

Министерство здравоохранения Республики Беларусь  
Учреждение образования  
«Гомельский государственный медицинский университет»

Кафедра лучевой диагностики с курсом ФПКиП

Авторы:

А.М. Юрковский, зав. кафедрой, д.м.н., доцент

Э.Ю. Занкович, ассистент

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ**

для проведения практического занятия

по учебной дисциплине

Лучевая диагностика и лучевая терапия

для студентов 3 курса лечебного факультета, обучающихся по специальности  
для специальности 1-79 01 01 «Лечебное дело»

Тема: Методы лучевой терапии. Планирование лучевой терапии.

Время: 4 часа

Утверждены на заседании кафедры лучевой диагностики с курсом ФПКиП  
(протокол от № 1) 22.01.2024

### **Учебная цель:**

- формирование у студентов профессиональных компетенций, необходимых для решения диагностических задач путем применения методов лучевой терапии при различных заболеваниях;
- формирование у студентов знаний о лучевой семиотике наиболее распространенных заболеваний человека и принципах органно-комплексного применения методов лучевой терапии при различных заболеваниях;
- уметь проводить базовую сердечно-легочную реанимацию и иные реанимационные мероприятия в случае возникновения осложнений при применении контрастных веществ

### **Воспитательная цель:**

- развить свой ценностно-личностный, духовный потенциал, сформировать качества патриота и гражданина, готового к активному участию в экономической, производственной, социально-культурной и общественной жизни страны;
- научить соблюдать учебную и трудовую дисциплину, этико-деонтологические нормы и правила в диагностическом процессе;
- уметь применять основные модели взаимодействия врача и пациента;

### **Задачи:**

1. Изучить физические и радиобиологические основы лучевой терапии;
2. Изучить методы лучевой терапии;
3. Изучить показания и противопоказания к лучевой терапии;
4. Изучить принципы планирования лучевой терапии;

### **В результате проведения учебного занятия студент должен**

#### **знать:**

- ф
- иринципы работы методов лучевой терапии;
- вказания и противопоказания к лучевой терапии;
- и
- р
- я

#### **уметь:**

- впределять показания и противопоказания к лучевой терапии;
- вподготавливать пациента к лучевой терапии;
- впланировать проведение лучевой терапии;
- вказать первую помощь при острых побочных реакциях.

ы

и

п

р

а

н

#### **ВЛАДЕТЬ:**

- навыками выбора метода лучевой терапии;
- навыками подготовки пациентов к лучевой терапии;
- навыками определения показаний и противопоказаний к тому или иному методу лучевой терапии;
- навыками оказания первой помощи при возникновении острых побочных реакций.

**Мотивация для усвоения темы:** рейтинговая система оценки знаний

### **МАТЕРИАЛЬНОЕ ОСНАЩЕНИЕ**

Комплекты рентгенограмм, электронные средства демонстрации иллюстративного материала (интерактивная доска, телевизор, проектор), ультразвуковые сканеры.

### **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ИЗ СМЕЖНЫХ ДИСЦИПЛИН**

«Медицинская и биологическая физика»:

- характеристика ионизирующих излучений,
- радиоактивность
- взаимодействие ионизирующего излучения с веществом
- дозиметрия ионизирующих излучений.

### **ИНФОРМАЦИОННАЯ ЧАСТЬ**

#### **ОСНОВНАЯ И ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА**

##### **ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА**

учебная диагностика [Электронный ресурс]: учебник / [Г. Е. Труфанов и др.] ; под ред. Г. Е. Труфанова. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : ГЭОТАР-Медиа, 2021. – 484 с. – Режим доступа: <https://www.studentlibrary.ru/book/>

##### **ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА**

2. Атлас лучевой диагностики (травматология и ортопедия): пособие для студентов учреждений высш. образования, обучающихся по специальностям 1-79 01 01 "Лечеб. дело", 1-79 01 02 "Педиатрия", 1-79 01 04 "Медико-диагност. дело" / [В. В. Лашковский, И. П. Богданович, В. С. Аносов

и др.] ; под ред. В. В. Лашковского. – 3-е изд. – Гродно : ГрГМУ, 2022. – 315 с : ил., цв. ил., табл. – Рек. УМО по высш. мед., фармацевт. образованию. Ильясова, Е. Б. Лучевая диагностика: учеб. пособие / Е. Б. Ильясова, М. Л. Чехонацкая, В. Н. Приезжева. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : ГЭОТАР-Медиа, 2021. – 432 с. – Режим доступа: <https://www.rosmedlib.ru/book/>

4. Лучевая диагностика и лучевая терапия : учеб. пособие / А.И. Алешкевич [и др.]. – Минск : Новое знание, 2017. – 381 с. – Допущено М-вом образования Респ. Беларусь.

Терновой, С. К. Ультразвуковая диагностика [Электронный ресурс] / С. К. Терновой, Н. Ю. Маркина, М. В. Кислякова ; под ред. С. К. Тернового. – 3-е изд., испр. и доп. – Москва : ГЭОТАР-Медиа, 2020. – 240 с. – Режим доступа:

Трутень, В. П. Рентгенология: учеб. пособие / В. П. Трутень. – Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2021. – 336 с. – Режим доступа:

## ЭЛЕКТРОННЫЕ БАЗЫ ДАННЫХ

Консультант студента. Электронная библиотека медицинского вуза. Расширенный пакет = Student consultant. Electronic library of medical high «ГЭОТАР–Медиа», ООО «ИПУЗ». – Режим доступа: <http://www.studmedlib.ru>. – Дата доступа: 03.04.2023. (Включает: «Электронную библиотеку медицинского ВУЗа»; ГЭОТАР–Медиа. Премиум комплект; Книги из комплекта «Консультант врача»).

## ДИДАКТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ

**Лучевая терапия** — метод лечения опухолевых и ряда неопухолевых заболеваний с помощью ионизирующих излучений.

**Ионизирующее излучение** — поток элементарных частиц и/или квантов электромагнитного излучения, образующих при взаимодействии со средой ионы разных знаков.

**Виды ионизирующих излучений, используемых в лучевой терапии:**

– кванты электромагнитного излучения:

-излучение (испускается при переходах между возбуждёнными состояниями атомных ядер, при ядерных реакциях, при отклонении энергичных заряженных частиц в магнитных и электрических полях);

арактеристическое (возникает, при переходе электрона с более высокого на более низкий энергетический);

тормозное (возникает при торможении электронов, движущихся с большой скоростью, электрическими полями атомов анода);

рентгеновское (совокупность тормозного и характеристического излучений);

- корпускулярное излучение (излучение, состоящее из частиц с массой покоя, отличной от нуля):

о

α-частицы;

### **Краткая характеристика основных видов излучения, используемых в радиотерапии:**

- **корпускулярное излучение:**

α-частицы (ядра гелия): источник – естественные радионуклиды; заряд +2; масса – 4 а. е. м.; скорость – 15000-20000 км/с; энергия – до 9 МэВ; ионизационная способность – 3000-4000 пар ионов на 1 мкм; проникающая способность (биологическая ткань) – 50-70 мкм;

β-частицы (электроны): источник – естественные или искусственные радионуклиды ( $^{32}\text{P}$ ,  $^{90}\text{Y}$ ,  $^{131}\text{I}$ ) и ускорители; заряд – -1; масса – 1/1840 массы атома водорода; скорость – 87000-298000 км/с; энергия – в пределах от 0,015-0,05 МэВ (мягкое излучение) до 3-13,5 МэВ (жесткое излучение); ионизационная способность – 50-70 пар ионов на 1 мкм; проникающая способность естественного излучения (биологическая ткань) – 1 см;

нейтроны: источник – циклотроны или нейтронные генераторы (для дистанционного облучения) и радиоактивный калифорний (для контактного облучения; заряд – 0; масса – 1,00897 а.е.м.; энергия – от 20 кэВ до 20 МэВ; проникающая способность (биологическая ткань) – очень высокая;

протоны: источник – ускорители; заряд – +1; масса – 1,00758 а.е.м.; энергия – 200 МэВ: проникающая способность (биологическая ткань) – при средних энергиях пренебрежимо малая, при больших – значительно выше; ионизационная способность – незначительная на входе и высокая к концу пробега (2,5- 3,5 раза выше, чем в окружающих тканях);

о

π-мезоны(-): источник – ускорители; заряд – -1; масса – 273,2 массы электрона; энергия – до 70 МэВ; ионизационная способность – незначительная на входе и высокая к концу пробега (соотношение пиковой дозы к дозе в окружающих тканях достигает 10:1);

яжелые ионы (ионы кислорода, азота, неона, аргона): источник – ускорители; заряд – «+»; масса  $>4$ ; энергия – до 500 МэВ; ионизационная способность – незначительная на входе и высокая к концу пробега;

– **электромагнитное:**

-излучение: источник – радионуклид (при дистанционной терапии – км/сек; энергия – 1,25 МэВ; ионизационная способность – 0,5-2 пары ионов на 1 мкм; проникающая способность – несколько метров;

ормозное излучение высоких энергий: источник – ускоритель; заряд – 0; скорость 300000 км/сек.; энергия – 4-45 МэВ; ионизационная способность – 0,5-2 пары ионов на 1 мкм; проникающая способность – несколько метров;

ентгеновское излучение (сочетание характеристического и тормозного): источник – установки для ортовольтной и низковольтной рентгенотерапии; заряд – 0; скорость 300000 км/сек.; энергия – 250-400 кэВ; ионизационная способность – 1-2 пары ионов на 1 мкм; проникающая способность в биологической ткани – от нескольких миллиметров до 8-10 см;

**Взаимодействие ионизирующего излучения с биологическими объектами:**

физическая стадия (передача части энергии фотона/частицы одному из электронов атома с последующей ионизацией и возбуждением атомов/молекул); длительность  $\approx 1 \cdot 10^{-16}$  с; 2. физико-химическая стадия (образуются свободные радикалы — незаряженные атомы/молекулы с непарными электронами); длительность  $\approx 1 \cdot 10^{-7}$  с;

имическая стадия (появляются биохимические повреждения биологически важных макромолекул: нуклеиновых кислот, липидов, белков, углеводов); длительность несколько секунд;

иологическая стадия (формирование повреждений на клеточном, тканевом, органном и организменном уровнях); длительность варьирует (часы, недели, годы).

**В первичном механизме биологического действия различают:**

– **прямое действие** (изменения возникают в молекулах клеток в результате ионизации и/или возбуждения):

озникновение ионов вдоль пути ионизирующей частицы

(возникающие ионы нестабильны, химически активны и имеют выраженную тенденцию к соединению с центральными молекулами);

соединение ионов с центральными молекулами с изменением их электронной конфигурации разрывом молекулярных связей;

продукты расщепления прореагировавших молекул вступают в химические реакции с нейтральными молекулами;

в облученной клетке нарушаются процессы регуляции и деятельности ее отдельных составляющих (мембраны, митохондрии и др.);

в результате наступает гибель клеток:

- митотическая (инактивация клетки вслед за облучением после первого или последующего митозов);
- интерфазная (гибель до вступления ее в фазу митоза).

- **непрямое действие** (все химические реакции, протекающие с химически активными, но не ионизированными продуктами диссоциации ионизированных молекул):

повреждения менее грубые, часто обратимые, объем поражения значительно превышает размеры полей облучения (пример: лейкопения, в случаях, когда костный мозг исключен из зоны облучения).

*Прим.: интенсивность реакций, связанных с прямым и косвенным механизмами действия ионизирующих излучений зависит от исходного состояния организма и от влияния таких физических факторов как доза, мощность, качество излучения (эффект облучения обусловлен не только количеством поглощенной энергии, но и ее макро- и микрораспределением в тканях) и ряда химических факторов (например от кислорода, который, хотя и не оказывает влияния на радиочувствительность клеток, но зато способствует их более быстрому восстановлению после лучевого воздействия).*

**Радиочувствительность** — способность биологических объектов реагировать на действие ионизирующих излучений процессами деструкции и нарушением функций (применительно к опухолям — скорость и степень реакции опухоли в ответ на воздействие ионизирующим излучением).

**Наиболее чувствительны к облучению клетки:**

- в фазах митоза;
- в фазе G<sub>2</sub> (непосредственно предшествует митозу).

**Наиболее устойчивы к облучению клетки:**

- неделящиеся или слабо делящиеся клетки нашего организма

*Прим.: раковые клетки могут по устойчивости приближаться к обычным клеткам, если в момент облучения они находятся в интерфазе.*

### **Формы гибели клеток после облучения:**

- некроз (причина: нарушения синтеза макроэргических соединений, ядерного фосфорилирования, окислительно-восстановительного гомеостаза, повышение проницаемости плазматических и внутриклеточных мембран, нарушение ионных градиентов в клетке, активация протеолитических ферментов, деградация ДНК-мембранного комплекса, лизис или пикноз ядра с выбросом содержимого во внеклеточную среду).
- апоптоз (генетически запрограммированный вариант гибели, с помощью которого организм избавляется от клеток с невозможными повреждениями ДНК, биологических мембран и других структур).

### **Радиочувствительность злокачественных опухолей:**

- высокая — опухоли развивающиеся из лимфоидной ткани, костного мозга, сперматогенного эпителия и эпителия фолликулов яичников (лимфома, лейкемии, семинома, дисгерминома);
- относительно высокая — опухоли, исходящие из эпителия ротоглотки, слюнных желез, мочевого пузыря, хрусталика, желез желудка, толстой кишки, молочной железы (плоскоклеточный рак гортани, глотки, мочевого пузыря, кожи, шейки матки, аденокарцинома пищеварительного тракта);
- средняя — сосудистые и соединительно-тканые элементы опухолей (источник развития: интестинальная соединительная ткань, нейроглиальная ткань, богатая сосудами, растущая хрящевая и костная ткань);
- относительно низкая — опухоли, происходящие из взрослой хрящевой и костной ткани, эпителия слюнных желез, почек, печени, хондроцитов и остецитов (опухоли слюнных желез, гепатомы, рак почек, поджелудочной железы, хондросаркомы и остеосаркомы);
- низкая — опухоли, растущие из мышечной и нервной ткани (рабдомиосаркома, лейомиосаркома, ганглионейрофибросаркома).

### **Основные методы лучевой терапии**

Лучевая терапия используется в основном для местного воздействия на первичный опухолевый очаг и зоны регионарного метастазирования.



### **Лучевая терапия как самостоятельный метод лечения применяется:**

- в случаях, когда она является предпочтительной либо в косметическом, либо в функциональном отношении, а результаты ее одинаковые по сравнению с другими методами лечения;
- в случаях, когда она может быть единственно возможным средством помощи неоперабельным больным;

### **Методики:**

- радикальная — применяется для полного излечения путем подведения канцерицидной дозы радиации (уровни канцерицидных доз устанавливаются в зависимости от гистологического строения, митотической активности и степени дифференцировки клеточных элементов опухоли);
- паллиативная — применяется для уменьшения размеров опухоли и ее метастазов, для стабилизации опухолевого роста:
  - при невозможности применения радикальной терапия;
- симптоматическая — применяется для снятия или уменьшения клинических симптомов злокачественного поражения, способных привести к быстрой гибели пациента или существенно ухудшающих качество его жизни:
  - при поражении средостения с синдромом верхней полой вены;
  - при компрессионном синдроме, обусловленном быстрорастущей опухолью головного мозга;
  - при острой асфиксии, связанной с быстрорастущей опухолью трахеи;
  - при первичных и метастатических опухолях, вызывающих сдавление спинного мозга с нарушением функции жизненно важных органов;
  - для снятия болевого синдрома; остановки кровотечения;
- противовоспалительная и функциональная лучевая терапия — применяется для лечения неопухолевых заболеваний:
  - для ликвидации послеоперационных и раневых осложнений;
  - воспалительных и дистрофических поражений костно-суставного аппарата, сопровождающихся болевым синдромом, не поддающимся купированию традиционными методами.

### **Лучевая терапия в комбинации с хирургическим лечением применяется:**

- в случаях, когда нужно повысить эффективность хирургического вмешательства (т.е. минимизировать риск развития местных рецидивов, регионарных и отдаленных метастазов);
- в случаях, когда нужно расширить показания к радикальному оперативному вмешательству, повысить резектабельность опухоли (например, при ранних раках дополнительно проведенное облучение расширяет возможности выполнения органосохранных операций);

### **Методики:**

- предоперационная:
  - для уменьшения опухоли (для расширения границ операбельности);
  - для подавления пролиферативной активности опухолевых клеток;
  - для уменьшения сопутствующего воспаления;
  - для воздействия на пути регионарного метастазирования;
- интраоперационная:
  - для повышения избирательности лучевого воздействия при местно-распространенных новообразованиях;
  - постоперационная:
    - для воздействия на остатки опухоли после нерадикальных операций;
    - для уничтожения субклинических очагов и возможных метастазов в регионарных лимфатических узлах.

### **Лучевая терапия в сочетании с химиотерапией применяется:**

- для получения аддитивного, потенцирующего и синхронизирующего эффектов ионизирующей радиации и химиотерапии на первичную опухоль (используется эффект синхронизирующего действия цитостатиков на митотический цикл опухолевых клеток);
- для профилактики метастазов и лечения субклинических или же выявленных метастазов.

Выбор метода лучевой терапии (составление индивидуального плана лучевой терапии) зависит от цели (см. выше).

### **Индивидуальный план лучевой терапии (основные положения):**

- должен быть диагноз с гистологическим заключением о наличии злокачественной опухоли;
- должны быть данные о локализации, размерах опухоли и ее взаимоотношении с окружающими тканями;
- должны быть данные о состоянии окружающих тканей;
- должны быть данные о сопутствующих заболеваниях;

- должно быть обоснование необходимости лучевой терапии.

### **Моделирование процесса облучения (основные этапы):**

#### **– I этап:**

олучение изображений (сканов) и их «привязка» к лазерным координатам; о нанесение при помощи маркера указанных координат на кожу;

#### **– II этап:**

онтурирование на полученных (I этап) сканах опухоли и критических органов;

оздание 3D модели зоны интереса.

ланирование (формирование) полей облучения (цель — придать объему высокой дозы форму близкую к форме опухоли):

- макроскопический объем опухоли (gross tumor volume – GTV) — объем в котором сосредоточена основная часть опухолевых клеток;
- клинический объем мишени (clinical target volume – CTV) — объем, включающий GTV и ткани, в которых имеет место микроскопическое распространение опухоли (т.е. нормальные ткани, окружающих опухоль, в которых могут находиться отдельные опухолевые клетки и их комплексы);
- планируемый объем мишени (planning organ at risk volume – PTV) — объем, учитывающий смещение пациента и его органов во время облучения (формируется с учетом толерантности окружающих нормальных тканей);
  - создание индивидуальных защитных блоков

#### **– III этап: создание фиксирующих приспособлений (маски из специальных термопластиков, вакуумные матрасы и др.)**

*Прим.: моделирование процесса облучения проводится физиком-дозиметристом и врачом-радиологом: рассчитываются и сравниваются возможные дозы и эффекты облучения (используются специальные компьютерные программы, учитывающие пространственные параметры облучаемого объекта и дозиметрическую характеристику применяемого пучка излучения), отрабатывается практическая реализация на модели-симуляторе.*

### **Способы облучения:**

#### **– наружное облучение:**

истанционные методы облучения (источник излучения находится на расстоянии от 5 см до 1м от поверхности тела пациента):

- дистанционная гамма-терапия ( $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{192}\text{Ir}$ );
- терапия тормозным излучением высокой энергии;
- рентгенотерапия (короткофокусная или глубокая);
- терапия быстрыми электронами;
- протонная терапия;
- контактные методы облучения:
- $\beta$ -терапия: радиоактивное вещество ( $^{32}\text{P}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{147}\text{Pm}$ ,  $^{251}\text{Ge}$ ,  $^{144}\text{Tl}$ ) прикладывается либо непосредственно на кожу/слизистую, либо располагается на расстоянии 0,5 см (максимальная доза при этом достигается лишь на поверхности кожи или же слизистой оболочки);
- $\gamma$ -терапия: радиоактивное вещество ( $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{192}\text{Ir}$ ,  $^{182}\text{Ta}$ ) располагается на расстоянии от 0,5 до 5 см (для обеспечения нужной дистанции и фиксации радионуклида изготавливается муляж; применяется при опухолевой инфильтрации кожи и подлежащих тканей на глубину  $< 3$  см);
- внутреннее облучение:
- брахитерапия (облучение с помощью закрытых радиоактивных источников): радиоактивное вещество ( $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{192}\text{Ir}$  и др.) вводят через эндо- или интратат в полость или в ткани;
- системная терапия (облучение с помощью открытых радиоактивных источников): радиоактивное вещество применяются для лечения (например, пациентов с метастазами рака щитовидной железы ( $^{131}\text{I}$ ) или множественным метастатическим поражением костей ( $^{89}\text{Sr}$ )).

### **Методы модификации радиочувствительности злокачественных опухолей:**

малые «сенситизирующие» дозы радиации (0,1 Гр), за 3-5 мин до облучения основной дозой (препятствуют формированию неспецифических реакций опухоли путем стимулирования обменных процессов непосредственно перед или тотчас после облучения);

- оксигенотерапия — метод оксигенации опухоли во время облучения с использованием для дыхания чистого кислорода при обычном давлении;
- оксигенобаротерапия — метод оксигенации опухоли во время облучения с использованием для дыхания чистого кислорода в специальных барокамерах под давлением до 3-4 атмосфер;

- регионарная турникетная гипоксия — метод облучения пациентов со злокачественными опухолями конечностей в условиях наложения на них пневматического жгута (при наложении жгута  $p\text{CO}_2$  в нормальных тканях в первые минуты падает почти до нуля, а в опухоли оно еще некоторое время остается значительным, что дает возможность увеличить разовую и суммарную дозы облучения без повышения частоты лучевых повреждений нормальных тканей);
- гипоксирадитерапия — метод, при котором до и во время сеанса облучения пациент дышит газовой гипоксической смесью, содержащей 10%  $\text{O}_2$  и 90% азота (метод позволяет увеличивать разовые и суммарные дозы на 20%, а при уменьшении содержания  $\text{O}_2$  до 8-40%);
- электронакцепторные соединения — химические вещества (метронидазол, мезонидазол и др.), способные имитировать действие  $\text{O}_2$  и избирательно сенсibilизировать гипоксические клетки (метод позволяет существенно улучшить результаты лучевого лечения);
- ингибиторы репарации ДНК (5-фторурацил, галоидированные аналоги пуриновых и пиримидиновых оснований; в качестве сенсibilизатора применяют обладающий противоопухолевой активностью ингибитор синтеза ДНК — оксимочевину);
- ослабление пострадиационного восстановления — противоопухолевый антибиотик актиномицин Д;
- терморадитерапия — прогревание опухоли при помощи СВЧ-аппаратов до 42-45° (нарушение оттока крови из опухоли приводит к более сильному разрушению опухолевых клеток);
- искусственная гипергликемия — введения больших доз глюкозы, приводит к закислению опухолевой ткани (закисление приводит или к гибели некоторых клеток, или повышает их чувствительность к повреждающим воздействиям).