей, физику кинетических явлений, процессы в реакторах, ускорителях, процессы и механизмы переноса радиоактивности в окружающей среде. |
| P4 | Разрабатывать новые алгоритмы и методы: расчета современных физических установок и устройств; исследования изотопных технологий и материалов; измерения характеристик полей ионизирующих излучений; оценки количественных характеристик ядерных материалов; измерения радиоактивности объектов окружающей среды; исследований в радиоэкологии, медицинской физике и ядерной медицине. |
| P5 | Оценивать перспективы развития ядерной отрасли, медицины, анализировать радиационные риски и сценарии потенциально возможных аварий, разрабатывать меры по снижению рисков и обеспечению ядерной и радиационной безопасности руководствуясь законами и нормативными документами, составлять экспертное заключение. |
| P6 | Проектировать и организовывать инновационный бизнес, разрабатывать и внедрять новые виды продукции и технологий, формировать эффективную стратегию и активную политику риск-менеджмента на предприятии, применять методы оценки качества и результативности труда персонала, применять знание основных положений патентного законодательства и авторского права Российской Федерации. |
| <i>Общекультурные компетенции</i> | |
| P7 | Демонстрировать глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов инновационной профессиональной деятельности. |
| P8 | Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности. |
| P9 | Активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности. |
| P10 | Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации. |

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа Инженерная школа ядерных технологий
Направление подготовки (специальность) Ядерные физика и технологии
Отделение школы (НОЦ) Отделение ядерно-топливного цикла

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

| Группа | ФИО |
|--------|----------------------------|
| 0АМ6М | Модебадзе Георгий Славович |

Тема работы:

| |
|---|
| |
| Утверждена приказом директора (дата, номер) |

| | |
|--|-----------|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: | 1.06.2018 |
|--|-----------|

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

| | |
|---|---|
| Исходные данные к работе | Результатом работы будет дозиметрический анализ сочетанного курса лучевой терапии рака шейки матки, при использовании системы планирования ХЮ, для дистанционной лучевой терапии, и системы планирования HDRPlus, для контактной (внутриполостной) брахитерапии. |
| Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов | Обзор и анализ литературы по данной проблематике; создание дозиметрических планов для локализаций шейки матки, расчет дозовой нагрузки на критические органы и зоны облучения; анализ полученных данных; формирование выводов. |

| Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы | |
|--|--------------------|
| Раздел | Консультант |
| Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение | Верховская М. В. |
| Социальная ответственность | Гоголева Т.С. |
| Иностранный язык | Карбышева О.П. |
| | |
| Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках: | |
| <p>Сочетанный курс лучевой терапии;</p> <p>Анатомия шейки матки;</p> <p>Диагностические мероприятия, необходимые для оценки степени распространенности опухоли и определения объемов мишени;</p> <p>Топометрия;</p> <p>Симуляция;</p> | |
| <p>Линейный ускоритель Elekta Synergy;</p> <p>Аппарат для контактной терапии Multisource HDR;</p> | |
| <p>Описание планирующей системы XIO;</p> <p>Описание планирующей системы HDRPlus;</p> | |

| | |
|---|--|
| Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику | |
|---|--|

Задание выдал руководитель:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|--------------------------------------|------------|-------------------------------|----------------|-------------|
| Начальник отдела ОМФ ОГАУЗ «ГООД» | Сухих Е.С. | К.ф.-м.н. | | |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|---------------|----------------------------|----------------|-------------|
| 0АМ6М | Модебадзе Георгий Славович | | |

Министерство образования и науки Российской Федерации
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа Инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки (специальность) Ядерные физика и технологии
 Уровень образования Магистр
 Отделение школы (НОЦ) Отделение ядерно-топливного цикла
 Период выполнения (весенний семестр 2018 учебного года)

Форма представления работы:

| |
|--------------------------|
| Магистерская диссертация |
|--------------------------|

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
 выполнения выпускной квалификационной работы**

| | |
|--|-----------|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: | 1.06.2018 |
|--|-----------|

| Дата контроля | Название раздела (модуля) / вид работы (исследования) | Максимальный балл раздела (модуля) |
|---------------|---|------------------------------------|
| 14.02.2018 | Анализ и изучение технической литературы | |
| 01.03.2018 | Изучение оборудования | |
| 10.04.2018 | Изучение методики совмещения планов для лучевой и брахи-терапии | |
| 16.04.2018 | Анализ и обработка полученных данных | |
| 05.05.2018 | Сравнение полученных данных | |
| 11.04.2018 | Оформление выполненной работы | |
| 25.05.2018 | Подготовка к защите диссертационной работы | |

Составил преподаватель:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|--------------------------------------|------------|------------------------|---------|------|
| Начальник отдела ОМФ ОГАУЗ «ТООД» | Сухих Е.С. | К.ф.-м.н. | | |

СОГЛАСОВАНО:

| Руководитель ООП | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------------|-------------------|------------------------|---------|------|
| Ядерная медицина | Черепенников Ю.М. | К.Т.Н | | |

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

| | |
|---------------|--------------------------------|
| Группа | ФИО |
| 0АМ6М | Модебадзе Георгию Славовичу |

| | | | |
|----------------------------|--|----------------------------------|--------------------------------------|
| Школа | Инженерная школа ядерных технологий | Отделение школы (НОЦ) | Отделение ядерно-топливного цикла |
| Уровень образования | Магистратура | Направление/специальность | 14.04.02 Ядерные физика и технологии |

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

| | |
|---|--|
| 1. <i>Описание рабочего места (рабочей зоны) на предмет возникновения:</i> | <ul style="list-style-type: none"> – вредных проявлений факторов производственной среды – (вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения); – опасных проявлений факторов производственной среды (электрической, пожарной природы); |
| 2. <i>Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме</i> | <ul style="list-style-type: none"> – требования охраны труда при работе на ПЭВМ; – электробезопасность; – пожаровзрывобезопасность; |

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

| | |
|---|---|
| 1. <i>Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</i> | <ul style="list-style-type: none"> – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (коллективные и индивидуальные). |
| 2. <i>Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности</i> | <ul style="list-style-type: none"> – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения). |

| | |
|---|--|
| Дата выдачи задания для раздела по линейному графику | |
|---|--|

Задание выдал консультант:

| | | | | |
|------------------|---------------|-------------------------------|----------------|-------------|
| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
| Ассистент ИШЯТ | Гоголева Т.С. | к.ф.-м.н. | | |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|-------------------------------|---------|------|
| 0АМ6М | Модебадзе Георгий Славович | | |

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

| | |
|---------------|--------------------------------|
| Группа | ФИО |
| 0АМ6М | Модебадзе Георгию Славовичу |

| | | | |
|----------------------------|--|----------------------------------|--------------------------------------|
| Школа | Инженерная школа ядерных технологий | Отделение школы (НОЦ) | Отделение ядерно-топливного цикла |
| Уровень образования | Магистратура | Направление/специальность | 14.04.02 Ядерные физика и технологии |

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

| | |
|---|---|
| 1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i> | Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах |
| 2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i> | |
| 3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i> | |

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

| | |
|---|---|
| 1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i> | Оценочная карта конкурентных технических решений |
| 2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований:</i> | Иерархическая структура работ Календарный план-график реализации проекта |
| 3. <i>Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности научного исследования</i> | Определение ресурсоэффективности проекта |

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

| |
|---|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Оценочная карта конкурентных технических решений</i> 2. <i>Иерархическая структура работ</i> 3. <i>Организационная структура проекта</i> 4. <i>Календарный план проекта</i> 5. <i>Бюджет проекта</i> 6. <i>Матрица ответственности</i> 7. <i>Определение ресурсоэффективности проекта</i> |
|---|

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

| | | | | |
|------------------|-----------------|-------------------------------|----------------|-------------|
| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
| Доцент ОСГН ШБИП | Верховская М.В. | к.ЭКОН.Н. | | |

Задание принял к исполнению студент:

| | | | |
|---------------|-------------------------------|----------------|-------------|
| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
| 0АМ6М | Модебадзе Георгий Славович | | |

Реферат

Выпускная квалификационная работа 100 с., 19 рис., 29 табл., 10 источников, 1 прил.

Ключевые слова: линейный ускоритель, трехмерная дозиметрическая оценка, сочетанный курс терапии, рак шейки матки.

Объектом исследования является сочетанный курс лучевой терапии рака шейки матки.

Цель работы – провести трехмерную дозиметрическую оценку сочетанного курса лучевой терапии рака шейки матки и сравнить полученные результаты с зарубежными протоколами.

В процессе исследования проводились: изучение технической литературы, создание дозиметрических планов сочетанного курса лучевой терапии, расчет изоэффективных и биологически эффективных доз для каждого пациента, сравнение и анализ результатов.

В результате исследования была проведена трехмерная дозиметрическая оценка сочетанного курса лучевой терапии рака шейки матки, освоена методика по переносу дозиметрической информации из системы планирования ХЮ в систему HDRPlus, приобретен опыт оконтуривания критических органов и объемов облучения, проведен анализ и сравнение полученных данных с данными зарубежных протоколов.

Область применения: в медицине в радиологическом отделении при создании планов сочетанного курса лучевой терапии рака шейки матки.

Экономическая эффективность/значимость работы заключается в возможности более эффективного лечения рака шейки матки, а, следовательно, увеличении потока пациентов.

Магистерская диссертация выполнена с помощью текстового редактора Microsoft Office Word 2016.

Оглавление

| | |
|--|----|
| Введение..... | 11 |
| 1 Этапы развития лучевой терапии..... | 12 |
| 2 Сочетанный курс лучевой терапии..... | 15 |
| 3 Анатомия шейки матки. Типичные пути распространения опухоли..... | 15 |
| 3.1 Диагностические мероприятия, необходимые для оценки степени распространённости опухоли и определения объёмов мишени..... | 16 |
| 4 Топометрия..... | 17 |
| 5 Симуляция..... | 19 |
| 6 Трёхмерная дозиметрическая оценка для сочетанного курса ЛТ..... | 20 |
| 6.1 Предписание доз..... | 21 |
| 6.2 Возможности и ограничения применения гистограмм доза–объём..... | 22 |
| 6.3 Определение параметров гистограмм доза–объём..... | 23 |
| 7 Линейный ускоритель Elekta Synergy..... | 24 |
| 8 Гамма-аппарат MultiSource HDR..... | 25 |
| 8.1 Виды аппликаторов и их установка в полости..... | 26 |
| 9 Описание системы планирования XiO..... | 29 |
| 10 Система планирования HDRplus..... | 31 |
| 10.1 Принцип работы HDRplus..... | 33 |
| 11 Практическая часть..... | 35 |
| 11.1 Этапы создания планов..... | 36 |
| 11.2 Полученные данные и их анализ..... | 42 |
| 11.3 Расчет изоэффективных и биологических доз..... | 46 |
| 11.4 Сравнение результатов..... | 48 |
| 12 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение..... | 49 |
| 13 Социальная ответственность..... | 71 |
| 14 Заключение..... | 83 |
| 15 Список публикаций студента..... | 84 |
| 16 Список литературы..... | 85 |
| Приложение А..... | 86 |

Введение

Рак шейки матки (РШМ) остаётся одной из основных причин женской смертности по всему миру. Согласно данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), ежегодно регистрируют около 500 000 больных РШМ, что составляет 5% всех онкологических заболеваний, и приблизительно 200 000 женщин погибают с этим диагнозом.

Лучевая терапия считается эффективным методом лечения больных, местно-распространенным РШМ и применяется в большинстве случаев в качестве самостоятельного метода лечения опухоли данной локализации. [1]

Современная радиационная онкология направлена на разработку и совершенствование различных способов повышения эффективности лечения онкологических больных. За последние десятилетия произошло значительное совершенствование методов наружного и внутреннего облучения. Современные успехи лучевой терапии РШМ во многом обусловлены также большими достижениями клинической радиобиологии, клинической дозиметрии, высоким научно-техническим уровнем топометрической подготовки и воспроизведения результатов лечения. Вместе с тем несмотря на значительные успехи в лечении больных РШМ, достигнутые за последние 25-30 лет, результаты все еще не могут считаться удовлетворительными.

Одним из направлений научно-практической деятельности радиационный онкологов является повышение эффективности лечения больных РШМ путем разработки и совершенствования методов сочетанной лучевой терапии. После начала применения методик сочетанной лучевой терапии, 5-ти летняя выживаемость начала возрастать. Сочетанная лучевая терапия служит ведущим компонентом мультимодальной(сочетанной) терапии РШМ, которая состоит из сочетания дистанционной лучевой терапии и внутрисполостной брахитерапии. В качестве самостоятельного метода или как компонент комбинированного лечения лучевую терапию используют более чем у 90% больных РШМ. Для данной методики необходимо проводить оценку распределения дозы в 3D,

оценивать лучевые нагрузки на критические органы, но с другой стороны существует положительный эффект – увеличение дозы на мишень, из чего следует повышение эффективности ЛТ без превышения нагрузок на критические органы.

1 Этапы развития лучевой терапии

Сегодня практически всем пациентам с онкологическими заболеваниями показана лучевая терапия. Данный вид лечения прочно зарекомендовал себя как мощнейший и действенный метод борьбы со злокачественными новообразованиями. Сейчас для реализации радиотерапии применяют самые современные технологии, уникальные достижения в области компьютерной техники и электроники. Применение таких усовершенствованных методов позволяет подводить максимальные дозы точно в опухоль и не травмировать здоровые ткани. Однако, история лучевой терапии начиналась совсем не с медицины, а с физики. А именно с трех открытий, сделанных известными учеными практически одновременно:

В 1895г. — В.К. Рентген открыл рентгеновское излучение.

1896г. — А. Беккерель открыл явление естественной радиоактивности.

1898г. — Э. Резерфорд открыл составляющие в излучении урана и назвал их первыми буквами греческого алфавита альфа-, бета-, и гамма-излучение.

1898г. — супруги Пьер Кюри и Мария Складовская открыли радиоактивные свойства полония и радия.

Спустя некоторое время ученые, работавшие с излучением, обратили внимание на полученные ожоги. Хорошо известен случай, когда А. Беккерель демонстрировал свойства радия на одной из конференций и положил пробирку с образцом в карман жилета. Спустя несколько дней на коже в области кармана появились сильные ожоги и язвы.

Это натолкнуло ученых на мысль об использовании излучения для лечения больных раком.

29 января 1896 г. — Доктор Дж. Джиллман (Чикаго) впервые облучил больную раком молочной железы рентгеновским излучением. Это был первый опыт применения ионизирующего излучения в медицине и начало развития дистанционной лучевой терапии.

1908г. — впервые применяется методика внутрисполостного облучения с применением радия для лечения рака матки.

Таким образом уже в начале XX века во всех развитых странах лучевая терапия стала распространенным методом лечения онкологических больных.

Ученые бурно исследовали действие различных видов излучения на ткани и уже к середине XX века в медицинской практике применялось свыше 200 различных источников излучения различных форм и конфигураций. А вместе с этим появились целые отдельные направления — радиобиология и дозиметрия.

В 1960г. XI генеральная Конференция по мерам и весам приняла стандарт «Международную систему единиц (СИ)». И уже в 1975 году универсальной единицей измерения поглощенной дозы ионизирующего излучения была утверждена единица Грей (Гр, Gray, Gy).

Первыми рентгенотерапевтические аппараты были сконструированы на основе рентгенодиагностических установок. Но со временем появилась необходимость в больших энергиях излучения. И уже в 1932 году американские физики М.С. Ливингстон и Э.О. Лоуренс изобрели первый ускоритель тяжелых заряженных частиц (протоны, ионы) — циклотрон.

А в 1940 г. американский ученый Р.С. Стоун сконструировал первый ускоритель электронов — бетатрон.

Эти изобретения стали своего рода «революцией» в лучевой терапии и открыли совершенно новые возможности для ее реализации сегодня.

Со временем различные методики облучения претерпевали изменения. Так, до 1951 года для дистанционного облучения открытым источником осуществлялось с использованием радия. Но у этого препарата были существенные недостатки: высокая цена и низкая активность. И в середине 50-х

годов ученым удалось изготовить высокоактивный источник $Co\ 60$, который успешно применяется в различных гамма-терапевтических аппаратах и по сей день.

Последующие изменения методик лучевой терапии были связаны преимущественно с усовершенствованием возможностей оборудования.

У медицинских ускорителей и гамма-терапевтических аппаратов появилась возможность облучения с различных направлений посредством или посредством ротационного облучения. Это вывело лучевую терапию на совершенно новый уровень. И сегодня дистанционная лучевая терапия обладает рядом уникальных возможностей:

- конформное облучение (поле облучения имеет сложную форму и повторяет контуры опухоли)
- облучение с модуляцией интенсивности (IMRT)
- облучение, корректируемое по изображению (IGRT)

Нельзя, так же, не отметить изобретения изобретения, ставшие родоначальниками метода радиохирургии.

В 1951 шведский нейрохирург Л. Лекселл предложил идею гамматерапевтической установки «Гамма-нож» не с одним, а с множеством источников $Co60$, которая сегодня является «золотым стандартом» радиохирургии.

А в 1992 году профессор Стенфордского Университета разработал систему «Кибер-нож» — уникальный линейный ускоритель, имеющий 6 степеней свободы и более 1200 различных возможных позиций.

Одним из последних достижений в области лучевой терапии можно назвать Томотерапию. Данная система визуально напоминает компьютерный томограф с системой гантри и подвижного стола. Данная система совмещает в себе последние достижения, такие как модуляцию пучка ионизирующего излучения интенсивности и возможность коррекции по изображению. [2]

2 Сочетанный курс лучевой терапии

Сочетанное лечение – сочетание двух принципиально идентичных, но разных по механизму действия и применению методов (дистанционной лучевой терапии и брахитерапии);

Для лечения больных ряда локализаций сочетанная лучевая терапия с применением внутрисполостного и дистанционного облучения может рассматриваться как альтернатива хирургическому лечению при локализованном опухолевом процессе в случае нерациональности хирургического вмешательства или отказу пациента от него.

Оценивая терапевтическую эффективность сочетанного курса лучевой терапии рака шейки матки можно отметить, что данный метод лечения удовлетворительно переносится больными при отсутствии выраженных лучевых реакций и осложнений.

3 Анатомия шейки матки. Типичные пути распространения опухоли

Шейка матки представляет собой нижнюю часть матки, выступающую в полость влагалища в верхней трети (эктоцервикс); она покрыта плоским эпителием. Имеет коническую форму и средний размер 3х3 см. Внутренняя часть шейки (эндоцервикс) представлена эндоцервикальным каналом, выстланным цилиндрическим эпителием, переходящим в эндометриальный канал. Участок, где встречаются два вышеупомянутых типа эпителия, принято обозначать как плоско-цилиндрическое соединение. Большинство злокачественных опухолей шейки матки развиваются именно в этой зоне, прорастая в подлежащую строму. Шейка прикреплена к боковой стенке таза парой кардинальных связок у основания широкой связки матки, содержащей маточные сосуды, располагающиеся в непосредственной близости от шейки.

Лимфоотток от шейки матки происходит в парацервикальные лимфоузлы, которые дренируются запирательными, внутренними и наружными

подвздошным лимфоузлами и затем – общими подвздошными и парааортальными группами.

Опухоли шейки матки могут иметь экзофитный или эндофитный характер роста с непосредственным распространением на дно матки, вагинальные своды, параметральную клетчатку, стенки таза, прямую кишку, влагалище, мочевого пузыря.

Распространение по лимфоузлам обычно последовательно, через тазовые лимфоузлы в парааортальные. Риск поражения последних варьирует в зависимости от стадии и размеров первичной опухоли. У больных с вовлеченным дистальным участком вагины есть высокий риск поражения паховых лимфоузлов. Наиболее часто поражаемые органы в результате гематогенного метастазирования — лёгкие, средостение, надключичная ямка, кости и печень.

3.1 Диагностические мероприятия, необходимые для оценки степени распространенности опухоли и определения объёмов мишени

-Тщательное физикальное обследование (осмотр в зеркалах, бимануальное исследование, ректовагинальное исследование) с оценкой состояния сводов влагалища, ректовагинального пространства, параметриев, стенок таза, паховых и надключичных лимфоузлов.

-Цистоскопия и ректосигмоидоскопия для исключения прорастания в полые органы.

-МРТ органов малого таза с внутривенным контрастированием позволяет определить степень инвазии опухоли в окружающие ткани и в этом плане более информативна, нежели КТ, для определения контуров опухоли.

-КТ с контрастированием или – особенно - ПЭТ рекомендовано для определения состояния дренирующих лимфоузлов.

4 Топометрия

Топометрия - раздел диагностики, посвященный методам измерения и масштабного графического отображения индивидуальных топографо-анатомических соотношений, в т.ч. с учетом патологических изменений органов и тканей. [3]

На начальном этапе предлучевой подготовки проводится полное клиническое обследование пациента, в ходе которого определяются локализация, степень распространенности, стадия и морфологический тип опухоли. После чего лучевой терапевт выбирает методику лечения, исходя из данных полного клинического обследования и существующих стандартов, и протоколов, а затем записывает на первичную симуляцию.

Первичная симуляция осуществляется лучевым терапевтом, рентгенологом и медицинским физиком. [7]

Изготовление фиксирующих устройств осуществляет рентгенлаборант (технолог), работающий на симуляторе. Лучевой терапевт заполняет карту подготовки к лучевой терапии. В нее вносится информация о пациенте, вид используемых фиксирующих приспособлений, данные об укладке пациента, толщина среза определяется для объема сканирования и локализации опухоли. Лучевой терапевт осуществляет необходимую укладку пациента на столе симулятора. Важнейшим при этом является выбор вспомогательных приспособлений для иммобилизации (подголовников, подушек, валиков), применение индивидуальных фиксирующих устройств (термопластических масок, вакуумных мешков, матрасов), что указывается в карте подготовки. Топометрист наносит на кожу пациента метки по проекции лазеров: двух боковых, продольного и поперечного (аксиального), а также метку для референтной точки (наклеивает на кожу или на маску пластырь с точечной отметкой).

Референтные метки ставят на малоподвижные части тела:

- Опухоли головы и шеи

- в проекции основного процесса;
- Опухоли грудной клетки - середина рукоятки грудины;
- Опухоли брюшной полости - середина мечевидного отростка;
- Опухоли таза - большой вертел или середина симфиза.

Топометрия на компьютерном томографе (КТ) для планирования лучевой терапии осуществляется совместно рентгенлаборантом симулятора и рентгенлаборантом компьютерного томографа, на основе составленного врачами рентгенологом и лучевым терапевтом плана КТ-обследования. Рентгенлаборант симулятора доставляет на компьютерный томограф все приспособления (подголовники, фиксирующие устройства), необходимые для укладки больного, определенной в процессе первичной симуляции. При проведении предлучевой подготовки в условиях планирования возможна обрисовка объемов мишени, а также критических органов на 20–40 КТ-сканах. Шаг сканирования определяется в зависимости от конкретной клинической ситуации (при раке легкого - 0,7-1,0 см, опухолях головного мозга - 0,3-0,5 см, раке поджелудочной железы - 0,5 см, раке простаты - 0,3 см). При наличии жесткой системы фиксации шаг сканирования может быть уменьшен (по усмотрению лечащего врача). Перед сканированием рентгенлаборант симулятора закрепляет на референтной метке точечную рентгенконтрастную метку и контролирует, чтобы толщина среза при сканировании соответствовала необходимой. Врач лучевой терапевт может расширить объем КТ-исследования, например, добавить к исследованию грудной клетки исследование шеи, но не может его уменьшить, т. к. для расчета доз исследование должно полностью включать все зоны интереса. Если лучевой терапевт не расширил объем исследования, КТ проводится в соответствии со стандартами. После завершения сканирования рентгенлаборант передает данные на планирующую станцию. Оконтуривание объемов облучения и критических органов осуществляется лучевым терапевтом с привлечением, при необходимости, врача-рентгенолога. При планировании лучевого лечения проводится оконтуривание объемов облучения. [9]

Подготовка больных раком шейки матки к дистанционной гамма-терапии и внутриволостному облучению с использованием последующего введения источников излучения несколько различается.

При подготовке к дистанционному облучению необходимо определить проекцию на поверхность тела шейки матки и ее синтопию с окружающими органами.

При подготовке к внутриволостному облучению в канал шейки матки вводят центральный маточный зонд метрокольпостата, а в своды влагалища – овоиды.

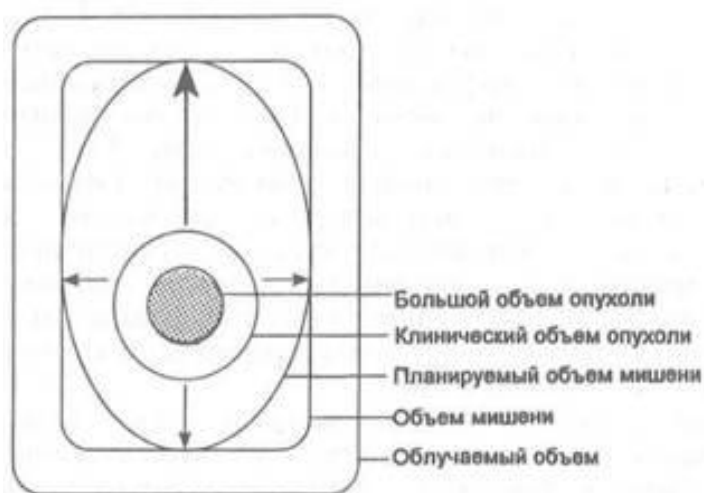


Рис.1. Схема объемов облучения

5 Симуляция

Укладка больной может производиться как в положении на спине, так и на животе (на специальной подставке, позволяющей оттянуть живот и отдалить тонкий кишечник от малого таза). Если планируется IMRT, то обязательна укладка на спине с использованием иммобилизирующих устройств с целью максимальной воспроизводимости укладки.

Для фиксации используется вакуумный матрас либо подставка под ноги для фиксации нижней части туловища. Если необходимо облучать парааортальные лимфоузлы, пациентка заводит руки за голову. КТ сканирование

проводится с шагом ≤ 3 мм. Желательно использование внутривенного контрастирования для определения кровеносных сосудов.

В случае вовлечения сводов или стенок влагалища в опухолевый объём, рентгеноконтрастная метка должна быть помещена у каудального края опухоли; кроме того, желательно разместить метку и в самой шейке.

Степень наполненности мочевого пузыря и прямой кишки должна быть такова, чтобы обеспечить примерно такое же наполнение перед каждым лечебным сеансом. К примеру, можно рекомендовать больной выпивать два полных стакана жидкости за час до симуляции и впоследствии — до лечения, а также опустошать кишечник утром до сеанса либо делать очистительную клизму. Желательна симуляция с пустым и полным мочевым пузырем для определения ITV купола влагалища и/или GTV. Последующее лечение лучше производить с наполненным мочевым пузырём с целью минимизации дозы на нем и на кишечнике. В случае необходимости облучать паховые лимфоузлы, симуляция производится в «лягушачьей позиции» — с разведенными бедрами.

6 Трёхмерная дозиметрическая оценка для сочетанного курса ЛТ

Рекомендации GYN GEC ESTRO посвящены описанию параметров трёхмерного распределения дозы и облучаемых объёмов в терапии рака шейки матки (РШМ).

Для оценки дозной неоднородности рекомендовано применять интегральную гистограмму доза–объём (ГДО). Параметры ГДО для объёмов облучения – это минимальная доза, полученная в 90 и 100 % объёма: D90, и D100. Объём, заключенный в 150 или 200 % от предписанной дозы (V150, V200), рекомендован для оценки области высоких доз. Величина V100 рекомендована для оценки качества каждого конкретного плана лечения. Для органов риска (ОР) рекомендовано отмечать минимальные дозы в облученной ткани в объёмах: 0,1, 1, и 2 см³ или 5 и 10 см³. Основные допущения: суммарная доза при дистанционной лучевой терапии (ДЛТ) в интересующем объёме, идентичное расположение аппликаторов при фракционированной брахитерапии, смежные

объемы и оконтуривание стенок органов объемом больше 2 см³. Значения доз выражены в единицах поглощенных доз с учетом различия в мощности дозы. Линейно-квадратичная радиобиологическая модель (ЛКМ) и биологически эквивалентная доза (EQD2) применяются для расчета доз при БТ и также используются при ДЛТ. Такой формализм позволяет систематически оценивать дозное распределение для PTV и органов риска во время лечения каждого пациента, а также позволяет сравнивать результаты лечения как внутри одной клиники, так и между различными центрами.

6.1 Предписание доз

Исторически предписание дозы основывалось на некоторых системах с определенными правилами. Последние разработки, такие как компьютерное планирование, привели к использованию таких понятий как “без системы” или “модифицированная система”. Однако рекомендовано строго следовать определенным правилам, принятым в клинической практике. Вначале дозу определяли в единицах миллиграмм-эквивалент радия в час (TRAK), и в большинстве случаев эту дозу предписывали строго в хорошо определяемых точках (например, точка A) или в определенном объеме мишени. С появлением 3D-визуализации все больше центров предписывают дозу в объеме мишени. При задании дозы в мишени, предписанная доза – это запланированная доза, которая покрывает мишень в максимально возможной степени. Точки, в которых доза назначается и в которых дозу нормируют, – это не обязательно одна точка. Можно использовать и другие точки, определенные пользователем для нормировки и оптимизации, в то время как доза в точке A используется для описания предписанной дозы. С другой стороны, если поглощенная доза не предписана в точке A (а например, в объеме мишени), все равно можно нормировать дозу в точке A, меняя величину нормировки до тех пор, пока предписанная изодоза не достигнет определенных размеров. Лучевая терапия с контролем с помощью средств визуализации позволяет быть более

последовательными в отношении мишени и органов риска. Предписанная доза всегда относится к мишени, при этом реальный охват мишени можно оценить с использованием параметров ГДО.

6.2 Возможности и ограничения применения гистограмм доза–объем

Существует несколько конкретных соображений, касающихся анализа параметров ГДО для внутриволостного облучения. Минимальная доза в мишени D100 имеет, по крайней мере, одно практическое ограничение в точности, поскольку она сильно зависит от оконтуривания мишени. Из-за резкого градиента дозы небольшие отклонения в контуре вызывают большие отклонения в D100. Величина D90 менее чувствительна к этим изменениям, и поэтому считается более стабильным параметром. Несмотря на то, что их клиническая значимость еще не доказана, обе величины (D100 и D90) настоятельно рекомендуется включать в отчеты: их можно легко рассчитать из ГДО и пересчитать в EQD2 что делает их пригодными для правильного сравнения планов при разных значениях мощности дозы.

Величина V100 показывает, насколько близко можно достичь предписанный охват мишени, представляя косвенно информацию о доле недооблученной области. Однако величина V100 основана на предписанной физической дозе и, следовательно, относится только к определенной мощности дозы и режиму фракционирования. Отсюда следует, что ее невозможно использовать для сравнения. Следовательно, V100 можно применять исключительно для сравнения планов, созданных для одного пациента или нескольких пациентов, которым проводилось лечение с одинаковой мощностью дозы и одинаковым режимом фракционирования.

При РШМ расположение ОР вблизи источников излучения (прямая и сигмовидная кишка, мочевого пузыря) существенно влияет на процесс планирования лечения и выбор предписанной дозы. Влагалище также следует принимать во внимание. Другие части малого таза могут также получить значительную дозу.

6.3 Определение параметров гистограмм доза–объем

Метод анализа 3D распределения дозы в ОР был основан на гипотезе, что клинически полезная информация должна содержать сведения об объемах, полученные путем анализа интегральной ГДО. Для анализа ГДО описаны два основных подхода: в одном из них используются относительные объемы органа (стенки), что широко применяется в ДЛТ, а в другом – абсолютные величины объема органа (стенки). Типичные побочные эффекты от БТ, такие как местное воспаление, фиброзы, телеангиэктозия, изъязвление, некроз и свищи, происходят в основном в ограниченных объемах, прилегающих к аппликатору, получающих высокие дозы (>70 – 80 Гр), в то время как осложнения во всем органе, такие как воспаление всего органа, фиброз или телеангиэктозия, встречаются главным образом после облучения всего органа средней или высокой дозой (60 – 70 Гр). Так как рассматриваемые органы являются полыми, состояние наполненности соответствующего органа должно быть указано четко, особенно при БТ. Для достоверного и полного сбора данных рекомендуется применять постоянное наполнение органа, особенно для мочевого пузыря, так как его состояние может измениться очень быстро.

| Дозовые ограничения для мишени и для органов риска | |
|--|--------------------------------|
| D90 | ≥ 80 – ≤ 90 Гр. EQD2 |
| D2cc (мочевой пузырь) | ≤ 90 Гр. EQD2 |
| D2cc (прямая кишка) | ≤ 75 Гр. EQD2 |

Табл.1. Дозовые ограничения для мишени и для органов риска.

Указывать в отчетах максимальное значение дозы нецелесообразно из-за погрешности расчетов (алгоритм расчета неприменим для вокселей) и из-за меньшей клинической значимости корреляции дозы в таких точках и

биологических эффектов. Вместо этого рекомендуется указывать дозу в очень ограниченном объеме (0,1 см³), которая подходит для расчета дозы и до сих пор, вероятно, имеет клиническую значимость.

7 Линейный ускоритель Elekta Synergy

Система «Elekta Synergy Platform» — передовая разработка для радиационной терапии ведущей мировой корпорации ELEKTA Ltd, которая целиком и полностью соответствует современным требованиям радиационной онкологии. Существенное преимущество ускорителя перед кобальтовыми аппаратами – в неработающем положении он абсолютно безопасный и не имеет мощных изотопных радиоактивных источников. Также отсутствует проблема распада источника со временем.



Рис.2. Ускоритель Elekta Synergy

Ускоритель включает в себя ряд проверенных эффективных комплектующих: многолепестковый коллиматор MLCi2, систему портальной визуализации iViewGT, высокоэнергетичный линейный ускоритель с широким диапазоном энергий, как для пучков фотонов (6МэВ,10МэВ,15МэВ), так и для электронов (6-22 МэВ). Фотонное излучение используют для проведения лучевой терапии глубоко расположенных опухолей.

8 Гамма-аппарат MultiSource HDR

MultiSource HDR - гамма-установка, работающая по принципу последовательного автоматического введения источников, предназначена для применения во всем спектре контактной лучевой терапии. Наряду с широко распространенным источником Ir-192, установка MultiSource HDR может использовать источник Co-60. Аппарат MultiSource HDR является 20-ти канальной системой последовательного автоматического введения источников.



Рис.3. Аппарат для брахитерапии Multisource HDR.

Система комплектуется широким спектром аппликаторов и катетеров, включает в себя инновационное программное обеспечение с удобным интерфейсом, а также уникальную систему безопасности для реализации различных методик брахитерапии: внутрисполостной, внутрисветной, внутритканевой, поверхностной, интраоперационной. Аппарат является безопасным, точным и в тоже время рентабельным и комфортным в использовании.

Миниатюрный источник Co-60 и преимущества его использования:

- Главное преимущество использования источника Co-60 - его большой период полураспада (5,27 лет) а, соответственно, большой срок службы без перезарядки, что позволяет добиться значительной экономии средств.

- Высокая радиационная и механическая стойкость капсулы гарантирует работу не менее 5 лет без перезарядки (или 100 тысяч рабочих циклов).

- Миниатюрный источник Co-60, также, как и Ir-192, может быть использован с универсальными аппликаторами. При условии практически идентичных клинических параметров двух источников, Co-60 отличается высокой экономической эффективностью. Кроме того, из-за более простого спектра и энергии излучения дозовые распределения Co-60 получаются более "гладкими", на них меньше сказывается гетерогенность среды. [6]

8.1 Виды аппликаторов и их установка в полости

В арсенале оснащения аппаратного комплекса для проведения контактной лучевой терапии представлено достаточное число различных аппликаторов для индивидуального подбора в каждой конкретной клинической ситуации:

- Внутриматочный эндостат из нержавеющей стали с максимальным диаметром 3 мм с различными углами наклона по центральной оси 30°, 45° и 60° – предполагает непосредственное внедрение в полость матки с минимальным предварительным расширением цервикального канала. Не предназначен для топометрии с использованием МРТ.

- Совместимые с КТ/МРТ аппликаторы представляют собой эндостаты диаметром 7 мм, что требует предварительного расширения цервикального канала расширителями Гегара и применения анестезии или хорошей седации пациенток.

- В аппликаторах типа Флетчера из нержавеющей стали применяются различного диаметра овоиды или мини-кольпостаты, которые подбираются с учетом индивидуальной анатомии и распространенности опухолевого процесса. Интересны овоиды с мини-блоками для достижения адекватного дозного распределения в органах риска – мочевом пузыре и прямой кишке. Особенно удобен этот вариант для планирования по ортогональным рентгенограммам.

- Альтернативным является применение маточного эндостата с различными углами наклона по центральной оси 30°, 45° и 60° и кольцевым влагалищным аппликатором различного диаметра (26 мм, 30 мм, 34 мм), подбираемого индивидуально в зависимости от диаметра шейки матки и инфильтративного процесса в сводах влагалища. Представлены как МРТ-совместимый вариант, а также аппликаторы из стали.

- Кольпостаты – цилиндры разного диаметра, в том числе и многоканальные (аппликатор Miami и др.) для облучения культи влагалища в послеоперационном периоде или самостоятельной ЛТ влагалища.

- Иглы для внутритканевой имплантации в ткани промежности как стальные, так и пластиковые (система MURIT). Используются в особых случаях.

На рисунке 4 представлены различные виды аппликаторов для проведения ВЛТ: а – аппликатор Флетчера–Вильямсона; б –КТ/МРТ-совместимый аппликатор Флетчера; в – кольцевой КТ/МРТ-совместимый аппликатор; г – кольцевой аппликатор; д – венский кольцевой КТ/МРТ-совместимый аппликатор; е – внутритканевой кольцевой КТ/МРТ-совместимый аппликатор; ж – вагинальный цилиндрический аппликатор Титаниум; з – вагинальный аппликатор Майами; и – универсальный промежностный внутритканевой аппликатор Мартинеса (MURIT).

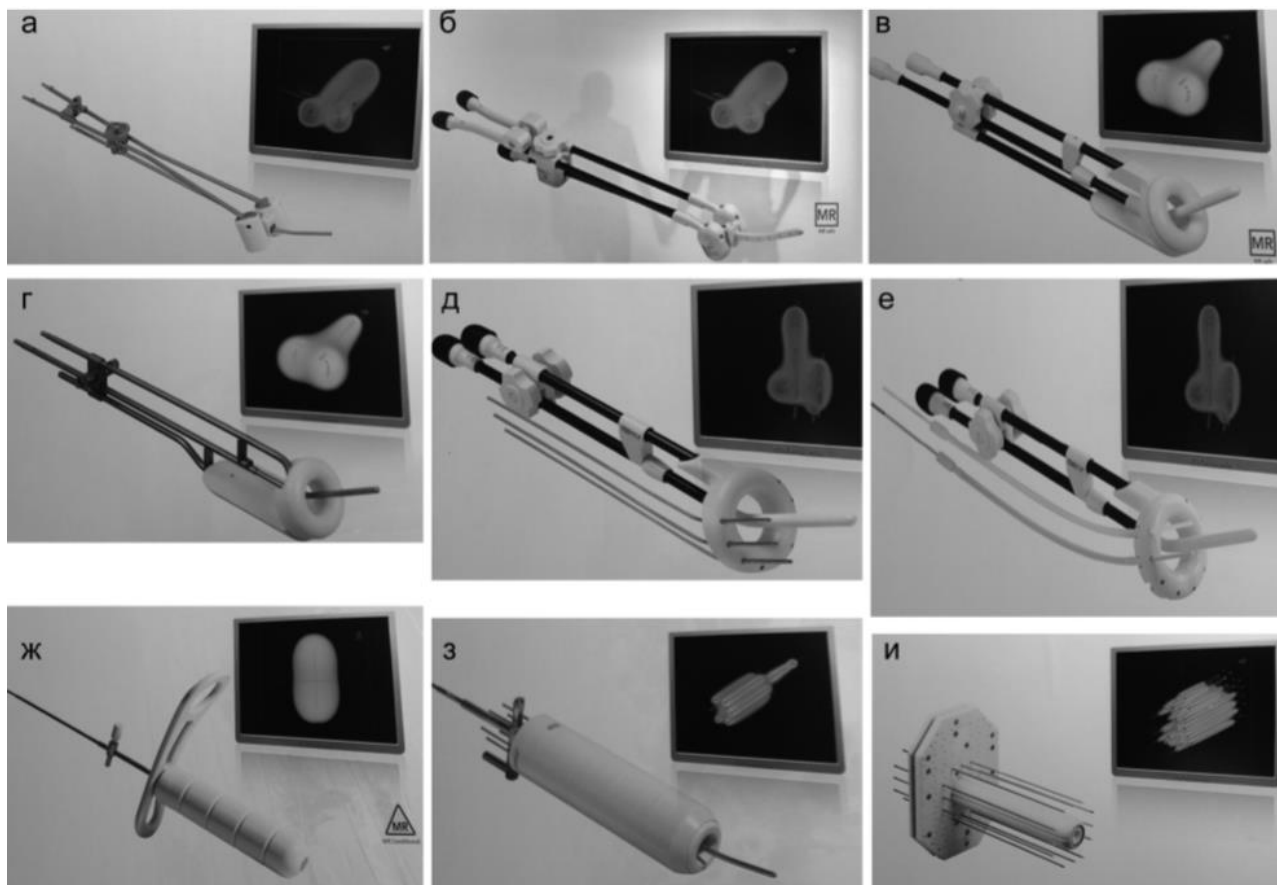


Рис.4. Виды аппликаторов для проведения ВЛТ.

Арсенал аппликаторов основан на большом клиническом опыте различных европейских школ и достаточно вариабелен. Применение каждой системы зависит от личного опыта клинициста, а также от принятой методологии. Соответственно, перед тем как выбрать определенный тип системы аппликатора для конкретной больной, необходимо оценить анатомо-патологическую ситуацию при ректо-вагинальном осмотре пациентки: остаточный опухолевый объем шейки матки на момент планируемой ВЛТ, выраженность сводов, длину полости матки при предварительном зондировании. Исходя из этого, подбирается маточный эндостат необходимой длины, углом наклона, выбираются овоиды или кольцевой влагалищный аппликатор необходимого диаметра.

9 Описание системы планирования XiO

Система планирования лучевой терапии XiO предназначена для создания планов лучевой терапии для пациентов с онкологическими заболеваниями, которым назначена дистанционная лучевая терапия. Система позволяет рассчитать и представить (на экране или в виде распечатки) значения распределения дозы облучения внутри тела пациента для заданных параметров плана лучевой терапии (в двумерном или трехмерном режиме).

Планы, созданные с помощью системы планирования, не могут заменить профессиональную клиническую оценку. Прежде чем использовать планы терапии, сведения о пациенте и данные источников в курсе лучевой терапии, необходимо подтвердить их правильность.

План терапии — это основная составляющая планируемого курса лучевой терапии пациента. Он представляет собой совокупность файлов данных, на основе которых рассчитывается доза облучения.

План лучевой терапии определяет порядок применения источников излучения и включает следующие параметры:

- сведения о пациенте;
- сведения об источниках излучения (пучках излучения, используемых в ходе дистанционной лучевой терапии, или группах источников, используемых в ходе брахитерапии);
- сведения о порядке облучения пациента.

Система XiO сохраняет личные и анатомические данные каждого пациента, для которого создается план лучевой терапии. Всем сохраненным данным присваивается уникальный идентификатор пациента, задаваемый пользователем.

План лучевой терапии может быть двумерным или трехмерным (2D или 3D), в зависимости от характера исследования. Режим планирования определяет, каким образом план выглядит на экране, настройки параметров плана и порядок расчета дозы облучения.

Область расчета - это область в пределах анатомической структуры, для которой рассчитывается доза облучения. Расчет дозы производится с учетом точек, установленных только внутри области и на ее границе. За пределами области расчета значение дозы равно нулю.

Участки ткани неоднородной плотности связаны с областью расчета и могут учитываться или не учитываться при расчете дозы.

Если доза рассчитывается без учета неоднородности ткани, вся объемная структура внутри тела пациента воспринимается как вода с равномерной плотностью. Относительная электронная плотность анатомических структур и опухолей не учитывается.

Для учета особенностей анатомических структур, плотности тканей и геометрических параметров пациента следует использовать поправку на неоднородность. Если доза рассчитывается с учетом неоднородности ткани, можно воспользоваться одним из двух методов вычисления плотности ткани анатомических структур. [8]

Сведения об источнике излучения. Перед первым использованием системы XiO медицинский физик собирает большое количество сведений из оборудования, установленного в вашем учреждении, и вводит их в систему XiO. Эта информация в основном состоит из результатов измерений, полученных из линейного ускорителя, и приемо-сдаточных испытаний ряда программ системы XiO. Процесс интеграции системы XiO в инфраструктуру медицинского учреждения называется вводом в эксплуатацию (или вводом установки в эксплуатацию) и является важной обязанностью медицинского физика. К планированию лучевой терапии с помощью системы XiO можно приступать только после ее ввода в эксплуатацию.

Каждому источнику излучения для дистанционной лучевой терапии присваивается идентификатор установки. Этот идентификатор задается пользователем и позволяет восстановить данные источника, используемые в плане лучевой терапии.

Параметры источника - это все параметры пучка излучения, которые определяют порядок облучения пациента, указанный в плане терапии. В планах дистанционной лучевой терапии эти параметры определяют порядок подведения отдельных пучков излучения к пациенту.

Сведения о клине и компенсаторе. Данные клиньев включают тип клина и параметры, необходимые для расчета поправочных коэффициентов и степени ослабления излучения, обеспечиваемой клиньями. Система XiO поддерживает следующие типы клиньев.

Клин с электроприводом - клин, который устанавливается под углом для подведения отдельной фракции в рамках сеанса облучения и затем удаляется для подведения оставшихся фракций.

Компенсирующий фильтр (или компенсатор) - эти данные включают тип компенсирующего фильтра и параметры, необходимые для добавления данных компенсирующего фильтра в план лучевой терапии. Компенсирующий фильтр ослабляет пучок излучения до того, как тот достигнет тела пациента. Целью использования таких фильтров является выравнивание распределения дозы по глубине с учетом неоднородности тела пациента (неровностей поверхности тела или наличия внутренних уплотнений). [4]

10 Система планирования HDRplus

Программный продукт HDRplus представляет собой систему планирования радиационной терапии, предназначенный для осуществления планирования высокодозной и пульсационной брахитерапии в сочетании с соответствующим устройством введения радиоактивного препарата. Использование данного программного пакета позволяет проводить исследования на основании одной или двух совмещенных последовательностей изображений, изоцентрических ортогональных или полуортогональных рентгеновских пленок, неизоцентрических рентгеновских пленок с использованием реконструкционного куба Resco-Vox или вовсе без изображений.

При запуске нового исследования вначале необходимо ввести общие данные пациента и исследования.

Для планирования на основе изображений требуется их загрузка в исследование с помощью одного из нескольких доступных методов (сканер, система захвата видеок кадров, сетевая поддержка передачи файлов DICOM или загрузка файлов с носителя данных, т.е. CD, DVD, флэш-карты и т.д.).

Следующим этапом является построение контуров планируемого целевого объема и органов риска, а также автоматическая генерация точек описанием дозы для последовательностей изображений или размещение групп точек контроля дозы с помощью мыши на планах, основанных на ортогональных изображениях. Далее реконструкция аппликаторов, для исследований, основанных на последовательностях изображений. После редактирования требуемых ограничений по дозе для различных групп точек может быть проведено автоматическое вычисление времени выдержки.

Результаты процесса планирования можно просмотреть в двумерном и трехмерном виде. Возможна проверка каждого среза изображения, а также просмотр стандартных видов: сагитального, коронального и поперечного.

При трехмерном отображении можно видеть все оконтуренные органы, аппликаторы, точки контроля дозы в любой ориентации под различными углами. Также можно включить отображение поверхностей изодоз для заданных значений дозы. Благодаря свойству выбора кодового цвета для поверхности изодоз, текущие уровни доз могут быть отмечены цветами на поверхностях структур.

Для оценки результатов планирования программа HDRplus вычисляет и отображает различные гистограммы доза-объем (ГДО) (кумулятивная и дифференциальная), а также гистограммы различных параметров, таких как D_{xx} , D_{csm} , V_{xx} , COIN и т.д.

После завершения планирования требуется проведение тщательной проверки отчета. Исследование должно быть сохранено в архиве для

использования в будущем. Для открытия сохраненных исследований можно использовать менеджер пациентов.

Использование оборудования высочайшего качества для ультразвукового, КТ, рентгеновского и МР-обследования обеспечивает получение наилучших результатов исследований. Перед использованием изображений для создания нового исследования необходимо проверить работоспособность и точность оборудования для получения изображений. Кроме того, следует убедиться в клинической точности и полноте используемых изображений.

Хотя система HDRplus интуитивно понятна и проста в управлении, она предназначена для использования исключительно пользователями-экспертами, т.е. обученными врачами и специалистами по радиационной физике, обладающими опытом и знаниями в области дозиметрического планирования процедур брахитерапии и клинической дозиметрии.

Для установки программного продукта, создания соединений с аппаратами визуализации (КТ, МРТ, УЗИ, С-дуга, рентген) и выполнения прочих работ, связанных с функционированием компьютерных систем, могут привлекаться специалисты по информационным технологиям. Кроме того, они могут использовать свойства Менеджера пациентов для архивирования и открытия исследований. Прочий вспомогательный клинический персонал может использовать раздел регистрации пациентов системы HDRplus, некоторые поля введения общих данных и свойства печати отчетов.

10.1 Принцип работы HDRplus

Однородное облучение достаточно сложно получить: доза всегда выше в непосредственной близости к источникам и ниже на расстоянии. Тем не менее, строки должны быть параллельными, на одной поверхности, равноотстоящими, а каждый источник должен иметь одинаковую скорость облучения (или поток керма). Длительность облучения вычисляется согласно активности источника, нужной дозе и риску передозирования.

- Помещают несколько параллельных аппликаторов на равных расстояниях.

- Активируют положения выдержки для определенной длины с одинаковым временем точки выдержки на положение точки выдержки.

- Перемещают плоскость распределения на центральную плоскость активированных положений точек выдержки.

- Контрольные точки (основные точки дозы) должны быть определены, основываясь на точках пересечения между центральной плоскостью и аппликаторами.

Окно «manchester system» используется для определения группы аппликаторов, где находится контрольная точка (основная точка дозы), согласно методу парижской системы. Можно выбрать два, три или четыре аппликатора. Выбор выполняется щелчком левой кнопки мыши на нужных аппликаторах. Основные точки дозы определяются в одном из ортогональных портов представления или в перпендикулярном представлении исходного порта представления. С помощью кнопки [Set control point] создается новая одиночная контрольная точка, а выбранные аппликаторы удаляются из списка.

Положение недавно созданной контрольной точки определяется следующими ограничениями:

- Контрольная точка расположена на плоскости, которая отображается в порте представления, где выполняется выбор аппликаторов.

- Точное положение на плоскости определяется точками пересечения этой плоскости с выбранными аппликаторами. Положение контрольной точки - это центр точек пересечения между плоскостью и аппликаторами.

Автоматическая система позволяет вместо выбора аппликаторов, определения треугольников и нажатия на каждую основную точку дозы, пользователь может выполнять эти задачи автоматически, и должен только оценить результат. [5]

11 Практическая часть

В Томском областном онкологическом диспансере в рамках сочетанной лучевой терапии используется дистанционная лучевая терапия, осуществляемая на аппарате Elekta Synergy с энергией фотонного пучка 6 МВ и внутриволостная брахитерапия – на аппарате MultiSource HDR с источником излучения Co-60.

Для трехмерной дозиметрической оценки сочетанного курса лучевой терапии рака шейки матки выбраны 5 пациентов с раком шейки матки. Каждый пациент прошел процедуру первичной симуляции (“откатки пациентов”). Затем для каждого пациента созданы планы дистанционной лучевой терапии в планирующей системе XIO, а также планы внутриволостной брахитерапии в планирующей системе HDRPlus. Перед экспортированием КТ-снимков дистанционной лучевой терапии из XIO в HDRPlus созданы контуры на основе изодозных распределений для 107, 100, 95, 90 и 50 изодоз.

Затем выполнено объединение КТ-снимков, при помощи функции FUSION в HDRPlus. Для оценки суммарной дозы на критические органы и область облучения выполнено повторное оконтуривание данных анатомических структур. [8]

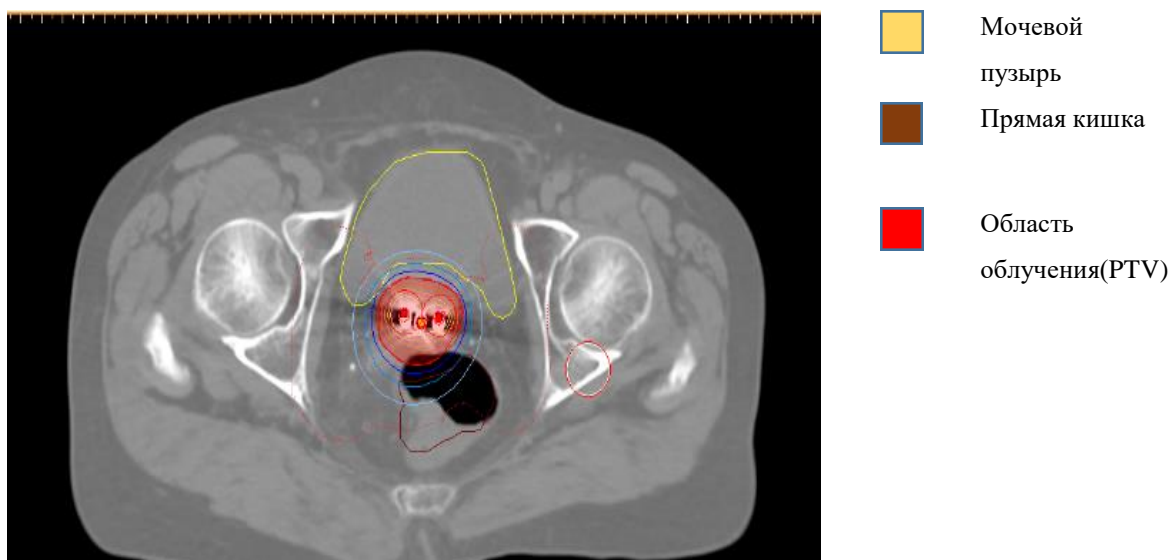


Рис.5. КТ-снимок с контурами области облучения и критическими органами

3) Добавление вторичных КТ снимков, которые экспортированы с ХЮ.

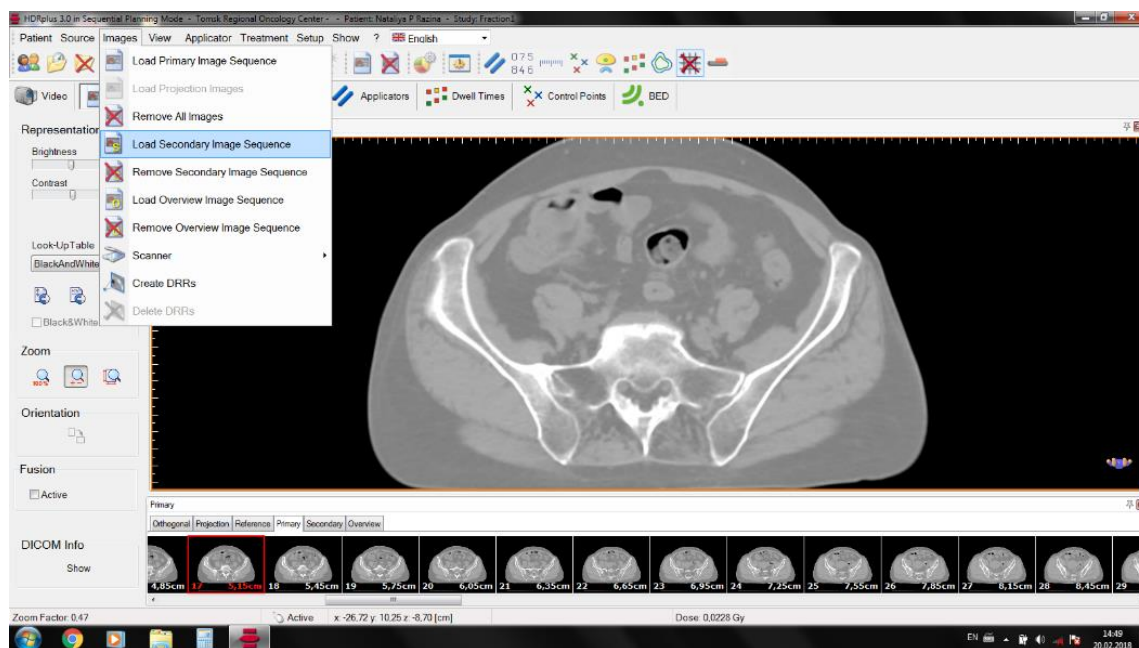


Рис.7. Панель подгрузки КТ-снимков в станции HDRPlus.

4) Импортирование контуров, созданных ранее в ХЮ. В дополнение к данным контурам были отправлены и дозные распределения в каждой точке.

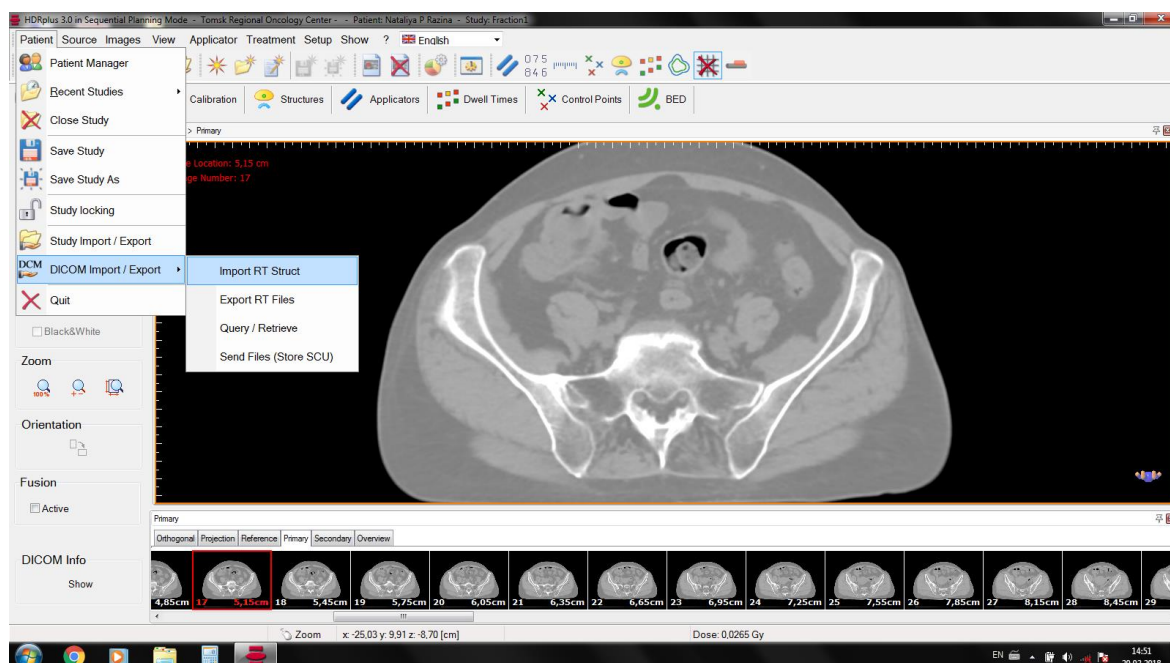


Рис.8. Панель импорта/экспорта контуров в станции HDRPlus.

Выбрав вкладку Primary и Secondary перед нами предстают КТ-снимки с HDRplus и XIO соответственно.

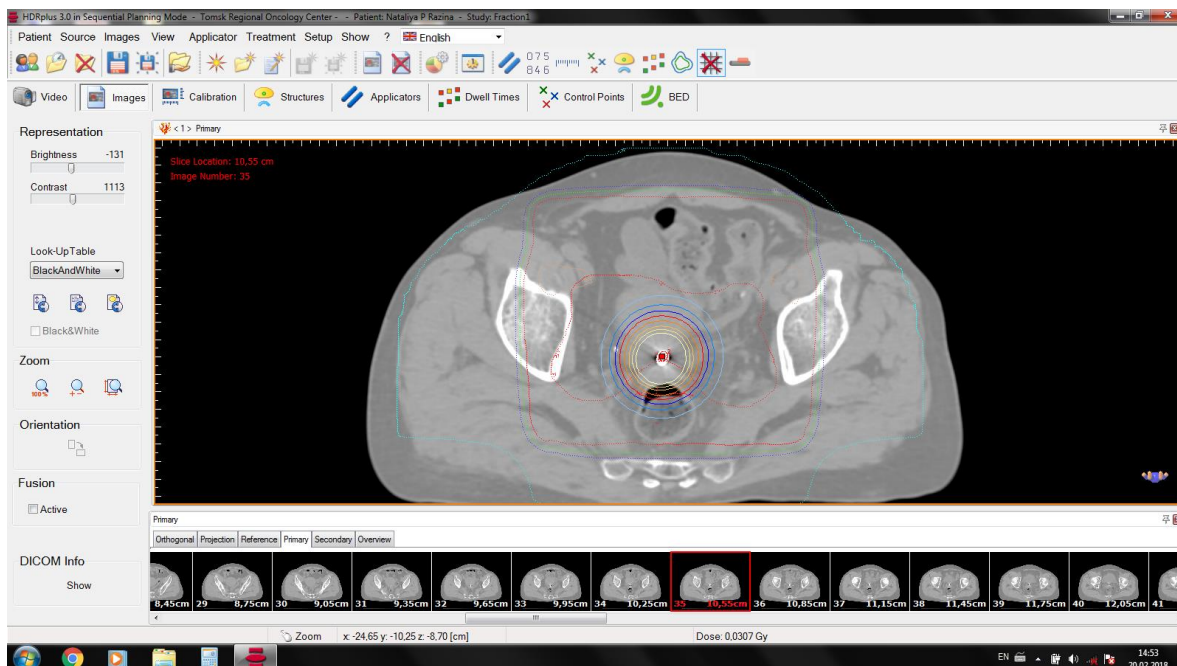


Рис.9. Вкладка Primary в станции HDRPlus.

Данные снимки обеспечивают наглядность для дальнейшей работы.

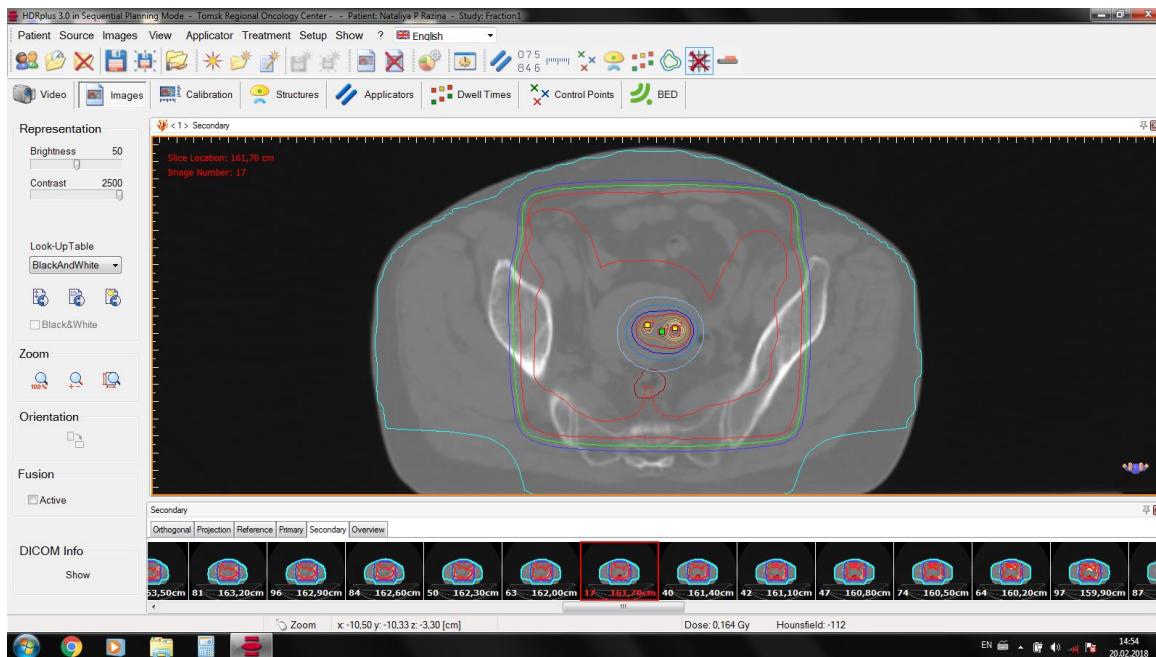


Рис.10. Вкладка Secondary в станции HDRPlus.

5) После всех проделанных этапов, нашей первой задачей является слияние КТ-снимков двух планирующих систем и для этого мы воспользуемся функцией FUSION (во вкладке Calibration), которая позволит с помощью “меток” соединить в одно изображение снимки с разных планирующих систем.

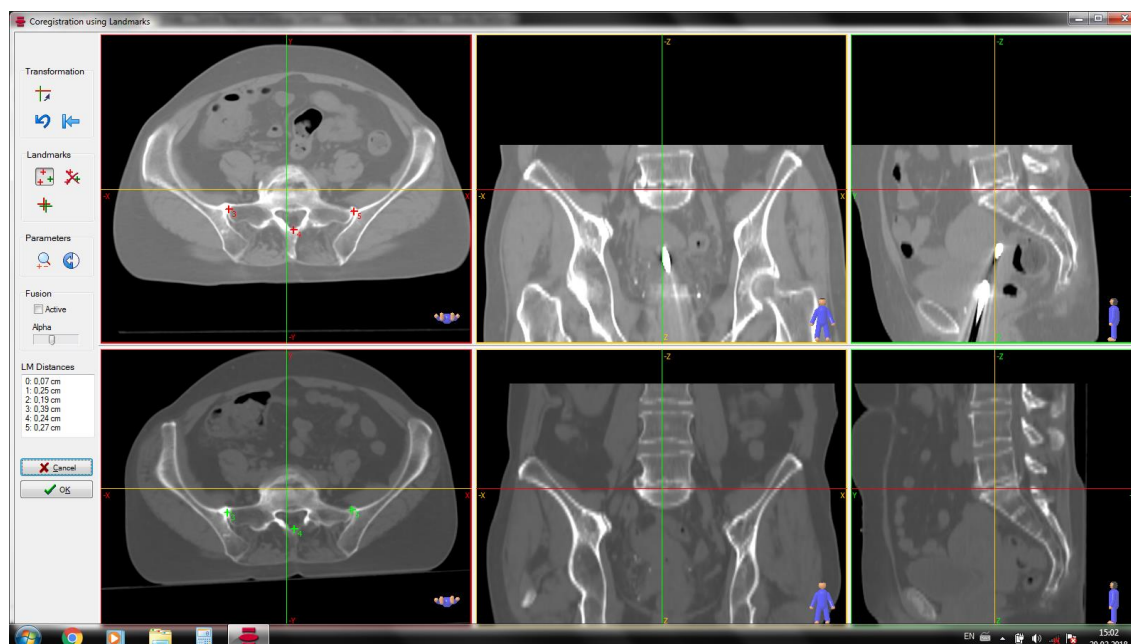


Рис.11. Панель слияния КТ-снимков.

Подобрав удобную для себя яркость и контрастность, нужно найти одинаковые “срезы” и выставить метки в одних и тех же местах в одной и той же последовательности, чтобы снимки наложились один на другой, а не в инверсном виде.

б) Далее мы переходим во вкладку Treatment и выбираем функцию Structures. Контуры критических органов и области облучения уже имеются на снимках, загруженных с планирующей системы XIO, а вот на снимках HDRplus отсутствуют и показываются только очертания от слияния данных снимков, следовательно, следующим шагом мы должны создать контуры во вкладке Primary.

Во время создания контуров, выбирается цвет структуры и её название. Для удобства выбираются различные цвета чтобы не было наложений. Ниже представлены уже готовые контуры для критических органов и зоны облучения.

Контур мочевого пузыря:

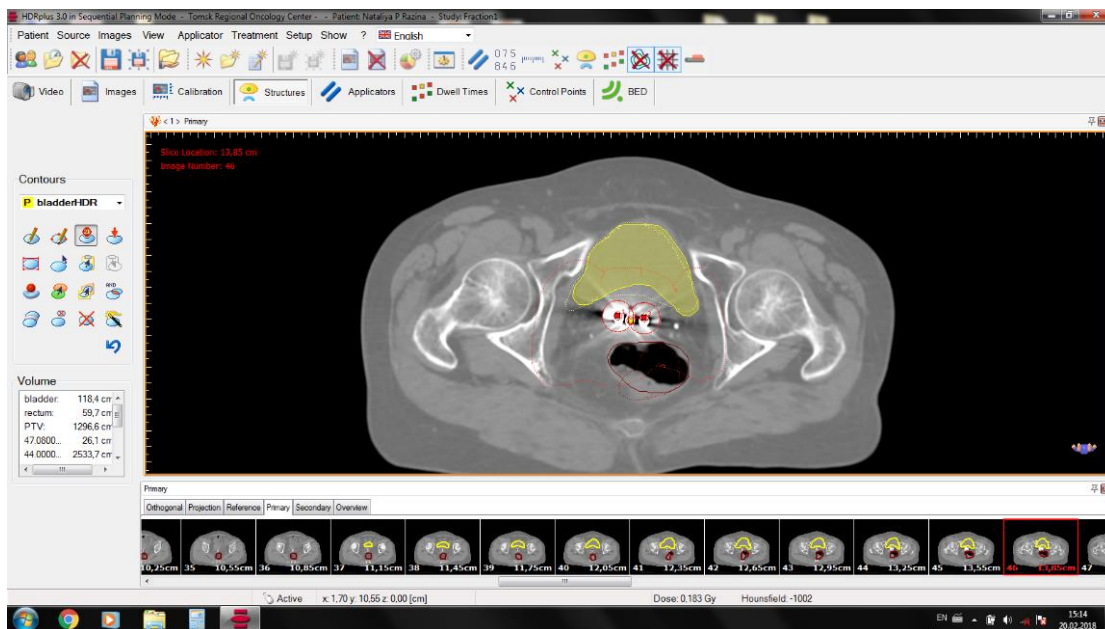


Рис.12. Контур мочевого пузыря.

Контур прямой кишки:

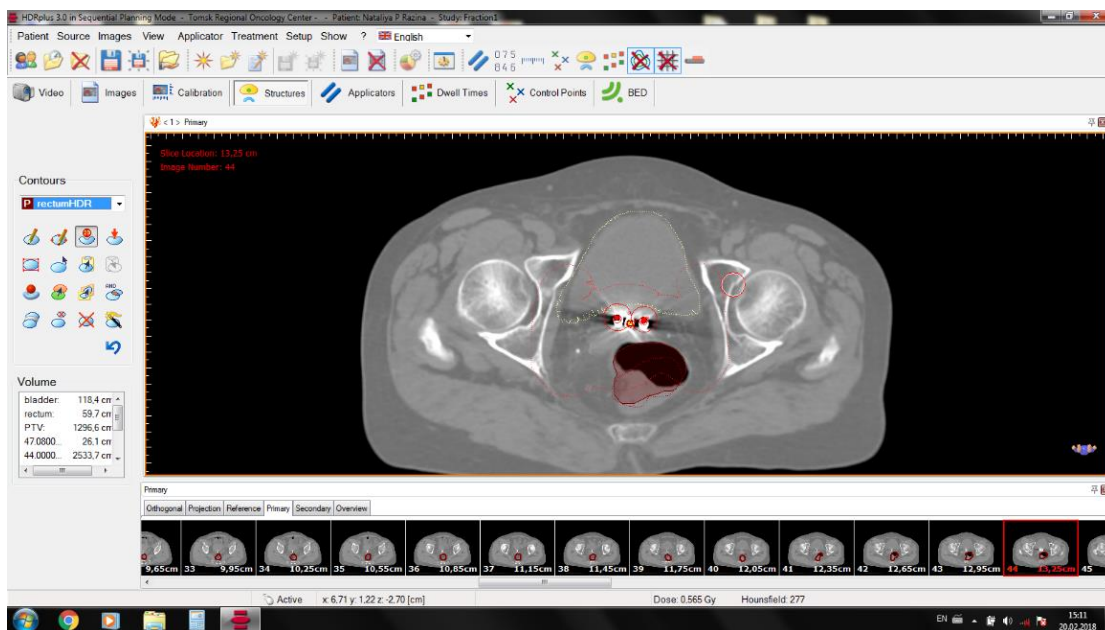


Рис.13. Контур прямой кишки.

При создании контура зоны облучения PTV, есть негласное правило, создавать контур красного цвета, для выделения этой зоны, т.к. именно туда попадает самая высокая доза при лечении.

Контур PTV:

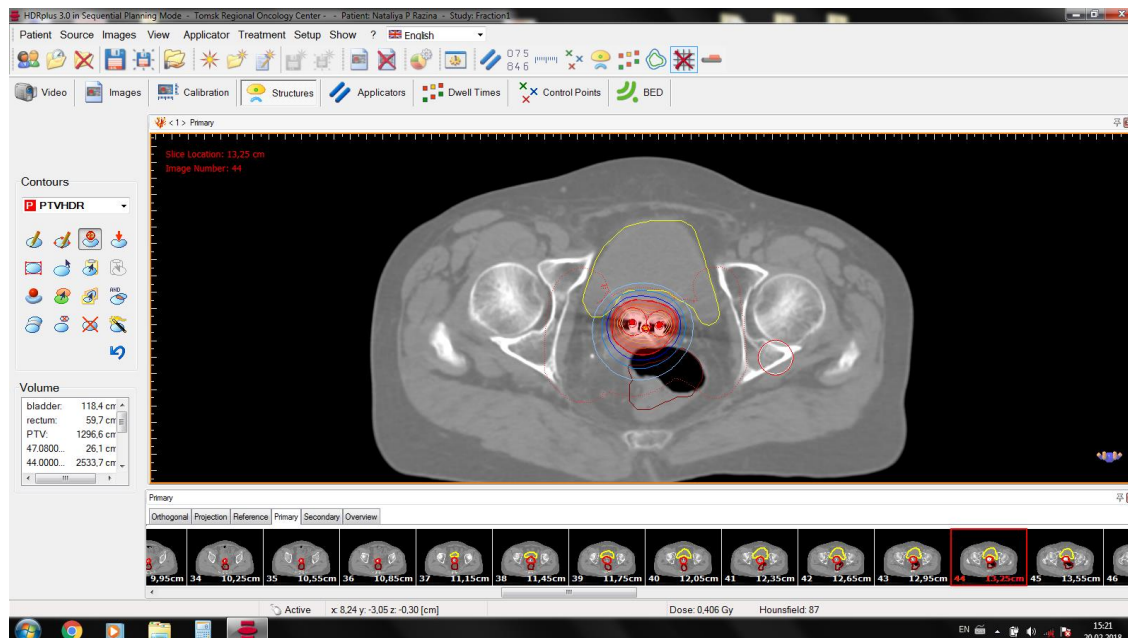


Рис.14. Контур PTV.

7) После окончания оконтуривания критических органов и области облучения на всех срезах, нужно снова перейти во вкладку Treatment и выбрать функцию Histogram, в которой нужно задать значения для расчета доз и площадей покрытия для каждой новой структуры.

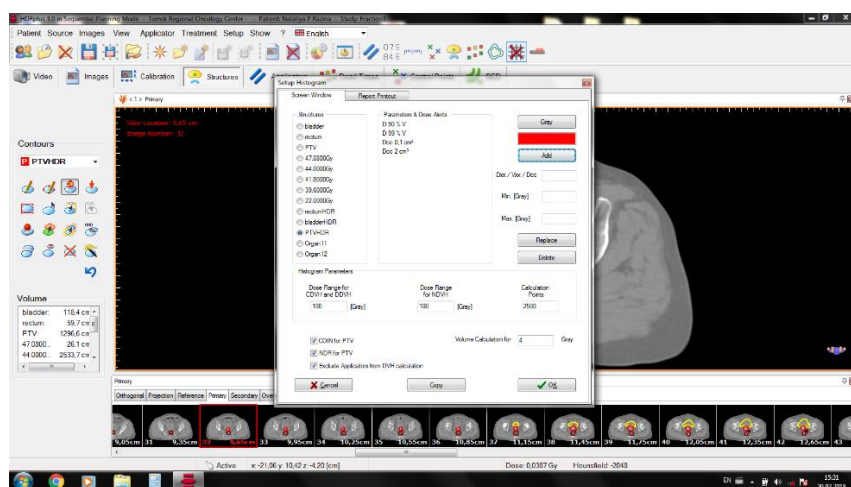


Рис.15. Вкладка Histogram, панель для ввода параметров.

Для оценки физико-радиобиологического и дозиметрического плана следует пройти во вкладку View и выбирать функцию Histogram parameter, где можно увидеть дозы, полученные тем или иным органом и их площадь покрытия.

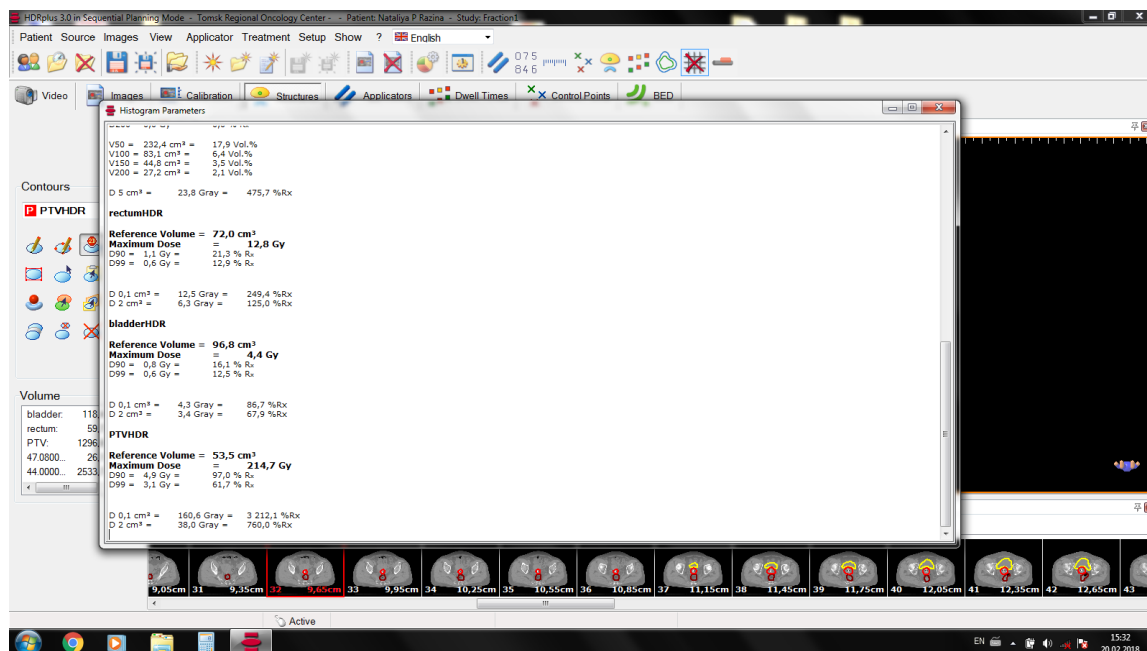


Рис.16. Вкладка Histogram parameter (результаты).

11.2 Полученные данные и их анализ

В таблице 2 представлены предписанные (физические дозы), для каждого пациента. Для дистанционной лучевой терапии использовался курс: 25 фракций по 2 Гр. Для пациентов №1,2,3 и 22 фракции по 2 Гр. для пациентов №4,5. Для брахитерапии – 4 фракции по 7 Гр. для пациентов №1,2,3,5, а для пациента №4 – 4 фракции по 6 Гр.

| № пациент | Доза (Гр) | | |
|-----------|------------|------------------|--------------|
| | | Дистанционная ЛТ | брахитерапия |
| 1 | Пациент №1 | 50 | 4фр*7 |
| 2 | Пациент №2 | 50 | 4фр*7 |
| 3 | Пациент №3 | 50 | 4фр*7 |
| 4 | Пациент №4 | 44 | 4фр*6 |
| 5 | Пациент №5 | 44 | 4фр*7 |

Табл.2. Предписанные дозы

В таблице 3 представлены максимальные, минимальные и средние дозы для дистанционной ЛТ и брахитерапии, получаемые планируемым объемом облучения (PTV).

| № пациент | Планируемый объем облучения (PTV) | | | | | |
|-----------|-----------------------------------|-------|-------|--------------|-------|------|
| | Дистанционная ЛТ | | | брахитерапия | | |
| | Dmax | Dmean | Dmin | Dmax | Dmean | Dmin |
| 1 | 52,8 | 50,02 | 41,46 | 112 | 68 | 20,8 |
| 2 | 52,09 | 50,25 | 39,9 | 52,8 | 49,6 | 14,4 |
| 3 | 53,32 | 50,1 | 40,23 | 108,2 | 50,8 | 18,8 |
| 4 | 47,65 | 45,03 | 36,59 | 112 | 56,8 | 22,4 |
| 5 | 47,19 | 43,69 | 28,39 | 83,6 | 49,2 | 20,8 |

Табл.3. Дозы при ДЛТ и брахитерапии

В таблице 4 представлены дозы, покрывающие 2%, 50% и 98% объема PTV. Данные из таблицы наглядно показывают, что при ДЛТ планируемый объем облучения покрывается в должной мере, а брахитерапия – на приемлемом уровне (это обусловлено неравномерным распределением дозы при брахитерапии)

| № пациент | Планируемый объем облучения (PTV) | | | | | |
|-----------|-----------------------------------|-------|-------|--------------|------|-----|
| | Дистанционная ЛТ | | | брахитерапия | | |
| | D2 | D50 | D98 | D2 | D50 | D98 |
| 1 | 51,3 | 47 | 50,2 | 118,5 | 17 | 6,5 |
| 2 | 51,87 | 47,5 | 50,65 | 50,8 | 12,4 | 5,7 |
| 3 | 52,3 | 46,94 | 50,36 | 50,8 | 12,7 | 5,8 |
| 4 | 46,9 | 46,98 | 45,4 | 89,4 | 14,2 | 7 |
| 5 | 46,22 | 36,35 | 44,35 | 74 | 12,3 | 5,8 |

Табл.4. Дозы для 2%, 50% и 98% объема PTV.

В таблице 5 приведены численные значения для объема 100% изодозы в теле пациента – Vd, объем мишени – TV, и объем мишени, покрываемый 100% дозой - Vrx.

| № пациент | PTV,cc | | |
|--------------|---------|---------|---------|
| | Vd | TV | Vrx |
| 1 | 1384,59 | 1250,73 | 856,42 |
| 2 | 1117,68 | 1080,78 | 804,01 |
| 3 | 1138,16 | 1323,19 | 864,55 |
| 4 | 2580,42 | 1302,86 | 1077,47 |
| 5 | 2129,87 | 1482 | 1026,56 |

Табл.5. Численные значения объемов.

В таблицах 6 и 7 представлены максимальная, средняя и минимальная дозы для критических органов (OAR).

| № пациент | Прямая кишка (стенка прямой кишки) | | | | | |
|-----------|------------------------------------|-------|-------|--------------|-------|------|
| | Дистанционная ЛТ | | | брахитерапия | | |
| | Dmax | Dmean | Dmin | Dmax | Dmean | Dmin |
| 1 | 51,52 | 49,82 | 42,22 | 17,2 | 2,4 | 0,4 |
| 2 | 51,82 | 48,19 | 12,41 | 39,2 | 4 | 1,2 |
| 3 | 51,48 | 48,19 | 33,14 | 21,2 | 5,6 | 1,2 |
| 4 | 46,26 | 40,92 | 7,25 | 28,8 | 10 | 6 |
| 5 | 42,9 | 43,98 | 36,35 | 42,4 | 7,6 | 3,6 |

Табл.6. Дозы, полученные стенками прямой кишки от ДЛТ и брахитерапии.

| № пациент | Мочевой пузырь (стенка мочевого пузыря) | | | | | |
|-----------|---|-------|-------|--------------|-------|------|
| | Дистанционная ЛТ | | | брахитерапия | | |
| | Dmax | Dmean | Dmin | Dmax | Dmean | Dmin |
| 1 | 51,3 | 49,16 | 44,99 | 56 | 7,2 | 3,6 |
| 2 | 51,09 | 46,75 | 33,37 | 49,2 | 5,2 | 2,4 |
| 3 | 52,34 | 48,19 | 33,14 | 41,2 | 11,2 | 5,2 |
| 4 | 45,47 | 43,76 | 41,23 | 29,6 | 8 | 2,8 |
| 5 | 45,6 | 42,87 | 35,31 | 40,4 | 4,8 | 2 |

Табл.7. Дозы, полученные стенками мочевого пузыря от ДЛТ и брахитерапии.

| № пациент | Планируемый объем облучения (PTV) cc | | | | | |
|--------------|--------------------------------------|---------|---------|--------------|------|------|
| | Дистанционная ЛТ | | | брахитерапия | | |
| | V100 | V90 | V50 | V100 | V90 | V50 |
| 1 | 838,61 | 1237,1 | 1250,73 | 58,2 | 59,3 | 60,3 |
| 2 | 805,72 | 1075,27 | 1080,8 | 29,8 | 31,2 | 32,6 |
| 3 | 856,24 | 1314,5 | 1323,2 | 50,9 | 53 | 55,4 |
| 4 | 1079,42 | 1295,8 | 1302,9 | 44,8 | 44,9 | 44,9 |
| 5 | 874,83 | 1409,6 | 1482,50 | 52,4 | 54,9 | 56,2 |

Табл.8. Объем PTV, получающий 100%, 90% и 50% от предписанной дозы.

В таблицах 9-14 приведены дозы, которые получают критические органы на 1, 2 и 0.1 кубический сантиметр.

| № пациент | Прямая кишка (стенка прямой кишки) для объема D1cc | | |
|--------------|--|--------------|----------|
| | Дистанционная ЛТ | брахитерапия | ∑ДЛТ+HDR |
| 1 | 51,3 | 12 | 63,3 |
| 2 | 51,8 | 26,4 | 78,2 |
| 3 | 51,4 | 16,8 | 68,2 |
| 4 | 46,06 | 22,8 | 68,86 |
| 5 | 45,75 | 26,4 | 72,15 |

Табл.9. D1cc для стенок прямой кишки.

| № пациент | Прямая кишка (стенка прямой кишки) для объема D2cc | | |
|--------------|--|--------------|----------|
| | Дистанционная ЛТ | брахитерапия | ∑ДЛТ+HDR |
| 1 | 51,2 | 9,6 | 60,8 |
| 2 | 51,7 | 21,2 | 72,9 |
| 3 | 51,3 | 15,2 | 66,5 |
| 4 | 45,95 | 20,4 | 66,35 |
| 5 | 45,67 | 22 | 67,67 |

Табл.10. D2cc для стенок прямой кишки.

| № пациент | Прямая кишка (стенка прямой кишки) для объема D0,1cc | | |
|--------------|--|--------------|----------|
| | Дистанционная ЛТ | брахитерапия | ∑ДЛТ+HDR |
| 1 | 51,4 | 15,6 | 67 |
| 2 | 51,9 | 37,2 | 89,1 |
| 3 | 51,6 | 20,4 | 72 |
| 4 | 46,1 | 27,2 | 73,3 |
| 5 | 45,8 | 38 | 83,8 |

Табл.11. D0,1cc для стенок прямой кишки.

| № пациент | Мочевой пузырь (стенка мочевого пузыря) для объема D1cc | | |
|--------------|---|--------------|----------|
| | Дистанционная ЛТ | брахитерапия | ∑ДЛТ+HDR |
| 1 | 51,5 | 38 | 89,5 |
| 2 | 51,0 | 27,2 | 78,2 |
| 3 | 52,4 | 30,8 | 83,2 |
| 4 | 45,15 | 24 | 69,15 |
| 5 | 45,0 | 33,6 | 78,6 |

Табл.12. D1cc для стенок мочевого пузыря.

| № пациент | Мочевой пузырь (стенка мочевого пузыря) для объема D2cc | | |
|--------------|---|--------------|----------|
| | Дистанционная ЛТ | брахитерапия | ∑ДЛТ+HDR |
| 1 | 51,4 | 32,8 | 84,2 |
| 2 | 50,9 | 23,2 | 74,1 |
| 3 | 52,2 | 26,8 | 79 |
| 4 | 45,05 | 22 | 67,05 |
| 5 | 44,85 | 30 | 74,85 |

Табл.13. D2cc для стенок мочевого пузыря.

| № пациент | Мочевой пузырь (стенка мочевого пузыря) для объема D0,1cc | | |
|--------------|---|--------------|----------|
| | Дистанционная ЛТ | брахитерапия | ∑ДЛТ+HDR |
| 1 | 51,8 | 54,4 | 106,2 |
| 2 | 51,1 | 49,2 | 100,3 |
| 3 | 52,5 | 40 | 92,5 |
| 4 | 45,34 | 29,2 | 74,54 |
| 5 | 45,37 | 40,4 | 85,77 |

Табл.14. D0,1cc для стенок мочевого пузыря.

11.3 Расчет изоэффективных и биологических доз

Для каждого пациента были рассчитаны изоэффективные и биологически эффективные дозы EQD2 и BED соответственно (табл.14 и табл.15):

Формула для расчета изоэффективной дозы - $EQD2 = D * ((d + \alpha/\beta) / (2 + \alpha/\beta))$.

Формула для расчета биол. эффективной дозы - $BED = D * (1 + d / \alpha/\beta)$

Где D – предписанная доза, d – доза за фракцию, $\alpha/\beta = 10$ (для первичных последствий)

| № пациент | EQD2 | | |
|--------------|------------------|--------------|------------------|
| | Дистанционная ЛТ | брахитерапия | Σ ДЛТ+HDR |
| 1 | 50 | 39,6 | 89,6 |
| 2 | 50 | 39,6 | 89,6 |
| 3 | 50 | 39,6 | 89,6 |
| 4 | 44 | 32 | 76 |
| 5 | 44 | 39,6 | 83,6 |

Табл.15. Изоэффективная доза EQD2.

| № пациент | BED | | |
|--------------|------------------|--------------|------------------|
| | Дистанционная ЛТ | брахитерапия | Σ ДЛТ+HDR |
| 1 | 60 | 47,6 | 107,6 |
| 2 | 60 | 47,6 | 107,6 |
| 3 | 60 | 47,6 | 107,6 |
| 4 | 52,8 | 38,4 | 91,2 |
| 5 | 52,8 | 47,6 | 100,4 |

Табл.16. биологически эффективная доза BED.

11.4 Сравнение результатов

Сравнив, полученные значения и данные полученные ранее, с рекомендуемыми значениями, в протоколе ICRU 52, видим, что изоэффективная доза, подведенная к мишени и органам риска в пределах нормы.

| № пациент | EQD2 | |
|--------------|-------------------------------|---------------------------------|
| | PTV | |
| | Рекомендации | Результаты данного исследования |
| 1 | $\geq 80 - \leq 90$ Гр. EQD2 | 89,6 |
| 2 | | 89,6 |
| 3 | | 89,6 |
| 4 | | 76 |
| 5 | | 83,6 |
| № пациент | Стенки мочевого пузыря (D2cc) | |
| | Рекомендации | Результаты данного исследования |
| | | |
| 1 | ≤ 90 Гр. EQD2 | 84,2 |
| 2 | | 74,1 |
| 3 | | 79 |
| 4 | | 67,05 |
| 5 | | 74,85 |
| № пациент | Стенки прямой кишки (D2cc) | |
| | Рекомендации | Результаты данного исследования |
| | | |
| 1 | ≤ 75 Гр. EQD2 | 60,8 |
| 2 | | 72,9 |
| 3 | | 66,5 |
| 4 | | 66,35 |
| 5 | | 67,67 |

Табл.17. Таблица сравнения результатов.

12 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

12.1 Предпроектный анализ

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов. Это важно для разработчиков, которые должны представлять состояние и перспективы проводимых научных исследований.

Необходимо понимать, что коммерческая привлекательность научного исследования определяется не только превышением технических параметров над предыдущими разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сумеет найти ответы на такие вопросы – будет ли продукт востребован рынком, какова будет его цена, каков бюджет научного проекта, какой срок потребуются для выхода на рынок и т.д.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований;
- определение возможных альтернатив проведения научных исследований, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- планирование научно-исследовательских работ;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

12.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

В данной работе проводилась трехмерная дозиметрическая оценка сочетанного курса лучевой терапии. Были совмещены планы для дистанционной лучевой терапии и контактной брахитерапии, оконтурены критические органы и зоны облучения. Так же были посчитаны суммарные дозы, подведенные к опухолям и проведено сравнение с эталонными значениями для данного вида терапии.

Данное исследование может быть полезным для учебных и медицинских учреждений, которые готовят специалистов в области лучевой терапии.

12.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Данный анализ проведен с помощью оценочной карты (таблица 18). Для этого отобрано две конкурентные разработки. Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в Таблице 18, подбирали исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Сегодня в клинической практике, для лечения злокачественных новообразований, существует большое количество методик. В качестве конкурирующих аналогов были выбраны:

1. Дистанционная лучевая терапия (терапия, основанная на дистанционной доставке фотонных/электронных пучков);
2. Брахитерапия (контактная внутрисполостная терапия, основанная на введении аппликаторов, содержащих радиоактивный элемент).

Оба вида лучевой терапии актуальны и используются повсеместно во всех клиниках мира для лечения пациентов.

Таблица 18 – Оценочная карта для сравнения конкурентных разработок

| Критерии оценки | Вес критерия | Баллы | | | Конкурентоспособность | | |
|--|--------------|-------|-----|-----|-----------------------|------|------|
| | | Бф | Бк1 | Бк2 | Кф | Кк1 | Кк2 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Технические критерии оценки ресурсоэффективности | | | | | | | |
| 1. Время наработки данных | 0,2 | 2 | 4 | 4 | 0,4 | 0,8 | 0,8 |
| 2. Потребность в доп. обучении персонала | 0,07 | 5 | 3 | 3 | 0,35 | 0,21 | 0,21 |
| 3. Безопасность процедуры | 0,1 | 5 | 5 | 3 | 0,5 | 0,5 | 0,3 |
| 4. Потребность в ресурсах памяти | 0,05 | 5 | 3 | 3 | 0,25 | 0,15 | 0,15 |
| 5. Предоставляемые возможности | 0,06 | 5 | 5 | 4 | 0,3 | 0,3 | 0,24 |
| 6. Простота в эксплуатации | 0,12 | 4 | 3 | 4 | 0,48 | 0,36 | 0,48 |
| 7. Наличие дорогостоящего оборудования | 0,15 | 5 | 5 | 4 | 0,75 | 0,75 | 0,6 |
| Экономические критерии оценки эффективности | | | | | | | |
| 1. Цена процедуры | 0,15 | 5 | 3 | 3 | 0,75 | 0,45 | 0,45 |
| 2. Финансирование научной разработки | 0,05 | 5 | 4 | 4 | 0,25 | 0,2 | 0,2 |
| 3. Наличие сертификации методики | 0,05 | 4 | 4 | 4 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| Итого | 1 | | | | 4,23 | 3,92 | 3,63 |

Позицию разработки и конкурентов оценивали по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 - наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Вывод: В связи с некоторым увеличением стоимости процедуры, по сравнению с конкурентами, метод, на первый взгляд, может показаться не выгодным, но т.к. в медицине главный показатель – улучшение самочувствия пациента (большая 5-летняя выживаемость), то данный метод является наиболее подходящим методом лечения пациентов с диагнозом рака шейки матки.

12.2 Планирование управления научно-техническим проектом

12.2.1 Иерархическая структура работ проекта

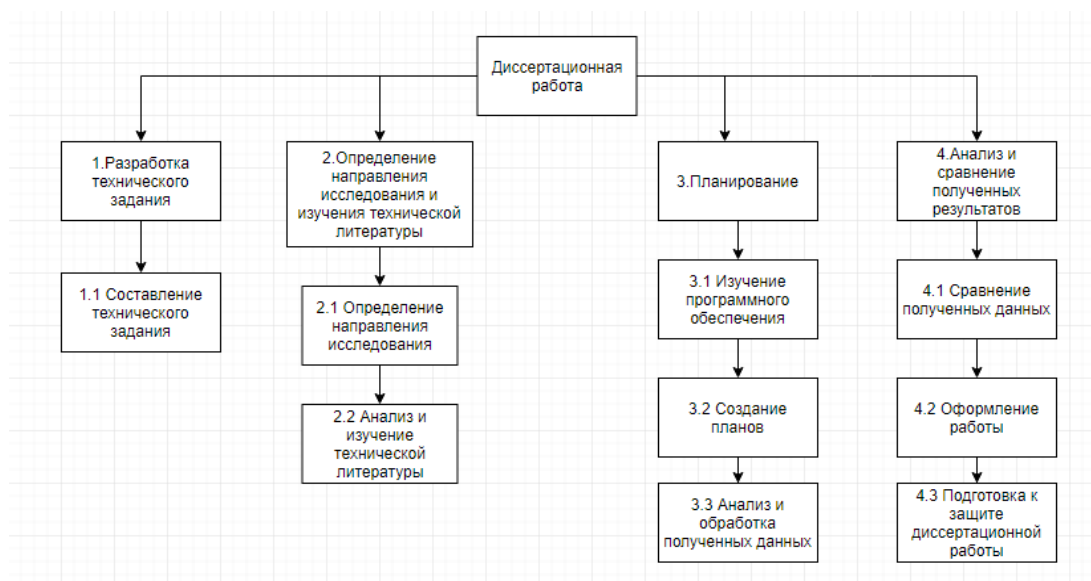


Рисунок 17 –Иерархическая структура работ

В процессе создания иерархической структуры работ проекта структурированы и определены содержание всего проекта, которые представлены на Рисунке 17.

Группа процессов планирования состоит из процессов, осуществляемых для определения общего содержания работ, уточнения целей и разработки последовательности действий, требуемых для достижения данных целей. Иерархическая структура работ (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ.

12.2.2 Контрольные события проекта

В рамках данного раздела определены ключевые события проекта, их даты и результаты, которые получены по состоянию на эти даты. Информация сведена в таблице 19.

Таблица 19 – Контрольные события проекта

| № | Контрольное событие | Дата | Результат (подтверждающий документ) |
|-----|--|---------------------------|--|
| 1 | Разработка технического задания | 08.02.2018- 10.02.2018 | Приказ о ВКР |
| 1.1 | Составление технического задания | 10.02.2018- 12.02.2018 | – |
| 2.1 | Определение направления исследования | 12.02.2018- 14.02.2018 | – |
| 2.2 | Анализ и изучение технической литературы | 14.02.2018- 10.03.2018 | Список литературы |
| 3.1 | Изучение оборудования | 01.03.2018- 01.04.2018 | – |
| 3.2 | Составление дозиметрических планов для сочетанного курса лучевой терапии | 01.04.2018- 10.04.2018 | – |
| 4.1 | Изучение методики совмещения планов для лучевой и брахи- терапии | 10.04.2018- 12.04.2018 | - |
| 4.2 | Проведение верификации дозиметрических планов | 12.04.2018- 16.04.2018 | – |
| 4.3 | Анализ и обработка полученных данных | 16.04.2018- 05.05.2018 | Отчет |
| 5.1 | Сравнение полученных данных | 05.05.2018- 12.05.2018 | Отчет |
| 5.2 | Корректировка методики | 19.04.2018- 15.05.2018 | – |
| 5.3 | Оформление выполненной работы | 11.04.2018- 25.05.2018 | Отчет |
| 5.4 | Подготовка к защите диссертационной работы | 25.05.2018- 15.06.2018 | Презентация |

12.2.3 План проекта

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный график проекта, представленный в таблице 20. Далее с помощью диаграммы Гранта в таблице 21 проиллюстрирован календарный план проекта,

на котором работы по теме характеризуются датами начала и окончания выполнения данных работ.

Таблица 20 – Календарный план проекта

| № | Название | Т, кал. дн. | Дата | Состав участников |
|-----|--|-------------------|-----------------------|-------------------------|
| 1 | Разработка технического задания | 2 | 08.02.2018-10.02.2018 | Руководитель |
| 1.1 | Составление и утверждение технического задания | 2 | 10.02.2018-12.02.2018 | Руководитель |
| 2.1 | Выбор направления исследования | 2 | 12.02.2018-14.02.2018 | Руководитель Инженер |
| 2.2 | Изучение научно-технической литературы и используемого оборудования | 24 | 14.02.2018-10.03.2018 | Инженер |
| 3.1 | Изучение планирующей системы XiO и HDRPlus | 31 | 01.03.2018-01.04.2018 | Инженер |
| 3.2 | Составление дозиметрических планов для сочетанного курса лучевой терапии | 9 | 01.04.2018-10.04.2018 | Инженер |
| 4.1 | Изучение методики совмещения планов для лучевой и брахи- терапии | 2 | 10.04.2018-12.04.2018 | Руководитель Инженер |
| 4.2 | Проведение верификации дозиметрических планов | 4 | 12.04.2018-16.04.2018 | Инженер |
| 4.3 | Анализ и обработка экспериментально полученных данных | 19 | 16.04.2018-05.05.2018 | Инженер |
| 5 | Анализ и сравнение полученных результатов | 26 | 16.04.2017-12.05.2017 | Инженер |
| 5.1 | Корректировка модели | 7 | 12.05.2018-19.05.2018 | Инженер |
| 5.2 | Оформление выполненной работы | 44 | 11.04.2018-25.05.2018 | Инженер |
| 5.3 | Подготовка к защите диссертационной работе | 21 | 25.05.2018-15.06.2018 | Инженер |

Таблица 21 – Календарный план-график в виде диаграммы Ганта.

| № | Вид работ | Исполнители | Тк кал дн | Продолжительность выполнения работ | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|--|-------------------------|-----------------|------------------------------------|---|------|---|---|------|---|---|-----|---|---|------|---|--|--|
| | | | | Фев | | Март | | | Апр. | | | Май | | | Июнь | | | |
| | | | | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | | |
| 1 | Разработка технического задания | Руководитель | 2 | ■ | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.1 | Составление и утверждение технического задания | Руководитель | 2 | ■ | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.1 | Выбор направления исследования | Руководитель Инженер | 2 | ■ | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.2 | Изучение научно-технической литературы и используемого оборудования | Инженер | 24 | ■ | | ■ | | | | | | | | | | | | |
| 3.1 | Изучение планирующей системы XiO и HDRPlus | Инженер | 31 | | | ■ | | | | | | | | | | | | |
| 3.2 | Составление дозиметрических планов для сочетанного курса лучевой терапии | Инженер | 9 | | | | | | ■ | | | | | | | | | |
| 4.1 | Изучение методики совмещения планов для лучевой и брахитерапии | Руководитель Инженер | 2 | | | | | | | ■ | | | | | | | | |
| 4.2 | Проведение верификации дозиметрических планов | Инженер | 4 | | | | | | ■ | | | | | | | | | |
| 4.3 | Анализ и обработка экспериментально полученных данных | Инженер | 19 | | | | | | | ■ | | | | | | | | |
| 5 | Анализ и сравнение полученных результатов | Инженер | 7 | | | | | | | | ■ | | | | | | | |
| 5.1 | Корректировка модели | Инженер | 7 | | | | | | | | ■ | | | | | | | |
| 5.2 | Оформление выполненной работы | Инженер | 43 | | | | | | ■ | | | ■ | | | | | | |
| 5.3 | Подготовка к защите диссертационной работе | Инженер | 14 | | | | | | | | | | ■ | | | | | |



- руководитель;



- руководитель+ магистрант;



- магистрант.

12.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

1. Материалы.
2. Затраты на оплату труда работников, непосредственно участвующих в НИОКР.
3. Отчисления во внебюджетные фонды.
4. Работы, выполняемые сторонними организациями.
5. Спецоборудование для научных и экспериментальных работ.
6. Прочие прямые расходы.
7. Накладные расходы.

Статьи 1-7 относятся к прямым затратам, величину прямых затрат, как правило, следует определять прямым счетом, это затраты, связанные непосредственно с выполнением конкретного НТИ, остальные затраты рассчитываются косвенным способом, это затраты на содержание аппарата управления, общетехнических и общехозяйственных служб, они объединяются в статье «Накладные расходы».

12.3.1 Расчет материальных затрат

Основными затратами в данной исследовательской работе являются затраты на электроэнергию при работе на планирующей системе и персональном компьютере. Результаты расчётов по затратам на материалы приведены в таблице 22.

Таблица 22 – Материальные затраты

| Наименование | Марка, размер | Количество электроэнергии, кВт·ч | Цена за единицу, руб. | Сумма, руб. |
|---|---------------|----------------------------------|-----------------------|-------------|
| Электроэнергия, потреблённая персональным компьютером и сопутствующими устройствами | — | 264 | 5,8 | 1531,2 |
| Наименование | Марка, размер | Количество | Цена за единицу, руб. | Сумма, руб. |
| Бумага | SvetoCopy | 1 пачка | 210 | 210 |
| Ручка | Pilot | 1 | 30 | 30 |
| Доступ в интернет | — | 4 месяца | 500 | 2000 |
| Всего за материалы | | | | 3771,2 |
| Транспортно-заготовительные расходы | | | | 0 |
| Итого, руб.: | | | | 3771,2 |

12.3.2 Расчёт суммы амортизационных отчислений оборудования для экспериментальных работ

Оборудование, используемое в научной работе, уже имелось в радиологическом отделении. В данной статье включены в себя все затраты, связанные с приобретением специального оборудования. Стоимость оборудования, используемого при выполнении научного проекта учитывается в виде амортизационных отчислений. В данной диссертационной работе к спецоборудованию, необходимому для проведения экспериментальных работ, относятся планирующие системы XIO и HDRPlus в ОГАУЗ «Томский областной онкологический диспансер», которые были созданы ведущими мировыми корпорациями по разработке и производству высокотехнологичного медицинского оборудования и информационных систем для лучевой терапии, их ориентировочная стоимость составляет 10 и 15

млн. рублей при назначенном сроке службы – 25 лет.

Затраты на амортизацию оборудования рассчитываются по формуле:

$$C_{\text{аморт}} = C_{\text{об}}/T,$$

где $C_{\text{об}}$ – стоимость оборудования в рублях; T – срок службы, в количестве дней.

Оборудование использовалось с остановками в течении года, поэтому берем 251 рабочий день.

$$\text{Саморт} = 25000000/(25*251) = 3984 \text{ руб/день}$$

Оборудование использовалось в течение 28 дней, таким образом, затраты на оборудование:

$$\text{Саморт.общ} = 3984*28 = 111552 \text{ руб.}$$

В себестоимость НТИ также была включена стоимость электроэнергии.

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$C = C_{\text{эл}} \cdot P \cdot F_{\text{об}},$$

где $C_{\text{эл}}$ – тариф на промышленную электроэнергию (5,8 рублей за 1 киловатт в час);

P – мощность оборудования измеряется в кВт; $F_{\text{об}}$ – время использования оборудования в часах.

При выполнении работы использовался стационарный компьютер со средней мощностью 550 Вт (0,55 кВт). Если предположить, что вся работа выполнялась на нем, то, всего было израсходовано:

$$E = P \cdot F_{\text{об}} = 0,55 \cdot 480 = 264 \text{ кВт} \cdot \text{ч.}$$

Рассчитывался восьмичасовой рабочий день, при пятидневной рабочей неделе.

$$\text{Затраты на энергию: } C = 5.8 * 264 = 1531.2$$

Итого стоимость электроэнергии составила: 1531.2 руб.

12.3.3 Затраты на оплату труда исполнителей НИИ

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату [26].

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп},$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата;

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата научного руководителя рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда. Отраслевая система оплаты труда в ТПУ предполагает следующий состав заработной платы:

1. оклад – определяется предприятием. В ТПУ оклады распределены в соответствии с занимаемыми должностями, например, ассистент, ст. преподаватель, доцент, профессор.

2. стимулирующие выплаты – устанавливаются руководителем подразделений за эффективный труд, выполнение дополнительных обязанностей и т.д.

Дополнительная заработная плата включает оплату за непроработанное время (очередной и учебный отпуск, выполнение государственных обязанностей, выплата вознаграждений за выслугу лет и т.п.) и рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{доп} = K_{доп} \cdot Z_{осн},$$

Где $Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата в рублях; $K_{доп}$ – коэффициент дополнительной зарплаты; $Z_{осн}$ – основная заработная плата в рублях.

Основная заработная плата руководителя рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}},$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника;

$T_{\text{раб}}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником в рабочих днях;

$Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника в рублях. Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot \text{М}}{\text{ФД}} = \frac{Z_{\text{б}} \cdot k_{\text{р}} \cdot \text{М}}{\text{ФД}},$$

где $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

М – количество месяцев работы без отпуска в течение года;

ФД – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала (в рабочих днях);

$Z_{\text{б}}$ – базовый оклад;

$k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3 для Томска.

Количество месяцев работы без отпуска в течение года рассчитывается следующим образом: при отпуске в 28 рабочих дней $\text{М} = 11$ месяцев, 6-дневная неделя.

Базовый оклад инженера кафедры НИ ТПУ, имеющего ученую степень кандидата технических наук и звание «преподаватель» составляет 20800 руб. Заработная плата инженера состоит из оклада в размере 9489 руб.

Основная заработная плата руководителя за период проведения работ (8 рабочих дня) равна:

$$Z_{\text{дн}} = (20800 \cdot 1.3 \cdot 10.4) / 249 = 1129 \text{ руб/день}$$

$$Z_{\text{осн}} = 1129 \cdot 8 = 9032 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{доп}} = 9032 \cdot 0.15 = 1355 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{зп}} = 9032 + 1355 = 10387 \text{ руб.}$$

Заработная плата инженера состоит из оклада инженера. Инженер, выполнивший данную работу, получает оклад в размере 9489 руб, считаем сумму за 4 месяца научно-исследовательской работы. Заработная плата составит: $C = 9489 \cdot 4 = 37956$ руб.

$$З_{дн} = (9489 \cdot 1.3 \cdot 11.2) / 201 = 687 \text{ руб/день}$$

$$З_{осн} = 687 \cdot 82 = 56334 \text{ руб.}$$

$$З_{доп} = 56334 \cdot 0.15 = 8450 \text{ руб.}$$

$$С_{зп} = 56334 + 8450 = 64784 \text{ руб.}$$

12.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды

Размер отчислений во внебюджетные фонды составляет 32% в 2017 от суммы затрат на оплату труда работников, непосредственно занятых выполнением НИОКР [27].

$$C_{внеб} = K_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}),$$

где $K_{внеб}$ – коэффициент отчислений в социальные фонды.

Для руководителя:

$$C_{внеб} = 0.271 \cdot 10387 = 2815 \text{ руб.}$$

Для инженера:

$$C_{внеб} = 0.271 \cdot 60784 = 16472 \text{ руб.}$$

12.3.5 Накладные расходы

Для учета накладных расходов нужно учесть расходы на содержание аппарата управления и общехозяйственных (общеуниверситетских) служб, которые в равной степени относятся ко всем выполняемым НИИ. По этой статье учитываются оплата труда административно-управленческого персонала, содержание зданий, оргтехники и хозяйственного инвентаря, амортизация имущества, расходы по охране труда и подготовке кадров.

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие

в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 6) \cdot k_{\text{нр}},$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величина коэффициента накладных расходов взята в размере 16%.

$$Z_{\text{накл}} = (64784 + 10387) \cdot 0.16 = 12027 \text{ руб.}$$

12.4 Формирование бюджета затрат научно-технического исследования (НТИ)

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта. Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 23.

Таблица 23– Расчет бюджета затрат НТИ

| Наименование статьи | Стоимость затрат, в рублях (руководитель+магистр) |
|---|---|
| 1. Материальные затраты НТИ | 3771,2 |
| 2. Затраты на оборудование | 111552 |
| 3. Затраты на энергию | 1531,2 |
| 4. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы | 65366 |
| 5. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы | 8450 |
| 8. Отчисления во внебюджетные фонды | 19287 |
| 9. Накладные расходы | 12027 |
| 10. Бюджет затрат НТИ | 221984,4 |

В ходе выполнения экономической части ВКР были проведены расчеты плановой себестоимости проведения НТИ и времени, необходимого на проведение ВКР. Плановая себестоимость работы составляет 221984,4 руб., основная составляющая, которой – затраты на оборудование.

12.5 Расчет научно-технического эффекта

В последнее время для оценки научной ценности, технической значимости и эффективности планируемых и выполняемых госбюджетных и хоздоговорных работ, получил распространение метод бальных оценок. Бальная оценка заключается в том, что каждому фактору по принятой шкале присваивается определенное количество баллов. Обобщенную оценку проводят по сумме баллов по всем показателям или рассчитывают по формуле. На этой основе делается вывод о целесообразности НИОКР. Сущность этой методики состоит в том, что на основе оценок признаков работы определяется коэффициент научно-технического эффекта НИОКР по формуле:

$$H = \sum_{i=1}^3 k_i \times n_i ,$$

где H - показатель НТУ

k – весовой коэффициент i-го признака НТУ

n – оценка (в баллах) i-го признака

Согласно таблице 10 показатель НТУ равен:

$$H = 0.6 \cdot 7 + 0.4 \cdot 6 + 0.2 \cdot (10 + 4) = 4.2 + 2.4 + 2.8 = 9.4$$

Оценка уровня проводится по следующей шкале:

| | |
|----------------|----------------------------|
| 1...4 балла | - низкий НТУ |
| 5...7 баллов | - средний НТУ |
| 8...10 баллов | - сравнительно высокий НТУ |
| 11...14 баллов | - высокий НТУ |

Таблица 24 – Оценка НТУ НИОКР

| Признак НТУ | Весовой коэфф. | Балл | Характеристика разработки | Выбранный балл |
|-----------------------------------|----------------|--------------------------------|--|----------------|
| Уровень новизны | 0.6 | 8...10 | Принципиально новая | 7 |
| | | 5...7 | Новая | |
| | | 2...4 | Относительно новая | |
| | | 0 | Не обладает новизной | |
| Теоретический уровень результатов | 0.4 | 10 | Установление закона | 6 |
| | | 8 | Глубокая разработка проблемы | |
| | | 6 | Разработка способа (программы, устройства) | |
| | | 2 | Элементарный анализ | |
| | | 0.5 | Изложение опыта | |
| Возможность реализации | 0.2 | Время реализации | | 10 |
| | | 10 | В течение первых лет | |
| | | 4 | От 5 до 10 лет | |
| | | 2 | Свыше 10 лет | |
| | | Масштаб реализации | | 4 |
| | | 10 | Народное хозяйство | |
| 4 | Отрасль | | | |
| | 2 | Одно или несколько предприятий | | |

Вывод: согласно шкале оценки уровня НТУ – у данной методики сравнительно высокий НТУ.

12.6 Организационная структура проекта

Организационная структура проекта — наиболее соответствующая проекту временная организационная структура, включающая всех его участников и создаваемая для успешного достижения целей проекта.

Разработка организационной структуры проекта включает:

- идентификацию всех организационных единиц;
- определение ролей участников проекта и их взаимодействия,
- определение ответственности и полномочий;
- распределение ответственности и полномочий между

организационными единицами структуры;

разработку инструкций, регламентирующих взаимодействия в структуре и рабочие процедуры.

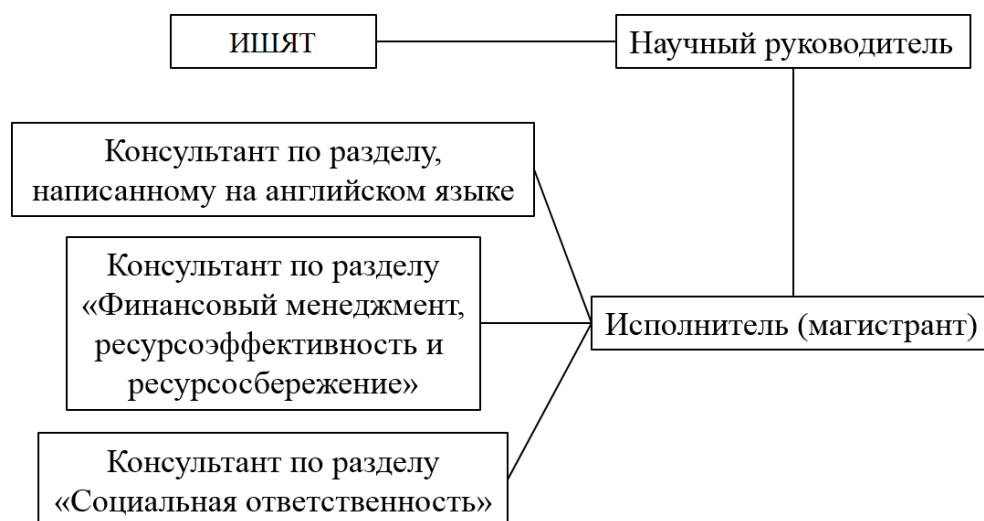


Рисунок 18 –Иерархическая структура работ

Организационная структура проекта является динамической структурой, которая претерпевает изменения в процессе осуществления проекта. Эти изменения зависят от фаз жизненного цикла проекта, типов, используемых в проекте контрактов, и других условий выполнения проекта. Организационная структура данного проекта представлена на Рисунке 18.

12.7 Матрица ответственности

Матрица ответственности определяет степень ответственности каждого члена проекта за ту или иную задачу, если он имеет к ней некоторое отношение.

Таблица 25 – Матрица ответственности

| Этапы исследования | Научный руководитель | Консультант Англ.яз. | Консультант менеджмент | Консультант Соц.отв-ть. | Магистрант |
|--|----------------------|----------------------|------------------------|-------------------------|------------|
| Сбор и изучение научно-технической литературы | О | | | | И |
| Изучение программного обеспечения | О | | | | И |
| Моделирование процесса | О | | | | И |
| Анализ и обработка полученных теоретически результатов | О | | | | И |
| Разработка методики экспериментальных исследований | О | | | | И |
| Проведение экспериментальных исследований | О | | | | И |
| Анализ и обработка полученных экспериментально результатов | О | | | | И |
| Оценка ресурсоэффективности и ресурсосбережения | | | С | | И |
| Раздел социальной Ответственности | | | | С | И |
| Перевод раздела на английский язык | | С | | | И |
| Оформление пояснительной записки и презентации | С | | | | И |

Ответственный (О)– лицо, отвечающее за реализацию этапа проекта и контролирующее его ход. Исполнитель (И) – лицо (лица), выполняющие работы в рамках этапа проекта. Утверждающее лицо (У) – лицо, осуществляющее утверждение результатов этапа проекта (если этап предусматривает утверждение). Согласующее лицо (С) – лицо, осуществляющее анализ результатов проекта и участвующее в принятии решения о соответствии результатов этапа требованиям.

12.8 Определение ресурсной эффективности исследования

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i,$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^b – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

При выборе критериев для сравнительной характеристики ресурсоэффективности за основу была взята оценочная карта конкурентных технических решений (таблице 26), важные составляющие которой приведены ниже: - безопасность, т.к. существует необходимость снижения многократной лучевой нагрузки.

- удобство в эксплуатации, понятный и не сложный интерфейс систем управления клинической установкой, а так же использование дополнительных модификаций терапевтического пучка;

- время наработки данных, от этого параметра зависит количество и качество проверенных дозиметрических планов лечения;

- надежность метода и функциональная мощность оборудования, надежная работа оборудования обеспечивает возможность проведения лучевой терапии, вследствие этого увеличивается количество пациентов, которым может быть оказана помощь;

- энергосбережение является фактором экономической выгоды.

Таблица 26– Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

| Критерии \ ПО | Весовой коэффициент параметра | Текущий проект | Аналог 1 | Аналог 2 |
|--|-------------------------------|----------------|----------|----------|
| 1.Безопасность | 0,1 | 5 | 4 | 5 |
| 2. Удобство в эксплуатации | 0,2 | 4 | 3 | 5 |
| 3. Время наработки данных | 0,3 | 4 | 4 | 4 |
| 4. Энергосбережение | 0,1 | 4 | 5 | 4 |
| 5. Надежность | 0,2 | 5 | 4 | 3 |
| 6.Функциональная мощность оборудования (предоставляемые возможности) | 0,1 | 5 | 5 | 4 |
| ИТОГО | 1 | 4,4 | 4 | 4,1 |

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_i}{\Phi_{max}}$$

где Φ_i – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_p}{\Phi_{max}} = \frac{221984,4}{221984,4} = 1$$

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_{a1}}{\Phi_{max}} = \frac{201875,1}{221984,4} = 0.909$$

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_{a2}}{\Phi_{max}} = \frac{198223}{221984,4} = 0.893$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{финр}^p$) и аналога ($I_{финр}^a$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{I_m^p}{I_{\text{ф}}^p}, I_{\text{финр}}^a = \frac{I_m^a}{I_{\text{ф}}^a},$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{ф}} = \frac{4.4}{1} = 4.4$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{a1}} = \frac{4}{0.909} = 4.4$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{a2}} = \frac{4.1}{0.893} = 4.6$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта.

Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{финр}}^p}{I_m^p}$$

Таблица 27 – Сравнительная эффективность анализа

| № п/п | Показатели | Аналог 1 | Аналог 2 | Разработка |
|-------|---|----------|----------|------------|
| 1 | Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки и аналогов | 4 | 4,1 | 4,4 |
| 2 | Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки и аналога | 4.4 | 4,6 | 4,4 |
| 3 | Сравнительная эффективность вариантов исполнения | 1.1 | 1,12 | 1 |

На основе расчета интегрального показателя с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности научного исследования можно заключить что, сравнительная оценка текущего проекта имеет самое значение между двумя аналогами. Несмотря на это, т.к. в медицине главное – забота о пациенте, то данная методика является лучшим вариантом при лечении рака шейки матки.

Дальнейшее инвестирование данной разработки можно считать целесообразными.

Таким образом, итоговая себестоимость НИР составила 221984,4 рубля, время, необходимое для выполнения работы, составило 127 календарных дней.

13 Социальная ответственность

В современных условиях одним из основных направлений улучшения всей профилактической работы по снижению производственного травматизма и профессиональной заболеваемости является повсеместное внедрение комплексной системы управления охраной труда, то есть путем объединения разрозненных мероприятий в единую систему целенаправленных действий на всех уровнях и стадиях производственного процесса.

Охрана труда – это система законодательных, социально-экономических, организационных, технологических, гигиенических и лечебно-профилактических мероприятий и средств, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособности человека в процессе труда.

Правила по охране труда и техники безопасности вводятся в целях предупреждения несчастных случаев, обеспечения безопасных условий труда работающих и являются обязательными для исполнения рабочими, руководящими, инженерно-техническими работниками.

Опасным производственным фактором, называется такой производственный фактор, воздействие которого в определенных условиях приводят к травме или другому внезапному, резкому ухудшению здоровья.

Вредным производственным фактором называется такой производственный фактор, воздействие которого на работающего, в определенных условиях, приводит к заболеванию или снижению трудоспособности.

13.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы при написании данной диссертационной работы представлены в таблице 28.

Таблица 28 – Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы

| Наименование видов работ и параметров производственного процесса | ФАКТОРЫ ГОСТ 12.0.003-15 ССБТ | | Нормативные документы |
|--|--|-------------------|---|
| | Вредные | Опасные | |
| Трехмерная дозиметрическая оценка сочетанного курса лучевой терапии на планирующих станциях ХЮ и HDRplus в отделе медицинских физиков ОГАУЗ ТООД | Повышенный уровень электромагнитного излучения | | СанПиН 2.6.1.2573-2010 |
| | | Электрический ток | ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность |
| | Воздействие радиации (ВЧ, УВЧ, СВЧ и т.д.) | | СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. «Гигиенические требования к ПЭВМ и организация работы» |
| | | Пожароопасность | ППБ 01-03. Правила пожарной безопасности в Российской Федерации. |

Производственные условия на рабочем месте характеризуются наличием опасных и вредных факторов, которые классифицируются по группам элементов: физические, химические, биологические, психофизиологические.

На оператора в пультовой линейного ускорителя воздействуют следующие факторы:

1) физические:

- температура и влажность воздуха;
- шум;
- статическое электричество;
- электромагнитное поле низкой чистоты;
- освещённость;
- наличие ионизирующего излучения;

2) психофизиологические.

Психофизиологические опасные и вредные производственные факторы, делятся на: физические перегрузки (статические, динамические) и нервно-психические перегрузки (умственное перенапряжение, монотонность труда, эмоциональные перегрузки).

13.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного воздействия и устранению их влияния при работе на персональном компьютере

13.2.1 Организационные мероприятия

Весь персонал обязан знать и строго соблюдать правила техники безопасности. Обучение персонала технике безопасности и производственной санитарии состоит из вводного инструктажа и инструктажа на рабочем месте ответственным лицом.

Проверка знаний правил техники безопасности проводится

квалификационной комиссией после обучения на рабочем месте. Проверяемому, присваивается соответствующая его знаниям и опыту работы квалификационная группа по технике безопасности и выдается специальная удостоверение.

Лица, обслуживающие электроустановки не должны иметь увечий и болезней, мешающих производственной работе. Состояние здоровья устанавливается медицинским освидетельствованием.

13.2.2 Организация рабочего места оператора персонального компьютера

Рациональная планировка рабочего места предусматривает четкий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации. То, что требуется для выполнения работ чаще должно располагаться в зоне легкой досягаемости рабочего пространства. Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости представлены на Рисунке 19, где, а – зона максимальной досягаемости рук; б – зона досягаемости пальцев при вытянутой руке; в – зона легкой досягаемости ладони; г – оптимальное пространство для грубой ручной работы; д – оптимальное пространство для тонкой ручной работы.

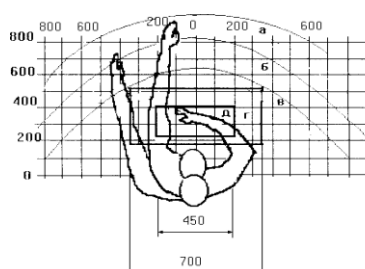


Рисунок 19 – Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости

Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости рук: дисплей размещается в зоне а (в центре); клавиатура – в зоне г/д; системный блок размещается в зоне б (слева); принтер находится в зоне а (справа); в зоне в (слева) литература и документация, необходимая при

работе; в выдвижных ящиках стола – литература, не используемая постоянно.

При проектировании письменного стола должны быть учтены следующие требования.

Высота рабочей поверхности стола рекомендуется в пределах 680-800 мм. Высота рабочей поверхности, на которую устанавливается клавиатура, должна быть 650 мм. Рабочий стол должен быть шириной не менее 700 мм и длиной не менее 1400 мм. Должно иметься пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной – не менее 500 мм, глубиной на уровне колен – не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног – не менее 650 мм.

Рабочее кресло должно быть подъёмно-поворотным и регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а так же расстоянию спинки до переднего края сиденья. Рекомендуется высота сиденья над уровнем пола 420- 550 мм. Конструкция рабочего кресла должна обеспечивать: ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм; поверхность сиденья с заглаблённым передним краем.

Монитор должен быть расположен на уровне глаз оператора на расстоянии 500-600 мм. Согласно нормам, угол наблюдения в горизонтальной плоскости должен быть не более 45°к нормали экрана. Лучше если угол обзора будет составлять 30°. Кроме того, должна быть возможность выбирать уровень контрастности и яркости изображения на экране.

Должна предусматриваться возможность регулирования экрана:

по высоте +3 см;

по наклону от 10 до 20 градусов относительно вертикали;

в левом и правом направлениях.

Клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии 100-300 мм от края. Нормальным положением клавиатуры является её

размещение на уровне локтя оператора с углом наклона к горизонтальной плоскости 15°. Более удобно работать с клавишами, имеющими вогнутую поверхность, четырёхугольную форму с закруглёнными углами. Конструкция клавиши должна обеспечивать оператору ощущение щелчка. Цвет клавиш должен контрастировать с цветом панели.

При однообразной умственной работе, требующей значительного нервного напряжения и большого сосредоточения, рекомендуется выбирать неяркие, малоконтрастные цветочные оттенки, которые не рассеивают внимание (малонасыщенные оттенки холодного зеленого или голубого цветов). При работе, требующей интенсивной умственной или физической напряженности, рекомендуются оттенки тёплых тонов, которые возбуждают активность человека.

13.2.3 Условия безопасной работы

Основные параметры, характеризующие условия труда это: микроклимат, шум, вибрация, электромагнитное поле, излучение, освещённость.

Воздух рабочей зоны (микроклимат) производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Оптимальные и допустимые значения характеристик микроклимата устанавливаются в соответствии с ОСПОРБ – 99/2010 и приведены в таблице 29.

Таблица 29 – Оптимальные и допустимые параметры микроклимата

| Период года | Температура, °С | Относительная влажность, % | Скорость движения воздуха, м/с |
|-----------------------|-----------------|----------------------------|--------------------------------|
| Холодный и переходный | 23-25 | 40-60 | 0,1 |
| Тёплый | 23-25 | 40 | 0,1 |

К мероприятиям по оздоровлению воздушной среды в производственном помещении относятся: правильная организация вентиляции и кондиционирования воздуха, отопление помещений. Вентиляция может осуществляться естественным и механическим путём. В помещение должны подаваться следующие объёмы наружного воздуха: при объёме помещения до 20 м^3 на человека – не менее 30 м^3 в час на человека; при объёме помещения более 40 м^3 на человека и отсутствии выделения вредных веществ допускается естественная вентиляция.

Система отопления должна обеспечивать достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. В помещениях с повышенными требованиями к чистоте воздуха должно использоваться водяное отопление. Параметры микроклимата в используемой лаборатории регулируются системой центрального отопления, и имеют следующие значения: влажность – 40%, скорость движения воздуха – 0,1 м/с, температура летом составляет от 20 до 25°C, зимой – от 13 до 15°C. В лаборатории осуществляется естественная вентиляция. Воздух поступает и удаляется через щели, окна, двери. Основным недостатком такой вентиляции в том, что приточный воздух поступает в помещение без предварительной очистки и нагревания.

Шум и вибрация ухудшают условия труда, оказывают вредное воздействие на организм человека, а именно, на органы слуха и на весь организм через центральную нервную систему. В результате этого ослабляется внимание, ухудшается память, снижается реакция, увеличивается число ошибок при работе. Шум может создаваться работающим оборудованием, установками кондиционирования воздуха, осветительными приборами дневного света, а также проникать извне. При выполнении работы на ПЭВМ уровень шума на рабочем месте не должен превышать 50 дБ.

Экран и системные блоки производят электромагнитное излучение. Основная его часть происходит от системного блока и видеокабеля.

Напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг экрана по электрической составляющей должна быть не более:

- в диапазоне частот 5-2000 Гц – 25 В/м;

- в диапазоне частот 2-400 кГц – 2,5 В/м. Плотность магнитного потока должна быть не более:

- в диапазоне частот 5-2000 Гц – 250нТл;

- в диапазоне частот 2-400 кГц – 25нТл. Существуют следующие способы защиты от ЭМП:

- увеличение расстояния от источника (экран должен находиться на расстоянии не менее 50 см от пользователя);

- применение приэкранных фильтров, специальных экранов и других средств индивидуальной защиты.

При работе с компьютером источником ионизирующего излучения является дисплей. Под влиянием ионизирующего излучения в организме может происходить нарушение нормальной свертываемости крови, увеличение хрупкости кровеносных сосудов, снижение иммунитета и др. Доза облучения при расстоянии до дисплея 20 см составляет 50 мкР/час. По нормам федерального закона «Об основах охраны труда» от 17.07.1999 г. № 181-ФЗ, конструкция ЭВМ должна обеспечивать мощность эквивалентной дозы рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0,05 м от экрана не более 100 мкР/час.

Утомляемость органов зрения может быть связана как с недостаточной освещенностью, так и с чрезмерной освещенностью, а также с неправильным направлением света.

13.3 Электробезопасность

В зависимости от условий в помещении опасность поражения человека электрическим током увеличивается или уменьшается. Не следует работать

с ЭВМ и другими электрическими установками в условиях повышенной влажности (относительная влажность воздуха длительно превышает 75%), высокой температуры (более 35°C), наличии токопроводящей пыли, токопроводящих полов и возможности одновременного прикосновения к имеющим соединение с землёй металлическим элементам и металлическим корпусом электрооборудования.

Оператор ЭВМ работает с электроприборами: компьютером (дисплей, системный блок и т.д.) и периферийными устройствами. Существует опасность электропоражения в следующих случаях:

- при непосредственном прикосновении к токоведущим частям во время ремонта;
- при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (в случае нарушения изоляции токоведущих частей);
- при прикосновении с полом, стенами, оказавшимися под напряжением;
- при коротком замыкании в высоковольтных блоках: блоке питания и блоке дисплейной развёртки.

Действие электрического тока на человека носит сложный и разнообразный характер. При замыкании электрической цепи через организм человека ток оказывает термическое, электролитическое, биологическое и механическое воздействие.

Термическое действие тока проявляется в виде ожогов как наружных участков тела, так и внутренних органов, в том числе кровеносных сосудов и нервных тканей. Электроожоги излечиваются значительно труднее и медленнее обычных термических, сопровождаются внезапно возникающими кровотечениями, омертвением отдельных участков тела.

Электролитическое действие тока вызывает электролиз крови и лимфатической жидкости, в результате чего нарушается их химический состав и ткани организма в целом.

Биологическое воздействие выражается в раздражении живых тканей организма. Электрический ток нарушает действие биотоков, управляющих внутренним движением ткани, вызывает непроизвольное, противоестественное судорожное сокращение мышц сердца и легких.

Механическое действие тока, на организм является причиной электрических травм. Характерными видами электротравм являются ожоги, электрические знаки, металлизация кожи, электроофтальмия, разрывы тканей, вывихи суставов и переломы костей.

В качестве мероприятий по обеспечению безопасности работы с электрооборудованием могут быть использованы следующие защитные средства:

- отключение напряжения с токоведущих частей, на которых или вблизи которых будет проводиться работа, и принятие мер по обеспечению невозможности подачи напряжения к месту работы;
- вывешивание плакатов, указывающих место работы;
- заземление корпусов всех установок через нулевой провод;
- покрытие металлических поверхностей инструментов надежной изоляцией;
- недоступность токоведущих частей аппаратуры (заклучение в корпуса электропоражающих элементов, заклчение в корпус токоведущих частей).

13.4 Пожарная безопасность

Согласно правилам пожарной безопасности Российской Федерации (ППБ 01-03), в зависимости от характеристики используемых в производстве веществ и их количества, по пожарной и взрывной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В, Г, Д. Так как помещение по степени пожаровзрывоопасности относится к категории В, т.е. к

помещениям с твердыми сгорающими веществами, необходимо предусмотреть ряд профилактических мероприятий.

Возможные причины загорания:

- неисправность токоведущих частей установок;
- работа с открытой электроаппаратурой;
- короткие замыкания в блоке питания;
- несоблюдение правил пожарной безопасности;
- наличие горючих компонентов: документы, двери, столы, изоляция кабелей и т.п.

Мероприятия по пожарной профилактике разделяются на следующие группы: организационные, технические, эксплуатационные и режимные.

Организационные мероприятия предусматривают правильную эксплуатацию оборудования, правильное содержание зданий и территорий, противопожарный инструктаж рабочих и служащих, обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности, издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации.

К техническим мероприятиям относятся: соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения, правильное размещение оборудования.

К режимным мероприятиям относятся, установление правил организации работ, и соблюдение противопожарных мер. Для предупреждения возникновения пожара от коротких замыканий, перегрузок и т. д. необходимо соблюдение следующих правил пожарной безопасности:

- исключение образования горючей среды (герметизация оборудования, контроль воздушной среды, рабочая и аварийная вентиляция);
- применение при строительстве и отделке зданий негорючих или трудно сгораемых материалов;

– правильная эксплуатация оборудования (правильное включение оборудования в сеть электрического питания, контроль нагрева оборудования);

– правильное содержание зданий и территорий (исключение образования источника воспламенения - предупреждение самовозгорания веществ, ограничение огневых работ);

– обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности;

– издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации;

– соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения;

– правильное размещение оборудования;

– своевременный профилактический осмотр, ремонт и испытание оборудования.

При возникновении аварийной ситуации необходимо:

1.Сообщить руководству (дежурному).

2.Позвонить в соответствующую аварийную службу или МЧС.

3.Принять меры по ликвидации аварии в соответствии с инструкцией.

14 Заключение

В ходе магистерской диссертации была проведена трехмерная дозиметрическая оценка сочетанного курса лучевой терапии рака шейки матки. Освоена методика по переносу дозиметрической информации из системы планирования ХЮ в систему HDRplus. Приобретен опыт оконтуривания критических органов и планируемых объемов. Проведен анализ полученных дозовых распределений и рассчитаны изоэффективные и биологически эффективные дозы для каждого пациента. Проведено сравнение полученных результатов с рекомендациями зарубежных протоколов.

В ходе анализа полученных данных было численно доказано, что сочетанный курс лучевой терапии рака шейки матки, проводимый в ОГАУЗ ТООД соответствует международным стандартам.

Также было изучено имеющееся оборудование для проведения сочетанного курса лучевой терапии, а именно – линейный ускоритель Elekta Synergy и гамма-аппарат Multisource HDR. Были освоены базовые навыки использования планирующей системы, для контактной терапии, HDRPlus.

15 Список публикаций студента

1. Трехмерная дозиметрическая оценка сочетанного курса лучевой терапии рака шейки матки // XV Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспективы развития фундаментальных наук», Россия, Томск, 24–27 апреля 2018 г.

16 Список литературы

1. Климанов В.А., Радиобиологическое и дозиметрическое планирование лучевой и радионуклидной терапии, часть 1, 2011, стр.348-350
2. Климанов В.А., Радиобиологическое и дозиметрическое планирование лучевой и радионуклидной терапии, часть 2, 2011, стр.198-204, 244-251
3. [Электронный ресурс] - http://rt-fix.ru/special/articles/rt_stages/
4. [Электронный ресурс]- http://oncogram.ru/view_page.php?page=232
5. [Электронный ресурс] - <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3863150/>
6. The International Commission on Radiation Units and Measurements, Journal of the ICRU Vol 10 No 1 (2010) Report 83, Oxford University Press
7. Магистерская диссертация, Исследование снижения дозовой нагрузки при различных методах топометрической подготовки, Вьюшков Д.В., ТПУ 2017.
8. Магистерская диссертация, Исследование области применимости алгоритмов расчета поглощенной дозы в системе планирования XiO для использования в клинической практике, Синягина М.А., ТПУ 2017.
9. Труфанов Г.Е., Асатурян М.А., Лучевая терапия: учебник, том 2, 2010, стр.192.
10. Международный протокол EMBRACE I/II, Vienna Medical University.

Приложение А

THREE-DIMENSION DOSIMETRIC EVALUATION OF CERVICAL CANCER OF COMBINED COURSE

Студент

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|-------------------------------|---------|------|
| 0АМ6М | Модебадзе Георгий Славович | | |

Руководитель ВКР

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|--|-----------|---------------------------|---------|------|
| Начальник отдела ОМФ ОГАУЗ «ТООД» | Сухих Е.С | к.ф.-м.н. | | |

Консультант-лингвист Отделения иностранных языков ШБИП

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|--------------------------|---------------|---------------------------|---------|------|
| старший преподаватель | Кабрышева О.П | | | |

Contents

| | |
|---|-----|
| Introduction | 88 |
| Combined course of radiation therapy | 89 |
| Anatomy of the cervix. Typical ways of spreading a tumor..... | 89 |
| Diagnostic measures | 90 |
| Topometry | 90 |
| Simulation | 92 |
| Linac Elekta Synergy | 93 |
| The gamma device MultiSource HDR..... | 94 |
| Description of the planning system XiO..... | 95 |
| The radiation source..... | 97 |
| The wedge and the compensator..... | 97 |
| Planning system HDRplus | 98 |
| References | 100 |

Introduction

Cervical cancer (cervical cancer) remains one of the main causes of female deaths worldwide. According to the World Health Organization (WHO), about 500 000 cervical cancer patients are registered annually, which is 5% of all cancers and about 200 000 women die with this diagnosis.

Radiation therapy is considered to be an effective method of treatment, locally advanced cervical cancer and is used in most cases as an independent method of treating a tumor of this localization. [1]

Modern radiation oncology is aimed at developing and improving various ways to increase the effectiveness of treatment for cancer patients. Over the past decades, there has been a significant improvement in the methods of external and internal irradiation. Modern successes of radiotherapy for cervical cancer are also largely due to the great achievements of clinical radiobiology, clinical dosimetry, high scientific and technical level of topometric preparation and reproduction of treatment results. At the same time, despite the significant progress in the treatment of cervical cancer patients attained in the last 25 to 30 years, the results can't yet be considered satisfactory.

One of the areas of scientific and practical activity of radiation oncologists is to increase the effectiveness of treatment of patients with cervical cancer by developing and improving methods of combined radiotherapy. After the application of these methods began, the 5-year survival rate began to increase. Combined radiation therapy serves as a leading component of multimodal (combined) cervical cancer therapy, which consists of a combination of remote radiation therapy and intracavitary brachytherapy. More than 90% of patients with cervical cancer use radiation therapy as an independent method or as a component of combined treatment. For this method, it is necessary to assess the dose distribution in 3D, to evaluate the radiation load on critical organs, but on the other hand there is a positive side - increasing the dose to the

target, which implies an increase in the effectiveness of radiation therapy without exceeding the loads on critical organs.

Combined course of radiation therapy

Combined treatment - a combination of two fundamentally identical, but the methods are different in the mechanism of action and application (remote radiation therapy and brachytherapy);

For treatment of patients for a number of localizations, combined radiotherapy with intracavitary or interstitial irradiation can be considered as an alternative to surgical treatment for a localized tumor process in the case of irrationality of the surgical intervention or the patient's refusal to do so.

Anatomy of the cervix. Typical ways of spreading a tumor

The cervix is the lower part of the uterus protruding into the vaginal cavity in the upper third (ectocervix); it is covered with a flat epithelium. Has a conical shape and an average size of 3x3 cm. The inner part of the cervix (endocervix) is represented by an endocervical canal lined with a cylindrical epithelium passing into the endometrial canal. The area where two of the above-mentioned types of epithelium occur is commonly referred to as a flat-cylindrical connection. Most malignant tumors of the cervix develop precisely in this zone, germinating into the underlying stroma. The cervix is attached to the side wall of the pelvis by a pair of cardinal ligaments at the base of the broad ligament of the uterus containing uterine vessels located in the immediate vicinity of the cervix.

Lymph outflow from the cervix occurs in paracervical lymph nodes, which are drained by occlusal, internal and external iliac lymph nodes and then - common iliac and paraaortic groups.

Tumors of the cervix can have an exophytic or endophytic growth pattern with a direct spread to the bottom of the uterus, vaginal vaults, parametric fiber, pelvic wall, rectum, vagina, bladder.

Spreading through the lymph nodes is usually sequential, through the pelvic lymph nodes into the para-aortic lymph nodes. The risk of injury to the latter varies depending on the stage and size of the primary tumor. Patients with a distal vagina involved have a high risk of inguinal lymph nodes. The most frequently affected organs as a result of hematogenous metastasis are the lungs, mediastinum, supraclavicular fossa, bones and liver.

Diagnostic measures

- A thorough physical examination (examination in mirrors, bimanual examination, rectovaginal examination) with an assessment of the vaginal arches, rectovaginal space, parameters, pelvic wall, inguinal and supraclavicular lymph nodes.

- Cystoscopy and rectosigmoidoscopy to exclude germination into hollow organs.

- MRT of pelvic organs with intravenous contrast allows to determine the degree of tumor invasion in surrounding tissues and in this respect is more informative than CT for determining tumor contours.

- TT with contrasting or - especially - PET is recommended for determining the state of draining lymph nodes.

Topometry

Topometry is a diagnostic section devoted to methods of measurement and scale graphic display of individual topographic and anatomical relationships, incl. taking into account pathological changes in organs and tissues. [2]

At the initial stage of pre-radiotherapy, a complete clinical examination of the patient is performed, during which localization, prevalence, stage and morphological

type of tumor are determined. After that, the radiation therapist chooses the treatment method, based on the data of the complete clinical examination and the existing standards, and protocols, and then writes down to the primary simulation.

The primary simulation is performed by a radiation therapist, a radiologist and a medical physicist. [6]

The manufacturing of fixing devices is performed by an X-ray lab technologist, working on a simulator. The radiation therapist fills the card for preparation for radiation therapy. It includes information about the patient, the type of fixing devices used, patient insertion data, the thickness of the cut is determined for the volume of scanning and localization of the tumor. The radiation therapist carries out the necessary laying of the patient on the simulator table. The most important in this case is the choice of auxiliary devices for immobilization (head restraints, pillows, rollers), the use of individual fixation devices (thermoplastic masks, vacuum bags, mattresses), which is indicated in the training map. The topometrist applies marks on the patient's skin on the projection of lasers: two lateral, longitudinal and transverse (axial) lasers, as well as a reference point for the reference point (glue on the skin or on the mask with a spot-on patch).

Reference marks are placed on the inactive parts of the body:

- tumors of the head and neck
- in the projection of the main process;
- tumors of the chest - middle of the sternum;
- tumors of the abdominal cavity - middle of the xiphoid process;
- pelvic tumors - a large spit or the middle of the symphysis.

Topometry on a computer tomography (CT) for planning radiation therapy is carried out jointly by the X-ray lab of the simulator and the X-ray laboratory of the computer tomograph, based on the plan of the CT scan performed by the doctors of the radiologist and the radiation therapist. The X-ray simulator of the simulator delivers to the computer tomograph all the devices (head restraints, fixing devices) necessary for laying the patient, determined during the primary simulation. When pre-radial

preparation is carried out in planning conditions, it is possible to plot target volumes, as well as critical organs, on 20-40 CT scans.

The step of scanning is determined depending on the specific clinical situation (for lung cancer - 0.7-1.0 cm, brain tumors - 0.3-0.5 cm, pancreatic cancer - 0.5 cm, prostate cancer - 0, 3 cm). In the presence of a rigid fixation system, the scanning step can be reduced (at the discretion of the attending physician). Before scanning, the X-ray lab of the simulator fixes the point X-ray contrast mark on the reference mark and controls that the thickness of the cut at the scan matches the required.

The physician radiotherapist can extend the volume of CT examinations, for example, to add a neck examination to the thoracic examination, but can't reduce it, since for the calculation of doses the study should fully include all the zones of interest. If the radiotherapist has't expanded the scope of the study, CT is conducted in accordance with the standards. After the scan is complete, the X-ray lab sends the data to the planning station. The outline of the volumes of irradiation and critical organs is carried out by the radiotherapist with the involvement of an x-ray physician, if necessary. When planning radiotherapy, the contour of the irradiation is delineated. [8]

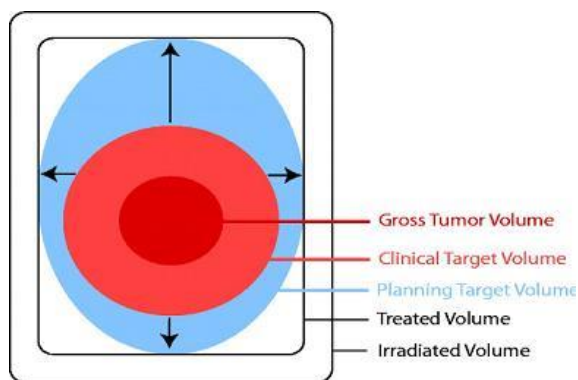


Fig.1. Scheme of radiation volumes

Simulation

The patient's placement can be performed both in the position on the back and on the abdomen (on a special stand that allows you to pull the stomach and remove the

small intestine from the small pelvis). If IMRT is planned, it is necessary to lay on the back using immobilizing devices in order to maximize the reproducibility of the installation.

For fixing, a vacuum mattress or footrest is used to fix the lower part of the trunk. If it is necessary to irradiate paraaortic lymph nodes, the patient puts her hands behind her head.

CT scanning is performed in steps of ≤ 3 mm. It is advisable to use intravenous contrast for the definition of blood vessels.

In case of vaginal vaulting or vaginal wall involvement into the tumor volume, the radiopaque mark should be placed near the caudal edge of the tumor; in addition, it is desirable to place a mark in the neck itself.

The degree of fullness of the bladder and rectum should be such as to provide approximately the same filling before each treatment session. For example, should recommend the patient to drink two full glasses of fluid an hour before the simulation and then - before the treatment, and also to empty the intestines in the morning before the session or do a cleansing enema. It is desirable to simulate an empty and complete bladder to determine the ITV vaginal canopy and / or GTV. Follow-up treatment is best done with a filled bladder in order to minimize the dose on it and on the intestine. If necessary, irradiate the inguinal lymph nodes, the simulation is performed in the "frog's position" - with the hips dilated.

Linac Elekta Synergy

The "Elekta Synergy Platform" system is an advanced development for radiation therapy of the leading global corporation ELEKTA Ltd, which fully meets the modern requirements of radiation oncology. The essential advantage of the accelerator over cobalt devices is that it is absolutely safe in the inoperative position and does't have powerful isotope radioactive sources. Also there is no problem of the source decay with time.



Fig.2. Elekta Synergy Accelerator

The accelerator includes a number of proven effective components: multilobal collimator MLCi2, portal visualization system iViewGT, high-energy linear accelerator with a wide range of energies, both for photon beams (6MeV, 10MeV, 15MeV) and for electrons (6-22 MeV). Photonic radiation is used for radiotherapy of deeply located tumors.

The gamma device MultiSource HDR

MultiSource HDR - gamma-based system, which operates on the principle of sequential automatic introduction of sources, is intended for use in the entire spectrum of contact radiation therapy. In addition to the widespread Ir-192 source, the MultiSource HDR can use a Co-60 source. The MultiSource HDR is a 20-channel system for sequential automatic source insertion.



Fig.3. The device for brachytherapy Multisource HDR.

The system is equipped with a wide range of applicators and catheters, includes innovative software with a user-friendly interface, as well as a unique security system for implementing various brachytherapy techniques: intracavitary, intraluminal, interstitial, superficial, intraoperative. The device is safe, accurate and at the same time cost-effective and comfortable to use.

A miniature Co-60 source and advantages of its use:

- The main advantage of using the Co-60 source is its longer half-life (5.27 years) and, correspondingly, a longer service life without recharging, which results in significant cost savings.

- High radiation and mechanical stability of the capsule ensures operation for at least 5 years without recharging (or 100,000 work cycles).

- A miniature Co-60 source, as well as Ir-192, can be used with universal applicators. Given the almost identical clinical parameters of the two sources, the Co-60 is highly cost-effective. In addition, because of the simpler spectrum and energy of radiation, the Co-60 dose distributions are more "smooth", less affected by the heterogeneity of the medium. [5]

Description of the planning system XiO

XiO radiotherapy planning system is designed to create radiotherapy plans for patients with oncological diseases, who are prescribed remote radiation therapy. The system allows calculation and presentation (on the screen or in the form of a printout) the values of the distribution of the radiation dose inside the patient's body for the specified parameters of the radiotherapy plan (in two-dimensional or three-dimensional mode).

The plans created with the help of a planning system can't replace a professional clinical evaluation. Before using therapy plans, patient information and source data in the course of radiation therapy, it is necessary to confirm their correctness.

The therapy plan is the main component of the planned course of radiation therapy for the patient. It is a collection of data files on the basis of which the radiation dose is calculated.

The radiotherapy plan defines the order of application of radiation sources and includes the following parameters:

- information about the patient;
- information on radiation sources (radiation beams used during remote radiation therapy, or groups of sources used during brachytherapy);
- information on the procedure for irradiating the patient.

The XiO system preserves the personal and anatomical data of each patient for whom a radiotherapy plan is being created. All stored data is assigned a unique patient identifier that is specified by the user.

The radiation therapy plan can be two-dimensional or three-dimensional (2D or 3D), depending on the nature of the study. The planning mode determines how the plan looks on the screen, adjusts the plan parameters and calculates the radiation dose.

The area of calculation is the area within the anatomical structure for which the radiation dose is calculated. The dose is calculated taking into account the points established only within the area and on its border. Outside the calculation area, the dose value is zero.

Areas of tissue of non-uniform density are related to the area of calculation and can be taken into account or not taken into account when calculating the dose.

If the dose is calculated without taking into account the heterogeneity of the tissue, the entire volume structure within the patient's body is perceived as water with uniform density. The relative electron density of anatomical structures and tumors is not taken into account.

To take into account the characteristics of anatomical structures, tissue density and geometric parameters of the patient, a correction for heterogeneity should be used. If the dose is calculated taking into account the heterogeneity of the tissue, one of two methods of calculating tissue density of anatomical structures can be used. [7]

The radiation source

Before the first use of the XiO system, the medical physicist collects a large amount of information from the equipment installed in the facility and enters them into the XiO system. This information mainly consists of measurement results obtained from a linear accelerator, and acceptance tests of a number of programs of the XiO system. The process of integrating the XiO system into the infrastructure of a medical facility is called commissioning (or putting the plant into operation) and is an important responsibility of the medical physicist. Planning radiotherapy with the XiO system can be started only after its commissioning.

Each radiation source for remote radiation therapy is assigned an installation identifier. This identifier is set by the user and allows you to restore the source data used in the radiotherapy plan.

Source parameters are all the parameters of the radiation beam, which determine the order of irradiation of the patient indicated in the therapy plan. In the plans of remote radiation therapy, these parameters determine the order of the individual radiation beams to the patient.

The wedge and the compensator

These wedges include the type of wedge and the parameters necessary to calculate the correction factors and the degree of attenuation of the radiation provided by the wedges. The XiO system supports the following types of wedges.

A power driven wedge is a wedge that is positioned at an angle to feed a separate fraction within the irradiation session and then is removed to add the remaining fractions.

Compensating filter (or compensator) - This data includes the type of compensating filter and the parameters necessary to add the compensating filter data to the radiotherapy plan. The compensating filter weakens the radiation beam before it reaches the patient's body. The purpose of using such filters is to equalize the dose

distribution in depth, taking into account the heterogeneity of the patient's body (unevenness of the body surface or the presence of internal seals). [3]

Planning system HDRplus

The HDRplus software product is a radiation therapy planning system intended for planning high-dose and pulsatile brachytherapy in conjunction with a suitable device for introducing a radioactive preparation. Using this software package, it is possible to conduct research based on one or two combined image sequences, isocentric orthogonal or semi-orthogonal X-ray films, non-isocentric x-ray films using Reco-Box Reconstruction Cube or without images at all.

When starting a new study, first, the patient's data and examination are entered in the planning system. For image-based planning, you need to download them into the study using one of several available methods (scanner, video capture system, network support for DICOM file transfer or downloading files from a storage medium, ie CD, DVD, flash cards, etc.).

The next stage is the construction of contours of the planned target volume and risk organs, as well as the automatic generation of points by describing the dose for image sequences or placing groups of dose control points with the mouse on plans based on orthogonal images. Further, the reconstruction of applicators, for studies based on image sequences. After editing the required dose limits for different groups of points, an automatic calculation of the exposure time can be performed.

The results of the planning process can be viewed in two-dimensional and three-dimensional form. It is possible to check each image slice, as well as view standard types: sagittal, coronal and transverse.

With a three-dimensional display, all the contoured organs, applicators, dose control points in any orientation at different angles are easy to see. It is also possible to include the mapping of isodose surfaces for given dose values. Due to the code color

selection property for the isodose surface, the current dose levels can be marked with colors on the surfaces of the structures.

To evaluate the results of planning, the HDRplus program calculates and displays various dose-volume histograms (cumulative and differential), as well as histograms of various parameters such as D_{xx} , D_{ccm} , V_{xx} , COIN, etc.

After completing the planning, a thorough audit of the report is required. The study should be archived for future use. To open the saved studies, you can use the patient manager.

The use of the highest quality equipment for ultrasound, CT, X-ray and MR examination provides the best results of the research. Before using the images to create a new study, need to check the operability and accuracy of the imaging equipment. In addition, you should ensure the clinical accuracy and completeness of the images used.

Although the HDRplus system is intuitive and easy to manage, it is intended to be used exclusively by expert users, i.e. trained physicians and specialists in radiation physics, who have experience and knowledge in the field of dosimetry planning of brachytherapy procedures and clinical dosimetry.

To install the software product, create connections to the imaging devices (CT, MRI, ultrasound, C-arm, X-ray) and perform other work related to the functioning of computer systems, IT specialists can be involved. In addition, they can use the properties of the Patient Manager for archiving and opening research. Other supporting clinical personnel can use the HDRplus patient registration section, some fields for introducing general data and report printing properties.

References

1. Klimanov VA, Radiobiological and dosimetric planning of radiotherapy and radionuclide therapy, part 1, 2011, pp.348-350
2. Klimanov VA, Radiobiological and dosimetric planning of radiotherapy and radionuclide therapy, part 2, 2011, pp.198-204, 244-251
3. [Electronic resource] http://oncogram.ru/view_page.php?page=232
4. [Electronic resource] <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3863150/>
5. The International Commission on Radiation Units and Measurements, Journal of the ICRU Vol 10 No 1 (2010) Report 83, Oxford University Press
6. Master's thesis, Study of decreasing the dose loading with various methods of topometric preparation, Vyushkov DV, TPU 2017.
7. Master's thesis, Investigation of the applicability of algorithms for calculating the absorbed dose in the XiO planning system for use in clinical practice, Sinyagina MA, TPU 2017.
8. Trufanov GE, Asaturyan MA, Radiation Therapy: A Textbook, Volume 2, 2010, p.192.
9. International protocol EMBRACE I / II, Vienna Medical University.