

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Принципы лучевой диагностики и терапии

Методические указания по выполнению практических работ

Направление подготовки 03.04.02 Физика
Направленность (профиль)
«Биофизика и медицинская инженерия»

Квалификация выпускника: магистр

**Ставрополь
2026**

ВВЕДЕНИЕ

Цель и задачи освоения дисциплины. Целью изучения дисциплины «Принципы лучевой диагностики и терапии» являются: комплексная подготовка магистрантов к научно деятельности; формирование набора общепрофессиональных и универсальных компетенций магистранта по направлению подготовки 03.04.02 Физика. Достижение поставленной цели обеспечивается через решение теоретических, практических и воспитательных задач.

Задачи:

- сформировать представление об основных направлениях, подходах, теориях в лучевой диагностике и терапии.
- рассмотреть современные подходы к реализации лучевой диагностики и терапии.
- рассмотреть особенности процессов лучевой диагностики и терапии;
- сформировать умение применять в практике систему теоретических знаний по основным разделам лучевой диагностики и терапии; применять современные методы диагностики, количественного и качественного анализа; научно обосновывать собственную позицию в вопросах лучевой диагностики и терапии.

Место дисциплины в структуре ОП магистратуры

Дисциплина «Принципы лучевой диагностики и терапии» - Б1.В.01.02 относится к части, формируемой участниками образовательных отношений.

Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

ИД-1ПК-1

Использует знания в области биофизики и медицинской инженерии для решения профессиональных задач.

ИД-1ПК-2

Разрабатывает и совершенствует методики анализа биофизических параметров с целью повышения их конкурентоспособности

ИД-1ПК-6

Моделирует процессы в веществе с использованием стандартных пакетов компьютерных программ и средств автоматизированной обработки информации

ИД-2ПК-6

Прогнозирует результаты различных обработок экспериментальной информации, в том числе с использованием стандартных пакетов компьютерных программ и средств ПК

СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Тема 1. Введение в лучевую диагностику.

Цель занятия: изучение особенности лучевой диагностики.

Организационная форма занятия: дискуссия

Вопросы, выносимые на обсуждение:

1. Лучевая диагностика как клиническая дисциплина
2. История и перспективы развития лучевой диагностики

Методические рекомендации

Лучевая терапия занимает одно из ведущих мест в лечении больных злокачественными новообразованиями. По данным Всемирной организации здравоохранения, более 70% пациентов нуждаются в проведении лучевой терапии. Радиотерапия применяется как в самостоятельном режиме проведения, так и в составе комплексного лечения. Лучевая терапия зачастую является основным радикальным методом лечения злокачественных опухолей, например, при раке кожи, опухолях головы и шеи, раке шейки матки. Применение радиотерапии в сочетании с оперативным лечением, химиотерапией, способствует значительному повышению результатов лечения злокачественных опухолей, увеличению выживаемости пациентов, улучшает качество жизни.

Массовая доля пациентов, нуждающихся в лучевой терапии, неуклонно растет, и все более актуальной становится проблема повышения качества проведения лучевой терапии. Эффективность лучевой терапии зависит не только от использования современного и высокотехнологичного оборудования, но и от сохранения нормального функционирования облученных здоровых тканей, проведенных профилактических мер по снижению последствий лучевого поражения. При этом значительно повышается роль квалифицированного медицинского персонала непосредственно проводящего лучевую терапию, что требует от него не только знание основ и тонкостей лучевой терапии, но и отточенных до автоматизма практических навыков.

Данное пособие содержит базовую информацию, необходимую при подготовке по лучевой терапии. Представлены обзорные данные о видах ионизирующих излучений, физических и радиобиологических основах, методах проведения лучевой терапии, факторы, влияющие на эффективность лучевого лечения, основные правила радиотерапии. Разъяснены основные представления о постлучевых реакциях и осложнениях, методах их профилактики, особенностях ухода за пациентами находящимися на этапе проведения лучевой терапии и методах профилактики. Изложен список литературных источников необходимых для изучения основ лучевой терапии.

Цель изучения - усвоить основные принципы лучевой терапии пациентов со злокачественными новообразованиями. По окончании изучения данного пособия слушатель должен знать физические и биологические основы действия ионизирующего излучения на живую ткань, классификацию видов ионизирующих излучений, их характеристики, особенности распространения в тканях, иметь представление о радиобиологии опухолей и о способах повышения эффективности лучевой терапии, радиочувствительности и радиорезистентности, факторах, влияющих на них, знать классификацию и сущность методов лучевой терапии, иметь понятие о структуре курса лучевой терапии, классифицировать возможные лучевые осложнения и методы их профилактики и лечения.

Рекомендуемая литература:

1. Лучевая диагностика: учебник / Под ред. Г.Е. Труфанова. 2013. - 496 с.
<http://www.studmedlib.ru/ru/book/ISBN9785970425152.html>

2. Лучевая диагностика и терапия. Общая лучевая диагностика : учебник : в 2 т. / С. К. Терновой [и др.]. - М. : ГЭОТАР-Медиа, 2014. - Т. 1. - 232 с.

Задания для развития и контроля владения компетенциями

Задание 1. Свойства рентгеновского излучения, используемые для получения рентгеновских изображений.

Задание 2. Основные методы рентгенологических исследований. Виды, характеристика.

Задание 3. Виды излучений, используемые в радионуклидной диагностике

Тема 2. Общие вопросы лучевой диагностики

Цель занятия: изучение особенности лучевой диагностики.

Вопросы, выносимые на обсуждение:

1. Лучевая диагностика как клиническая дисциплина
2. История и перспективы развития лучевой диагностики

Методические рекомендации

Ионизирующим называется излучение, которое при взаимодействии со средой, превращают нейтральные атомы в ионы - частицы, несущие положительные или отрицательные электрические заряды.

Атом, представляет собой сложное образование, состоящее из более мелких частиц, прочно объединенных в одно целое. Условно атом любого вещества представляют в виде ядра, вокруг которого вращаются мельчайшие элементарные частицы — электроны. Ядро атома состоит из тяжелых элементарных частиц — нуклонов. Нуклоны бывают двух видов: протоны, имеющие положительный заряд, и нейтроны, не имеющие заряда и являющиеся нейтральными частицами. Протоны и нейтроны в ядре прочно связаны между собой посредством особых сил ядерного сцепления. Так как протоны имеют положительный заряд, а нейтроны заряда не имеют, то ядро в целом оказывается заряженным положительно, величина заряда ядра определяет атомный номер элемента и обозначается буквой Z.

Электроны по строго определенным орбитам вращаются вокруг ядра с колоссальной скоростью, которая зависит от их энергетического уровня. Электроны имеют отрицательный заряд и благодаря этому удерживаются на орбитах вблизи положительно заряженного ядра. Масса электрона ничтожна и составляет только 1/1840 часть массы нуклона или составляет $9,107 \cdot 10^{-28}$ грамма. В атомах любого элемента содержится равное, определенное для данного элемента количество положительно заряженных частиц — протонов и отрицательно заряженных частиц — электронов, так как заряд электрона по величине равен заряду протона, то в целом атом является нейтральным

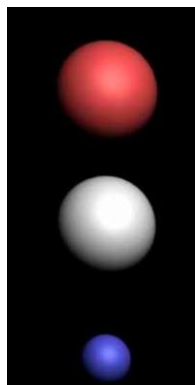


Рис. Строение атома

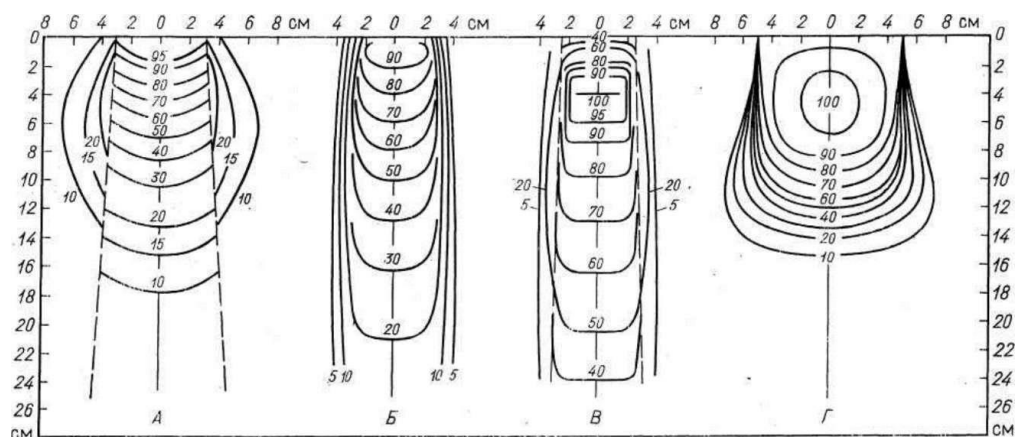
Все виды ионизирующих излучений разделяются на два вида: квантовые (фотонные) и корпускулярные. К квантовым относятся: рентгеновское излучение, тормозное рентгеновское и гамма-излучение.

Корпускулярным называют излучение, представляющие собой потоки элементарных частиц (электронов, протонов, нейтронов, отрицательных пи- мезонов и т.д.), а также продуктов распада естественных и искусственных радионуклидов (альфа-и бета-частицы).

Источником рентгеновского излучения является рентгеновская трубка; это устройство позволяет получать пучки различной мощности, от 100 до 300-350 кэВ, данный вид излучения применяется для воздействия на различные поверхностные опухоли и подкожные образования. Гамма-излучение образуется в результате распада радионуклидов, например, ^{60}Co . Оно обладает весьма большей энергией, 1,25 МэВ, и отличается от рентгеновского сдвигом максимума ионизации с поверхности облучаемого тела на 0,3-0,5 см вглубь. Это даёт возможность подвести большую дозу излучения к опухоли, расположенной на глубине, с меньшим риском повреждения кожи и окружающих здоровых тканей. Тормозное рентгеновское излучение высокой энергии, получаемое на специальных установках линейных ускорителей, даёт совершенно иное дозное распределение, при энергии фотонов 25-17 МэВ максимум ионизации приходится на глубину 4-6 см. При этом ткани, находящиеся перед указанным максимумом, получают не более половины дозы, следовательно, оно предпочтительнее рентгеновского и гамма-излучения при лечении глубоко расположенных опухолей.

Протоны и тяжёлые ионы существенно отличаются от перечисленных излучений своими физическими свойствами, они распространяются в тканях практически прямолинейно, в начале пути величина дозы почти постоянная, но в конце его резко возрастает. Этот максимум дозы в конце пробега (пик Брэгга) позволяет подвести высокую дозу к облучаемому очагу без существенного облучения окружающих нормальных тканей. Зона пробега протонов с энергией 120 и 140 МэВ составляет соответственно 11 и 14 см. Пучки нейтронов с энергией 10-15 МэВ дают дозное распределение, сходное с таковым при рентгеновском излучении: дозный максимум находится непосредственно на поверхности тела.

Типичные изодозные распределения для разных видов излучений: а) рентгеновское, б) гамма-излучение, в) тормозное рентгеновское излучение 6 МэВ, г) пучок электронов



Действие ионизирующего излучения на организм начинается с взаимодействия излучения с веществом, т.е. с атомами и молекулами организма. При этом энергия квантов и частиц расходуется на ионизацию и возбуждение атомов и молекул. В результате взаимодействия излучения со средой происходит процесс образования ионов различных знаков. Работа, затраченная излучением на образование одной пары ионов в воздухе, мало зависит от энергии излучения и равна примерно 34 эВ. Так как исходная энергия фотона или заряженной частицы значительно выше они создают на своём пути в веществе огромное количество ионов. Проходя через ткани, различные излучения тратят свою энергию неодинаково.

Рекомендуемая литература:

1. Лучевая диагностика: учебник / Под ред. Г.Е. Труфанова. 2013. - 496 с.
<http://www.studmedlib.ru/ru/book/ISBN9785970425152.html>

2. Лучевая диагностика и терапия. Общая лучевая диагностика : учебник : в 2 т. / С. К. Терновой [и др.]. - М. : ГЭОТАР-Медиа, 2014. - Т. 1. - 232 с.
<http://www.studmedlib.ru/ru/book/ISBN9785970429891.html>

3. Лучевая терапия: учебник. Труфанов Г.Е., Асатурян М.А., Жаринов Г.М. и др. / Под ред. Г.Е. Труфанова. 2013. - 208 с.
<http://www.studmedlib.ru/ru/book/ISBN9785970425145.html>

Тема 3. Частные вопросы лучевой диагностики

Цель занятия: Изучить частные вопросы лучевой диагностики.

Вопросы, выносимые на обсуждение:

1. Методы рентгенографии, рентгеноскопии и флюорографии легких. Их применение, возможности и пределы
2. Возможности магнитно-резонансной томографии по сравнению с компьютерной томографией для диагностики заболеваний легких
3. Лучевая диагностика больных с синдромом почечной колики.

Методические рекомендации

Биологическое действие ионизирующего излучения заключается в появлении биологических эффектов, называемых **радиобиологическими**. В биологическом действии первым звеном является **поглощение энергии ионизирующего излучения**, что приводит к взаимодействию ее с веществом биологической ткани, которое протекает за очень короткое время (доли секунды). В результате этого в клетках тканей и органов развивается цепь **биофизических, биохимических, функциональных и морфологических** изменений, которые в зависимости от конкретных условий протекают в различные сроки (минуты, дни, годы). Эти изменения обусловлены процессами **ионизации и возбуждения атомов и молекул** в массе облучаемого вещества, которые возникают только вдоль пути пробега ионизирующего

щего агента. Он может быть *прямолинейным* (например, у альфа-частиц) или *ветвистым* (например, у бета-частиц, рентгеновского излучения, гамма-излучения).

При воздействии ионизирующего излучения на нейтральные молекулы образуются продукты их расщепления, которые оказываются химически активными и, в свою очередь, вступают в химические реакции с другими нейтральными молекулами. Ионизация молекул воды, которой в организме более 70%, ведет к образованию свободных радикалов - Н и ОН\ которые при их рекомбинации образуют химически активные перекисные соединения - H_2O_2 (перекись водорода), HO_2 (гипероксид) и О (атомарный кислород), вызывающих окисление растворимых в воде веществ. Эти процессы составляют сущность **первичного механизма биологического действия** ионизирующего излучения, которое может быть *прямым и косвенным*.

Прямое первичное биологическое действие включает в себя изменения, возникающие в молекулах клеток в результате их ионизации или возбуждения. Возможность ионизации зависит от размеров молекулы: чем больше ее размеры, тем больше вероятность ее взаимодействия с ионизирующим агентом. Многие биологически важные молекулы имеют большую величину, например, ДНК. В частности, повреждение ДНК в результате прямого действия проявляется разрывом главных цепей молекулы, что приводит к необратимому генетическому поражению и нарушению синтеза РНК. Даже один акт ионизации молекулы ДНК может привести к серьезному нарушению ее структуры, что повлечет гибель клетки. Таким образом, для ионизирующих излучений пороговые дозы отсутствуют.

Косвенное первичное биологическое действие объединяет все реакции, протекающие с химически активными, но не ионизированными продуктами диссоциации ионизированных молекул. Косвенное действие излучений вызывает менее грубые изменения, часто обратимые, но охватывающее большее число молекул в объеме тканей, значительно превышающем размеры облучаемых полей. Иллюстрацией косвенного действия может служить лейкопения, развивающаяся в тех случаях, когда костный мозг был исключен из зоны облучения. Косвенное первичное биологическое действие вызывает частичное повреждение молекулы ДНК, заключающиеся в химической модификации ее боковых цепей, что сопровождается нарушением регуляторной функции обмена без потери функции размножения. При этом нарушается управление синтезом белков и ферментов, что приводит к дезорганизации внутриклеточного метаболизма и, следовательно, к нарушению жизнедеятельности клетки в целом.

Интенсивность биологических реакций, связанных с прямым и косвенным механизмами действия ионизирующего излучения, зависит, помимо исходного состояния организма, от ряда **физических и химических факторов**.

К **физическим факторам** относятся доза и ее *мощность* - с их увеличением радиобиологический эффект увеличивается. Помимо этого, он зависит и от **качества** излучения, которое характеризуется линейной потерей энергии и линейной плотностью ионизации. Поэтому радиобиологический эффект обусловлен не только количеством поглощенной энергии, но и ее макро- и микрораспределением в тканях.

К **химическим факторам** относится влияние ряда химических веществ. Наиболее отчетливо оно выражено у *кислорода*. В его присутствии возникает большое количество химически активных радикалов и перекисей, усиливающих процессы окисления в облучаемых тканях, и в меньшей степени гидрокси- лирование, дезаминирование и разрыв углеродных связей нейтральных молекул.

Изменение химической структуры атомов и молекул под влиянием первичных механизмов ионизирующего излучения ведет к развитию в клетках биохимических реакций, не свойственных им в нормальном состоянии. В частности, нарушаются окислительные процессы, белковый, углеводный обмен, инактивируются ферменты и ферменты, появляются токсические продукты метаболизма.

Радиобиологический эффект чаще всего обнаруживается не сразу после воздействия ионизирующего излучения, а спустя некоторое время, называемое **латентным периодом**.

Первичное лучевое поражение молекул и их инактивация в живой клетке, даже при летальных дозах облучения, наблюдаются в очень небольшой части молекул, составляющей не более 0,001-1%. Необходимо время, в течение которого первичное радиационное поражение молекул усиливается до степени морфологических и функциональных изменений на уровне клетки. Нарастание биологического эффекта со временем объясняется возможностью переноса радиационного поражения с одних молекул на другие, а также развитием реакций непрямого действия, которые нередко являются цепными.

Основные закономерности биологического действия ионизирующего излучения

Биологическое действие ионизирующих излучений приводит к **подавлению регенераций облученных тканей**, к **угнетению функции роста** и к **угнетению размножения клеток**, что может быть кратковременным, длительным или постоянным в зависимости от гистологической структуры ткани, ее физиологического состояния и от величины примененной дозы излучения.

Увеличение дозы излучения увеличивает степень биологического эффекта, уменьшает латентный период и может изменять качество биологического эффекта.

При облучении тканей с выраженной способностью к физиологической регенерации морфологические изменения проявляются при воздействии относительно небольших доз радиации в ближайшие сроки после облучения. Эти ткани обладают и большей способностью к восстановлению.

В тканях без высокого потенциала физиологической пролиферации морфологические изменения в клетках наблюдаются только при облучении в больших дозах. Следовательно, и восстановление таких тканей более длительное.

Усиление степени биологического эффекта по мере увеличения дозы протекает пропорционально только в определенных диапазонах. Эффект от любой дозы связан с **длительностью** облучения, которая при одной и той же дозе определяется ее **мощностью**. С уменьшением мощности излучения при одной и той же величине дозы биологический эффект ослабевает. Такое же влияние оказывает и **фракционирование** дозы, то есть разделение ее на дробные порции. Это может быть объяснено возможностью восстановления тканей, частичной репарацией лучевого повреждения в интервале между облучением или во время облучения, а также изменением чувствительности облучаемого объекта к радиации в течение самого облучения. А это, в свою очередь, может зависеть от физиологических причин (например, от цикла деления клеток) или быть результатом самого облучения.

Для физиологически активных тканей по мере уменьшения мощности дозы или при фракционировании повреждающий эффект ослабляется, так как физиологическая регенерация возможна даже во время облучения. На ткани со слабой физиологической активностью уменьшение мощности дозы оказывает меньшее влияние.

Рекомендуемая литература:

1. Лучевая диагностика: учебник / Под ред. Г.Е. Труфанова. 2013. - 496 с.
<http://www.studmedlib.ru/ru/book/ISBN9785970425152.html>

2. Лучевая диагностика и терапия. Общая лучевая диагностика : учебник : в 2 т. / С. К. Терновой [и др.]. - М. : ГЭОТАР-Медиа, 2014. - Т. 1. - 232 с.
<http://www.studmedlib.ru/ru/book/ISBN9785970429891.html>

3. Лучевая терапия: учебник. Труфанов Г.Е., Асатурян М.А., Жаринов Г.М. и др. / Под ред. Г.Е. Труфанова. 2013. - 208 с.
<http://www.studmedlib.ru/ru/book/ISBN9785970425145.html>

Задания для развития и контроля владения компетенциями

Задание 1. Определение радиофармацевтического препарата (РФП). Требования к РФП.

Задание 2. Основные *in vivo* методы радионуклидных исследований

Задание 3. Радиодиагностические аппараты. Принцип устройства и назначение основных блоков радиодиагностического аппарата

Тема 4. Введение в радиологию. Физико-технические и биологические основы лучевой терапии

Цель занятия: изучить физико-технические и биологические основы лучевой терапии.

Методические рекомендации

Лучевая терапия основана на использовании различных видов ионизирующего излучения в лечебных целях.

Ионизирующими называют те излучения, которые при взаимодействии со средой, в том числе и с тканями организма человека, превращают нейтральные атомы и молекулы в ионы - частицы, несущие положительные или отрицательные электрические заряды. Процесс *ионизации* заключается в отрыве одного или нескольких электронов от атома или молекулы или в присоединении к ним электронов.

Все виды ионизирующих излучений принято подразделять на квантовые и корпускулярные.

Квантовые (фотонные) излучения представляют собой электромагнитные колебания, характеризующиеся энергией излучения, от которой зависят частота колебаний и длина волны. Примерами квантовых излучений являются *рентгеновское излучение, тормозное излучение высокой энергии и гамма-излучение*.

Корпускулярные излучения представляют собой потоки частиц, например, *электронов, протонов, нейтронов, альфа-частиц* и др.

Действие излучения на организм человека начинается с физического процесса - взаимодействия излучения с веществом, то есть с органами и тканями. При этом энергия квантов и частиц расходуется на ионизацию и возбуждение атомов и молекул. В зависимости от типа излучения и величины энергии механизм взаимодействия излучения с биологическим веществом различен. Рассмотрим его основные виды.

Тип взаимодействия **фотонов** с атомами вещества зависит от энергии фотонов.

При низких энергиях (5-50 кэВ) фотон часть своей энергии тратит на выбивание орбитального электрона из атома, а оставшуюся часть - на придание ему некоторой скорости движения. В результате сам фотон исчезает, а выбитый из атома электрон вызывает ионизацию окружающих атомов. Это явление называется **фотоэффектом** и играет существенную роль при рентгенотерапии.

При более высоких энергиях фотонов (200 кэВ и выше) преобладающим является другой процесс - **комptonовское рассеяние** фотонов, при котором часть энергии фотонов тратится на выбивание электрона из атома и придание ему определенной кинетической энергии. При этом сам фотон отклоняется от первоначального направления и продолжает движение в среде. Поэтому при взаимодействии с веществом рентгеновское или гамма-излучение изменяет свое первоначальное направление (вследствие комptonовского рассеяния) и становится **рассеянным, или вторичным**. Оно отличается от первичного не только иным направлением движения, но и меньшей энергией фотонов.

При действии на атомы среды фотонов с энергией более 1 МэВ начинаются процессы образования **электронно-позитронных пар**. Суть этого явления заключается в том, что фотон, проникая в электрическое поле ядра атома, исчезает, давая жизнь паре элементарных частиц - электрону и позитрону. Позитрон мгновенно объединяется со встречным электроном. При этом обе частицы вследствие так называемой аннигиляции исчезают, а взамен возникают два фотона, энергия каждого из которых вдвое меньше энергии исходного фотона. Образование электронно-позитронных пар необходимо учитывать при облучении больных пучком тормозного излучения высокой энергии.

Таким образом, фотон при прохождении через вещество образует лишь одну пару ионов в случае фотоэффекта или несколько пар ионов за счет выбивания электронов отдачи при комptonовском рассеянии. При этом возникшие фотоэлектроны и вторичные электроны отдачи расходуют энергию на ионизацию вещества, обуславливая тысячи актов иониза-

ции. Следовательно, тормозное излучение (в том числе рентгеновское) и гамма-излучение, в основном при посредничестве вторичных электронов, производят *ионизацию вещества*, через которое они проходят.

Протоны и альфа-частицы при взаимодействии с веществом постепенно теряют свою энергию вследствие столкновения с ядрами атомов и внешними (орбитальными) электронами. Так как масса альфа-частиц и протонов значительно больше массы орбитальных электронов, с которыми они соударяются, то траектория альфа-частиц и протонов существенно не изменяется, сохраняясь прямолинейной.

Электрон, проникая в среду, также теряет свою энергию. Однако путь электрона в веществе извилист, поскольку он обладает малой массой и легко изменяет направление своего движения под действием электрических полей атомов. Поэтому пучок электронов, проходя через биологические объекты, всегда имеет тенденцию к расхождению (называемым рассеянием электронов).

Быстрые нейтроны при взаимодействии с веществом теряют свою энергию, главным образом, в результате столкновений с ядрами атомов водорода. Вследствие этого в тканях образуются плотные скопления ионов. При этом нейтроны постепенно замедляются и захватываются атомными ядрами. Некоторые из этих ядер расщепляются с выделением протонов высокой энергии, что также приводит к образованию плотных короткоживущих скоплений ионов. Другие ядра испускают после захвата нейтронов гамма-кванты высокой энергии. Часть ядер, в частности атомов натрия, фосфора, хлора после взаимодействия с нейтронами становятся радиоактивными. Такую радиоактивность называют **наведенной**. Таким образом, в результате взаимодействия заряженных и нейтральных частиц со средой происходит **ионизация вещества**. Однако для каждого вида излучения характерно определенное распределение энергии образующихся ионов в веществе.

Передача энергии излучения среде

Работа, затраченная любым видом излучения на образование одной пары ионов в воздухе, мало зависит от энергии излучения и равна примерно 34 эВ. Так как исходная энергия фотона или заряженной частицы значительно выше (до 1 000 000 эВ и более), они создают на своем пути в веществе огромное количество пар ионов.

На единицу пути в тканях различные излучения тратят энергию неодинаково. Так, пробега в ткани 1 мкм, электрон с энергией 1 кэВ передает ткани 0,2 кэВ энергии, а электрон с энергией 30 кэВ - 1 кэВ, т.е. в 5 раз больше. Еще больше отдает энергии альфа-частица с энергией 5 МэВ - 100 кэВ на 1 мкм пробега в тканях.

Пространственное распределение энергии вдоль траектории движения частицы или фотона выражают понятием «**линейная передача энергии**» (**ЛПЭ**). Линейная передача энергии - это энергия, переданная веществу на единицу длины траектории ионизирующей частицы (фотона); ее выражают в килоэлектрон-вольтах на 1 мкм (кэВ/мкм). ЛПЭ характеризует линейную плотность ионизации вдоль траектории частицы (фотона). ЛПЭ зависит от состава и плотности вещества, в котором перемещается заряженная частица (фотон), и от природы ионизирующего излучения. Некоторые значения ЛПЭ в зависимости от вида излучения и его энергии приведены в таблице 1.

Таблица 1

Значения ЛПЭ в зависимости от вида и энергии

ионизирующего излучения

Вид излучения	Энергия частиц или фотонов, МэВ	Средняя ЛПЭ, кэВ/мкм	Линейная плотность ионизации на 1 мк
Рентгеновское	0,008	4,7	145
Быстрые альфа-частицы	0,2	2,6	80
Быстрые протоны	1,0	0,5	15
Гамма-излучение (60Co)	1,0	0,4	11
Электроны быстрые	25,0	0,3	8
Нейтроны быстрые	12,0	9,5	300
Нейтроны медленные	0,4	35,8	1000
Альфа-частицы	5,0	150,0	4500

Линейная передача энергии не остается постоянной вдоль всей траектории движения частицы (фотона). В начале пробега, пока энергия частицы еще не растрочена, значение ЛПЭ невелико - примерно 6 актов ионизации на 1 мкм. С потерей энергии частицы величина ЛПЭ возрастает. При снижении энергии частицы до 10-12 кэВ линейная плотность актов ионизации доходит до 80 на 1 мкм.

ЛПЭ различна у разных видов излучения. Быстрые нейтроны отдают всю энергию при прохождении первых сантиметров ткани. Протоны и альфа- частицы высокой энергии отличаются довольно равномерной ЛПЭ на начальном участке пути в тканях, но обуславливают резкое возрастание ЛПЭ в конце траектории (пик Брегга). Довольно равномерно распределяются акты ионизации вдоль пути гамма-фотонов.

Так как частицы и фотоны исходят при облучении из определенного источника, они по мере отдаления от него постепенно теряют свою энергию. Этим объясняется так называемое **пространственное ослабление излучения**. Оно происходит нелинейно: интенсивность излучения обратно пропорциональна квадрату расстояния до его источника. Это значит, что при увеличении расстояния до источника в 2, 3 и 4 раза интенсивность излучения уменьшается соответственно в 4, 9 и 16 раз.

Вопросы, выносимые на обсуждение:

1. Основные особенности биологического действия ионизирующего излучения.
2. Этапы взаимодействия ионизирующего излучения с клетками и тканями организма человека.
3. Критические постлучевые внутриклеточные структуры.

Рекомендуемая литература:

1. Лучевая диагностика: учебник / Под ред. Г.Е. Труфанова. 2013. - 496 с.
<http://www.studmedlib.ru/ru/book/ISBN9785970425152.html>
2. Лучевая диагностика и терапия. Общая лучевая диагностика : учебник : в 2 т. / С. К. Терновой [и др.]. - М. : ГЭОТАР-Медиа, 2014. - Т. 1. - 232 с.
<http://www.studmedlib.ru/ru/book/ISBN9785970429891.html>
3. Лучевая терапия: учебник. Труфанов Г.Е., Асатурян М.А., Жаринов Г.М. и др. / Под ред. Г.Е. Труфанова. 2013. - 208 с.
<http://www.studmedlib.ru/ru/book/ISBN9785970425145.html>

Задания для развития и контроля владения компетенциями

Задание 1. Дистанционная гамма-терапия

Задание 2. Контактные методы лучевой терапии.

Задание 3. Комбинированная лучевая терапия

Тема 5. Источники ионизирующих излучений. Средства радиационной защиты и клиническая дозиметрия

Цель занятия: изучить физико-технические и биологические основы лучевой терапии.

Вопросы, выносимые на обсуждение:

1. Основные особенности биологического действия ионизирующего излучения.
2. Этапы взаимодействия ионизирующего излучения с клетками и тканями организма человека.
3. Критические постлучевые внутриклеточные структуры.

Методические рекомендации

Биологическое действие ионизирующего излучения заключается в появлении биологических эффектов, называемых радиобиологическими. В биологическом действии первым звеном является **поглощение энергии ионизирующего излучения**, что приводит к взаимодействию ее с веществом биологической ткани, которое протекает за очень короткое время (доли секунды). В результате этого в клетках тканей и органов развивается цепь **биофизических, биохимических, функциональных и морфологических** изменений, которые в зависимости от конкретных условий протекают в различные сроки (минуты, дни, годы). Эти изменения обусловлены процессами *ионизации и возбуждения атомов и молекул* в массе облучаемого вещества, которые возникают только вдоль пути пробега ионизирующего агента. Он может быть *прямолинейным* (например, у альфа-частиц) или *ветвистым* (например, у бета-частиц, рентгеновского излучения, гамма-излучения).

При воздействии ионизирующего излучения на нейтральные молекулы образуются продукты их расщепления, которые оказываются химически активными и, в свою очередь, вступают в химические реакции с другими нейтральными молекулами. Ионизация молекул воды, которой в организме более 70%, ведет к образованию свободных радикалов - Н и ОН\ которые при их рекомбинации образуют химически активные перекисные соединения - Н₂О₂ (перекись водорода), НО₂ (гипероксид) и О (атомарный кислород), вызывающих окисление растворимых в воде веществ. Эти процессы составляют сущность **первичного механизма биологического действия** ионизирующего излучения, которое может быть **прямым и косвенным**.

Прямое первичное биологическое действие включает в себя изменения, возникающие в молекулах клеток в результате их ионизации или возбуждения. Возможность ионизации зависит от размеров молекулы: чем больше ее размеры, тем больше вероятность ее взаимодействия с ионизирующим агентом. Многие биологически важные молекулы имеют большую величину, например, ДНК. В частности, повреждение ДНК в результате прямого действия проявляется разрывом главных цепей молекулы, что приводит к необратимому генетическому поражению и нарушению синтеза РНК. Даже один акт ионизации молекулы ДНК может привести к серьезному нарушению ее структуры, что повлечет гибель клетки. Таким образом, для ионизирующих излучений пороговые дозы отсутствуют.

Непрямое первичное биологическое действие объединяет все реакции, протекающие с химически активными, но не ионизированными продуктами диссоциации ионизированных молекул. Непрямое действие излучений вызывает менее грубые изменения, часто обратимые, но охватывающее большее число молекул в объеме тканей, значительно превышающем размеры облучаемых полей. Иллюстрацией непрямого действия может служить лейкопения, развивающаяся в тех случаях, когда костный мозг был исключен из зоны облучения. Непрямое первичное биологическое действие вызывает частичное повреждение молекулы ДНК, заключающиеся в химической модификации ее боковых цепей, что сопровождается нарушением регуляторной функции обмена без потери функции размножения. При этом нарушается управление синтезом белков и ферментов, что приводит к дезорганизации внутриклеточного метаболизма и, следовательно, к нарушению жизнедеятельности клетки в целом.

Интенсивность биологических реакций, связанных с прямым и косвенным механизмами действия ионизирующего излучения, зависит, помимо исходного состояния организма, от ряда **физических и химических факторов**.

К **физическим факторам** относятся *доза* и ее *мощность* - с их увеличением радиобиологический эффект увеличивается. Помимо этого, он зависит и от **качества** излучения, которое характеризуется линейной потерей энергии и линейной плотностью ионизации. Поэтому радиобиологический эффект обусловлен не только количеством поглощенной энергии, но и ее макро- и микрораспределением в тканях.

К **химическим факторам** относится влияние ряда химических веществ. Наиболее отчетливо оно выражено у *кислорода*. В его присутствии возникает большое количество химически активных радикалов и перекисей, усиливающих процессы окисления в облучаемых тканях, и в меньшей степени гидрокси-лирование, дезаминирование и разрыв углеродных связей нейтральных молекул.

Изменение химической структуры атомов и молекул под влиянием первичных механизмов ионизирующего излучения ведет к развитию в клетках биохимических реакций, не свойственных им в нормальном состоянии. В частности, нарушаются окислительные процессы, белковый, углеводный обмен, инактивируются энзимы и ферменты, появляются токсические продукты метаболизма.

Радиобиологический эффект чаще всего обнаруживается не сразу после воздействия ионизирующего излучения, а спустя некоторое время, называемое **латентным периодом**. Первичное лучевое поражение молекул и их инактивация в живой клетке, даже при летальных дозах облучения, наблюдаются в очень небольшой части молекул, составляющей не более 0,001-1%. Необходимо время, в течение которого первичное радиационное поражение молекул усиливается до степени морфологических и функциональных изменений на уровне клетки. Нарастание биологического эффекта со временем объясняется возможностью переноса радиационного поражения с одних молекул на другие, а также развитием реакций непрямого действия, которые нередко являются цепными.

Основные закономерности биологического действия ионизирующего излучения

Биологическое действие ионизирующих излучений приводит к **подавлению регенераций облученных тканей**, к **угнетению функции роста** и к **угнетению размножения клеток**, что может быть кратковременным, длительным или постоянным в зависимости

сти от гистологической структуры ткани, ее физиологического состояния и от величины примененной дозы излучения.

Увеличение дозы излучения увеличивает степень биологического эффекта, уменьшает латентный период и может изменять качество биологического эффекта.

При облучении тканей с выраженной способностью к физиологической регенерации морфологические изменения проявляются при воздействии относительно небольших доз радиации в ближайшие сроки после облучения. Эти ткани обладают и большей способностью к восстановлению.

В тканях без высокого потенциала физиологической пролиферации морфологические изменения в клетках наблюдаются только при облучении в больших дозах. Следовательно, и восстановление таких тканей более длительное.

Усиление степени биологического эффекта по мере увеличения дозы протекает пропорционально только в определенных диапазонах. Эффект от любой дозы связан с **длительностью** облучения, которая при одной и той же дозе определяется ее **мощностью**. С уменьшением мощности излучения при одной и той же величине дозы биологический эффект ослабевает. Такое же влияние оказывает и **фракционирование** дозы, то есть разделение ее на дробные порции. Это может быть объяснено возможностью восстановления тканей, частичной репарацией лучевого повреждения в интервале между облучением или во время облучения, а также изменением чувствительности облучаемого объекта к радиации в течение самого облучения. А это, в свою очередь, может зависеть от физиологических причин (например, от цикла деления клеток) или быть результатом самого облучения.

Для физиологически активных тканей по мере уменьшения мощности дозы или при фракционировании повреждающий эффект ослабляется, так как физиологическая регенерация возможна даже во время облучения. На ткани со слабой физиологической активностью уменьшение мощности дозы оказывает меньшее влияние

Рекомендуемая литература:

1. Лучевая диагностика: учебник / Под ред. Г.Е. Труфанова. 2013. - 496 с.
<http://www.studmedlib.ru/ru/book/ISBN9785970425152.html>

2. Лучевая диагностика и терапия. Общая лучевая диагностика : учебник : в 2 т. / С. К. Терновой [и др.]. - М. : ГЭОТАР-Медиа, 2014. - Т. 1. - 232 с.
<http://www.studmedlib.ru/ru/book/ISBN9785970429891.html>

3. Лучевая терапия: учебник. Труфанов Г.Е., Асатурян М.А., Жаринов Г.М. и др. / Под ред. Г.Е. Труфанова. 2013. - 208 с.
<http://www.studmedlib.ru/ru/book/ISBN9785970425145.html>

Задания для развития и контроля владения компетенциями

Задание 1. Дистанционная гамма-терапия

Задание 2. Контактные методы лучевой терапии.

Задание 3. Комбинированная лучевая терапия

Тема 6. Показания и противопоказания к лучевой терапии. Методы и планирование лучевой терапии.

Цель занятия: изучить физико-технические и биологические основы лучевой терапии.

Вопросы, выносимые на обсуждение:

1. Основные особенности биологического действия ионизирующего излучения.
2. Этапы взаимодействия ионизирующего излучения с клетками и тканями организма человека.
3. Критические постлучевые внутриклеточные структуры.

Методические рекомендации

В зависимости от типа и качества ионизирующего излучения вся лучевая терапия подразделяется на три вида:

Фотонная лучевая терапия:

рентгенотерапия фотонами низких энергий (до 100 КэВ)

рентгенотерапия фотонами средних энергий (180-250 КэВ)

гамма-терапия

терапия тормозным излучением высоких энергий

Корпускулярная терапия

бета-терапия

терапия электронами

протонная терапия

нейтронная терапия (нейтрон-соударная и нейтрон-захватная)

Смешанная лучевая терапия:

протонная + гамма-терапия

нейтроны + гамма-терапия и т.д.

6.1. Фотонная лучевая терапия

Рентгенотерапия фотонами низких и средних энергий

Рентгеновское излучение, открытое в 1895 г. Вильгельмом Конрадом Рентгеном, является электромагнитным, то есть фотонным. Источником рентгеновского излучения является вакуумная трубка, имеющая катод и анод, между которыми создается высокое напряжение. Обычная классическая рентгенотерапия проводится при напряжении генерирования 30-250 кВ. Электроны, вылетающие из катода рентгеновской трубки, приобретают ускорение под действием электрического поля и энергию E , равную $E = eU$, где e - заряд электрона, U - напряжение на трубке. Эта энергия измеряется в электрон-вольтах (эВ), то есть 1 эВ - это энергия электрона, полученная при разности потенциалов 1 В ($1000 \text{ эВ} = 1 \text{ кэВ}$, $106 \text{ эВ} = 1 \text{ МэВ}$).

При торможении электрона на аноде появляется *характеристическое излучение*, зависящее от элементарного состава анода, и рентгеновское тормозное. Характеристическое излучение имеет дискретный характер, тормозное - непрерывный спектр, начиная с $A=12,34/U$. Энергетическим спектром можно управлять путем изменения напряжения генерирования и дополнительной фильтрацией. При увеличении напряжения весь спектр и его максимум сдвигается вправо. Низкоэнергетические кванты поглощаются дополнительными фильтрами, которые вызывают сужение спектра, делая его более однородным.

Лучевая терапия рентгеновским излучением осуществляется с использованием рентгено-терапевтических аппаратов РУМ-7, РУМ-17, РУМ-21, РТА.

Распределение поглощенных доз рентгеновского излучения в среде определяется фотоэлектрическим поглощением и комптоновским рассеянием. При *фотоэлектрическом поглощении* происходит выбивание электрона из атома и, следовательно, ионизация веще-

ства. *Комптоновский эффект* заключается в том, что часть энергии кванта преобразуется в кинетическую энергию отдачи, а часть - в энергию рассеянного кванта, который в дальнейшем может снова взаимодействовать с веществом. При этом, *чем выше напряжение, приложенное к полюсам рентгеновской трубки, тем короче длина волны фотонов и, следовательно, выше их проникающая способность.*

Рентгеновское излучение низких и средних энергий (генерируемое при напряжении на трубке 10-230 кВ) обуславливает максимум дозы на поверхности тела человека. В глубине тканей доза непрерывно и довольно круто падает, составляя при напряжении 200 кВ на глубине 10 см всего 20% от поверхностной дозы.

Для этого вида излучения характерно также значительное боковое рассеяние энергии, что ведет к лучевому воздействию на ткани, лежащие за границами облучаемого очага.

Распределение поглощенных доз рентгеновского излучения для напряжения на трубке 200 кВ выглядит следующим образом:

100% поглощенной дозы лежит на поверхности,

50% поглощенной дозы находится на расстоянии 6-7 см от поверхности,

30% поглощенной дозы - на расстоянии 9 см,

10% поглощенной дозы - на расстоянии 16 см от облучаемой поверхности.

Подобное распределение поглощенных доз свидетельствует, что применение рентгеновского излучения препятствует использованию рентгеновских лучей для терапии глубоко лежащих новообразований и целесообразно главным образом для поверхностно расположенных новообразований или при заболеваниях, не требующих подведения больших доз (неопухолевые заболевания). В связи с этим на сегодняшний день применение рентгенотерапии ограничено.

Показаниями к рентгенотерапии являются поверхностно расположенные патологические процессы (глубина до 2 см):

злокачественные новообразования (базалиома, рак кожи, губы, слизистой полости рта, меланома, метастазы рака в кожу)

доброкачественные новообразования (гемангиома)

неопухолевые заболевания (экземы, нейродермиты, келоидные рубцы и др.).

Преимуществами рентгенотерапии являются:

легкость в управлении терапевтическим оборудованием,

относительно низкие энергозатраты и простота оборудования.

Недостатком рентгенотерапии является:

невозможность лучевого воздействия на глубоко расположенные патологические процессы.

Гамма-терапия

Гамма-излучение возникает в результате самопроизвольного распада ядер радиоактивных элементов. Гамма-излучение также относится к группе электромагнитных излучений и отличается от рентгеновского и тормозного излучений механизмом происхождения. Энергия фотонов, испускаемых определенным радиоактивным веществом, независимо от его химического состояния всегда постоянна.

В таблице 3 приведены основные характеристики наиболее распространенных в лучевой

терапии радионуклидов, являющихся гамма-излучателями.

Таблица 3

Основные характеристики наиболее распространенных в лучевой терапии радионуклидов

Изотоп	Период полураспада	Энергия гамма-квантов, МэВ	Слой половинного ослабления узкого пучка в биологической ткани, см
Радий (^{226}Ra)	1620 лет	0,18-2,9	10,7
Кобальт (^{60}Co)	5,3 года	1,33	11,0
Цезий (^{137}Cs)	33 года	0,661	7,7
Иридий (^{192}Ir)	74,4 суток	0,137	7,1
Тантал (^{182}Ta)	120 суток	1,13	10,5

Гамма-кванты обладают значительной энергией и, следовательно, большой проникающей способностью. Их кривые поглощения, как правило, лежат между кривыми поглощения рентгеновского и тормозного излучений.

От рентгеновского гамма-излучение отличается сдвигом максимума ионизации с поверхности облучаемого тела на 0,3-0,5 см вглубь, что уменьшает облучение кожи. Относительные глубинные дозы при гамма-облучении выше, чем при рентгеновском, а поглощение их в мягких и костных тканях мало различается. Все это дает возможность подвести большую дозу излучения к опухоли, расположенной на глубине, с меньшим риском повреждения кожи и окружающих здоровых тканей.

Распределение поглощенных доз при гамма-терапии 1,33 МэВ (изотоп ^{60}Co) выглядит следующим образом:

100% поглощенной дозы находится на глубине 0,5 см от поверхности,

50% поглощенной дозы - на глубине 12 см,

20% поглощенной дозы - на глубине 26 см от облучаемой поверхности.

Показаниями к гамма-терапии являются:

практически все злокачественные опухоли внутренних органов.

Преимуществами гамма-терапии являются:

снижение кожной дозы,

практически одинаковое поглощение как костной тканью, так и другими тканями,

менее резкое возрастание интегральной дозы,

стабильность и однородность излучения, не требующего фильтрации,

относительная простота в управлении терапевтическим оборудованием.

Недостатками гамма-терапии является:

высокая проникающая способность, что требует принятия мер защиты,

необходимость смены радиоактивного источника через определенное время (например, через 5 лет при использовании ^{60}Co с периодом полураспада 5,3 года).

Методическими подходами, применяемыми для защиты от воздействия ионизирующего гамма-излучения являются:

экранирование, заключающееся в использовании материалов и изделий из них, поглощающих гамма-излучение (контейнеры для радиоактивных веществ; конструкционное выполнение доступа в кабинеты гамма-терапии в виде лабиринтов с толстыми стенами),

увеличение расстояния от источника гамма-излучения до биологических объектов (удаленное расположение кабинетов гамма-терапии от лечебных корпусов),

уменьшение времени контакта с гамма-излучением (строгая регламентация процедур, сведение к минимуму контакта больных и персонала с гамма-излучением).

Лучевая терапия тормозным излучением высоких энергий (сверхжестким рентгеновским излучением)

Рентгеновское сверхжесткое тормозное излучение формируется в результате ускорения и резкого торможения электронов о мишень в вакуумных системах специальных ускорителей. Сверхжесткое тормозное излучение отличается от обычного рентгеновского излучения энергией квантов, находящейся в диапазоне от единиц до десятков МэВ (5-100 МэВ). Ускорители подразделяются на *электростатические* (ускоритель Ван де Граафа), *линейные* (линейные ускорители электронов - ЛУЭ), *циклические* (микротроны, бетатроны, синхротроны). Особенность сверхжесткого тормозного излучения состоит в том, что *с ростом энергии квантов возрастает глубинная доза, доза на поверхности падает, а зона максимума ионизации увеличивается, сдвигаясь вглубь*. Поэтому тормозное рентгеновское излучение высокой энергии имеет совершенно особое дозное распределение. При энергии фотонов 25 МэВ максимум ионизации приходится на глубину 4-6 см.

Распределение поглощенных доз сверхжесткого тормозного излучения с энергией 25 МэВ имеет следующий характер:

100% поглощенной дозы находится на глубине 3-5 см от поверхности,

50% поглощенной дозы - на глубине 20 см,

20% поглощенной дозы изодоза - на глубине 36 см от облучаемой поверхности.

Показаниями к терапии тормозным излучением высоких энергий являются:

глубоко расположенные злокачественные опухоли (рентгено- или гамма-терапии которых проблематична).

Преимуществами терапии сверхжестким рентгеновским излучением является:

глубокая проникающая способность,

минимальная опасность лучевого поражения кожи и поверхностных тканей (так как дозовый максимум излучения находится в глубине облучаемых тканей)

отсутствие облучения смежных тканей (вследствие резкого ограничения пучка и отсутствия бокового рассеяния).

Недостатком использования терапии тормозным излучением высоких энергий является сравнительно медленный спад дозы за максимумом ионизации (в связи с чем ткани, расположенные за опухолью, облучаются также в довольно высокой дозе).

Рекомендуемая литература:

1. Лучевая диагностика: учебник / Под ред. Г.Е. Труфанова. 2013. - 496 с.
<http://www.studmedlib.ru/ru/book/ISBN9785970425152.html>

2. Лучевая диагностика и терапия. Общая лучевая диагностика : учебник : в 2 т. / С. К. Терновой [и др.]. - М. : ГЭОТАР-Медиа, 2014. - Т. 1. - 232 с.
<http://www.studmedlib.ru/ru/book/ISBN9785970429891.html>

3. Лучевая терапия: учебник. Труфанов Г.Е., Асатурян М.А., Жаринов Г.М. и др. / Под ред. Г.Е. Труфанова. 2013. - 208 с.
<http://www.studmedlib.ru/ru/book/ISBN9785970425145.html>

Задания для развития и контроля владения компетенциями

Задание 1. Дистанционная гамма-терапия

Задание 2. Контактные методы лучевой терапии.

Задание 3. Комбинированная лучевая терапия

Тема 7. Лучевые реакции и повреждения.

Цель занятия: изучить физико-технические и биологические основы лучевой терапии.

Вопросы, выносимые на обсуждение:

1. Основные особенности биологического действия ионизирующего излучения.
2. Этапы взаимодействия ионизирующего излучения с клетками и тканями организма человека.
3. Критические постлучевые внутриклеточные структуры.

Методические рекомендации

Несмотря на возрастающие технические возможности индивидуального подхода к лучевому лечению больных с различными локализациями злокачественных опухолей, в сферу облучения неизбежно попадают здоровые органы и ткани, со стороны которых лучевая терапия вызывает временные, а иногда и стойкие функциональные или органические нарушения.

Лучевые реакции

Изменения, возникающие в органах и тканях с начала курса лучевой терапии и достигающие наибольшей выраженности в конце курса, называются **лучевыми реакциями**. Лучевые реакции проходят бесследно, самостоятельно в течение 2-4 недель после окончания курса облучения. Лучевые реакции могут быть общими и местными.

Местные лучевые реакции возникают на *коже, слизистых оболочках* полостных органов, прилегающих к опухоли и попадающих в объем облучения (*полости рта, пищевода, мочевого пузыря, прямой кишки* и т.д.).

Лучевая реакция **кожи** проявляется в развитии **дерматита** разной степени выраженности:

эритема (гиперемия, отечность, зуд)

сухой эпидермит (шелушение эпидермиса на фоне гиперемии)

влажный эпидермит (пузырьки с серозным, серозно-геморрагическим содержимым на фоне гиперемии и отечности).

Лучевые реакции **слизистых оболочек** (*лучевые эпителииты, мукозиты*) могут развиваться как при дистанционной лучевой терапии, так и при контактной и зависят от поглощенной дозы. Лучевые реакции слизистых оболочек в виде эпителиитов и мукозитов могут иметь различную степень выраженности (гиперемия, отек, очаговый или сливной эпителиит).

В зависимости от поля облучения развиваются *лучевые циститы, ректиты, эзофагиты*,

пневмониты, ларингиты и т.д. При лучевой терапии *дна полости рта, языка* наряду с радиопителитом наблюдаются нарушения слюноотделения и изменение вкусовых ощущений - *ксеростомия*.

Обычно для местных лучевых реакций характерен благоприятный исход. Для купирования их применяют соответствующий режим, различные мази и кремы, аппликации и орошения антисептическими растворами, настоями трав, полоскания, ингаляции и др.

Общие лучевые реакции проявляются функциональными нарушениями со стороны ЦНС, кроветворения, желудочно-кишечного тракта, сердечнососудистой системы. При современной лучевой терапии они наблюдаются довольно редко. Клинически общие лучевые реакции могут проявляться в виде головной боли, сонливости, возбудимости, вазомоторной лабильности, снижения аппетита, тошноты, рвоты, умеренной лейкоцитопении. Купируются эти проявления полноценным питанием, длительным пребыванием на воздухе, приемом антигистаминных препаратов, другими симптоматическими средствами.

Лучевые повреждения

Лучевая терапия злокачественных новообразований может привести к **повреждению** окружающих здоровых тканей с развитием характерной картины **местного лучевого повреждения**, частота и тяжесть которого зависят в первую очередь от суммарной дозы поглощенного излучения. Кроме того, в развитии лучевых повреждений имеет значение особенности распределения энергии излучения в облучаемом объеме тканей, величина объема облучаемых тканей и продолжительности периода после лучевой терапии и др.

Лучевые повреждения самостоятельно не ликвидируются. В отличие от лучевых реакций, самостоятельно проходящих в течение 2-4 недель, для ликвидации лучевых повреждений необходимо проводить специальное, часто длительное лечение.

Местные лучевые повреждения, то есть повреждения, развивающиеся в области поля облучения, применявшегося при лучевой терапии, подразделяют на *ранние и поздние*.

Ранние местные лучевые повреждения развиваются в сроки *от начала лучевой терапии до 3 месяцев (100 дней)* после нее. Такие сроки появления ранних местных лучевых повреждений установлены в соответствии с результатами радиобиологических исследований, показавших, что 3 месяца - это максимальный период, в течение которого могут восстанавливаться сублетально поврежденные клетки.

Поздние местные лучевые повреждения *развиваются в сроки более 3 месяцев (100 дней) от начала лучевой терапии, часто через много лет.*

Если в первые годы повсеместного применения лучевой терапии в основном регистрировали местные лучевые повреждения кожи и подлежащих мягких тканей, то в настоящее время фактически нет таких органов и тканей, в которых не развивалось бы лучевых повреждений после облучения в дозах, превышающих их толерантность.

Изучение частоты лучевых повреждений кожи и подлежащих тканей показало, что спустя 5 лет и более после лучевой терапии местные лучевые повреждения отмечаются у 41,5% больных. Из них 50% больных подвергались гамма-терапии. В настоящее время в России частота поздних лучевых повреждений кожи и подлежащих тканей варьирует в пределах 10%, что соответствует аналогичному показателю в других странах.

Патогенез и классификация лучевых повреждений

Общим для ранних и поздних местных лучевых повреждений является выделение четырех степеней их выраженности, с нарастанием тяжести повреждения от I степени к IV. Патогенетические механизмы и методы лечения *ранних и поздних* лучевых повреждений различны.

Ранние лучевые повреждения: в основе **ранних лучевых повреждений**, наряду с повреждением генетического аппарата клеток и снижением репаративных процессов, лежат функциональные расстройства, вызывающие, в первую очередь, нарушения кровоснабжения.

Рекомендуемая литература:

1. Лучевая диагностика: учебник / Под ред. Г.Е. Труфанова. 2013. - 496 с.
<http://www.studmedlib.ru/ru/book/ISBN9785970425152.html>
2. Лучевая диагностика и терапия. Общая лучевая диагностика : учебник : в 2 т. / С. К. Терновой [и др.]. - М. : ГЭОТАР-Медиа, 2014. - Т. 1. - 232 с.
<http://www.studmedlib.ru/ru/book/ISBN9785970429891.html>
3. Лучевая терапия: учебник. Труфанов Г.Е., Асатурян М.А., Жаринов Г.М. и др. / Под ред. Г.Е. Труфанова. 2013. - 208 с.
<http://www.studmedlib.ru/ru/book/ISBN9785970425145.html>

Задания для развития и контроля владения компетенциями

Задание 1. Дистанционная гамма-терапия

Задание 2. Контактные методы лучевой терапии.

Задание 3. Комбинированная лучевая терапия

ЛИТЕРАТУРА

Основная литература:

1. Лучевая диагностика: учебник / Под ред. Г.Е. Труфанова. 2013. - 496 с.
<http://www.studmedlib.ru/ru/book/ISBN9785970425152.html>
2. Лучевая диагностика и терапия. Общая лучевая диагностика : учебник : в 2 т. / С. К. Терновой [и др.]. - М. : ГЭОТАР-Медиа, 2014. - Т. 1. - 232 с.
<http://www.studmedlib.ru/ru/book/ISBN9785970429891.html>
3. Лучевая терапия: учебник. Труфанов Г.Е., Асатурян М.А., Жаринов Г.М. и др. / Под ред. Г.Е. Труфанова. 2013. - 208 с.
<http://www.studmedlib.ru/ru/book/ISBN9785970425145.html>

Дополнительная литература:

4. Канюков В.Н. Медицинское диагностическое оборудование : учебное пособие. Оренбургский государственный университет. 2010 год, г. Оренбург. 108 с.
5. Джойнер М.С., Когель О.Дж. ван дер. Основы клинической радиобиологии. / БИНОМ. Лаборатория знаний / 2013 год, Москва. - 607 с.
6. Отв. ред. Шишкин С. В. Внедрение новых технологий в медицинских организациях : зарубежный опыт и российская практика. / Издательский дом Высшей школы экономики / 2013, Москва, 273 с.

Интернет-ресурсы:

1. <http://www.vargin.mephi.ru/> – образовательный портал по всем разделам физики.
2. <http://www.edu.ru/> – федеральный портал Российское образование (содержит материалы по термодинамике и статистической физике)

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Принципы лучевой диагностики и терапии

**Методические указания для обучающихся по организации и проведению
самостоятельной работы**

Направление подготовки 03.04.02 Физика
Направленность (профиль)
«Биофизика и медицинская инженерия»

Квалификация выпускника: магистр

**Ставрополь
2026**

Содержание

Пояснительная записка	3
Требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы магистрантов	4
Критерии оценки самостоятельной работы магистрантов	6
Список литературы, рекомендуемый к использованию в самостоятельной работе магистрантов	7

Введение

Цель самостоятельной работе магистрантов:

1. Систематизировать современные процессы интеграции Российского высшего образования в общеевропейскую и мировую образовательную практику; предоставление обучающимся комплексных современных знаний о тепло- и массопереносе в магнитном поле.

2. Подобрать такой дидактический материал для самостоятельной работы магистрантов, который бы позволил применить полученные знания на практике.

Исходя из обозначенной цели, основными задачами **самостоятельной работе магистрантов** служат:

- основные достижения, проблемы и тенденции развития тепло- и массопереносе в магнитном поле в России и за рубежом;
- современные подходы к тепло- и массопереносе в магнитном поле.
- рассмотреть особенности тепло- и массопереносе в магнитном поле
- специфику профессиональной деятельности в условиях высшей школы;
- формирование навыков критического восприятия и оценки источников научной информации;
- преодоление негативного влияния узкой специализации, несовместимой с потребностями современной жизни, что способствует глубокому творческому изучению избранной магистрантом темы

Основными **формами работы и контроля** магистрантов являются:

Индивидуальное решение репродуктивных, реконструктивных и творческих **заданий**, позволяющих оценивать и диагностировать уровень обученности, уровень умений и навыков магистрантов по дисциплине.

Собеседование - форма учебной деятельности, специальная беседа преподавателя с магистрантом на темы, связанные с изучаемой дисциплиной, рассчитанная на выяснение объема знаний магистранта по определенному разделу, теме, проблеме и т. п., позволяющая оценить их умение аргументировать собственную точку зрения, предполагающая всестороннее обсуждение какого-либо вопроса, проблемы или сопоставлении информации, идей, мнений, предложений.

Реферат – раскрытие сущности исследуемой проблемы, включающее обращение к различным точкам зрения на вопрос, а также изложение собственных взглядов на нее.

ИД-1ПК-1

Использует знания в области биофизики и медицинской инженерии для решения профессиональных задач.

ИД-1ПК-2

Разрабатывает и совершенствует методики анализа биофизических параметров с целью повышения их конкурентоспособности

ИД-1ПК-6

Моделирует процессы в веществе с использованием стандартных пакетов компьютерных программ и средств автоматизированной обработки информации

ИД-2ПК-6

Прогнозирует результаты различных обработок экспериментальной информации, в том числе с использованием стандартных пакетов компьютерных программ и средств ПК

ПЛАН-ГРАФИК ВЫПОЛНЕНИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Вид деятельности студентов	Итоговый продукт самостоятельной работы	Средства и технологии оценки	Время сдачи
Подготовка к практическому занятию по теме №1	Конспект	Собеседование	Тема №1
Подготовка к практическому занятию по теме №2	Конспект	Собеседование	Тема №2
Подготовка к практическому занятию по теме №3	Конспект	Собеседование	Тема №3
Подготовка к практическому занятию по теме №4	Конспект	Собеседование	Тема №4
Подготовка к практическому занятию по теме №5	Конспект	Собеседование	Тема №5
Подготовка к практическому занятию по теме №6	Конспект	Собеседование	Тема №5
Подготовка к практическому занятию по теме №7	Конспект	Собеседование	Тема №5

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Индивидуальное решение репродуктивных, реконструктивных и творческих заданий, позволяющих оценивать и диагностировать уровень обученности, уровень умений и навыков магистрантов по дисциплине

Процедура проведения данного оценочного мероприятия включает в себя: предоставление устного доклада или письменной работы по проблемам тепло- и массопереноса в магнитном поле.

Для подготовки к выполнению задания следует изучить и проанализировать рекомендованную литературу и на их основании подготовиться к изложению темы.

При проверке задания оцениваются

- уверенное владение материалом;
- умение четко и логично излагать свои мысли;
- умение творчески подходить к решению основных проблем темы;
- самостоятельность мышления, умение отстаивать свою позицию в ходе последующих дискуссий,
- самостоятельная и выразительная устная речь, полностью раскрывающая суть проблематики задания.

Собеседование - форма учебной деятельности, специальная беседа преподавателя с магистрантов на темы, связанные с изучаемой дисциплиной, рассчитанная на выяснение объема знаний магистранта по определенному разделу, теме, проблеме и т.п., позволяющая оценить их умение аргументировать собственную точку зрения, предполагающая всестороннее обсуждение какого-либо вопроса, проблемы или сопоставлении информации, идей, мнений, предложений.

Процедура проведения данного оценочного мероприятия включает в себя:

- отдельное собеседование по каждой из указанных тем;
- составленные магистрантом конспекты источников научной литературы;
- анализ магистрантом публицистического материала.

Принципиальные отличия заданий базового уровня от повышенного заключаются в большем объеме фактов и событий, в сравнительно-аналитическом характере изложения материала, его теоретической (методологической) составляющей.

Для подготовки к каждой теме следует изучить и законспектировать рекомендованные источники и научную литературу и на их основании подготовиться к указанным в методических материалах вопросам для обсуждения.

При подготовке к ответу магистранту предоставляется право пользования указанными конспектами.

При проверке задания, оцениваются:

- активное участие в работе;
- уверенное владение материалом;
- умение четко и логично излагать свои мысли;
- умение творчески подходить к решению основных вопросов темы;
- самостоятельность мышления,
- полное соответствие конспекта установленным требованиям;
- самостоятельная устная речь, полностью раскрывающая суть проблематики собеседования.

Реферат – раскрытие сущности исследуемой проблемы, включающее обращение к различным точкам зрения на вопрос, а также изложение собственных взглядов на нее.

Структура и содержание реферата

Структура реферата включает в себя следующие элементы:

- титульный лист;
- оглавление;
- введение;
- основная часть;
- заключение;
- список литературы и источников;
- приложение.

Титульный лист – это информация о выходных данных вашей работы. Он является первой страницей научной работы и заполняется по строго определенным правилам. Титульный лист не нумеруется.

В *оглавлении* текста последовательно излагаются названия пунктов реферата с указанием страницы, с которой начинается каждый пункт. Заголовки оглавления должны точно повторять заголовки в тексте. Сокращать или давать их в другой формулировке, последовательности и соподчиненности по сравнению с заголовками в тексте нельзя. Заголовки одинаковых ступеней рубрикации необходимо располагать друг под другом. Заголовки каждой последующей ступени смещают на три–пять знаков вправо по отношению к заголовкам предыдущей ступени. Все заголовки начинают с прописной буквы без точки на конце. Последнее слово каждого заголовка соединяют отточием с соответствующим ему номером страницы в правом столбце оглавления.

Введение к работе. Здесь обычно обосновываются актуальность выбранной темы, цель и содержание поставленных задач, формулируются объект и предмет исследования, указывается избранный метод (или методы) исследования.

Содержание глав основной части должно точно соответствовать теме реферата и полностью её раскрывать. Эти главы должны показать умение автора сжато, логично и аргументировано излагать материал. Важно понимать, что каждая глава должна представлять собой законченное произведение. Её следует начинать постановкой рассматриваемой задачи, а завершать четкими, аргументированными выводами. Все приводимые в работе данные обязательно следует сопровождать подстрочной ссылкой на источник, описание которого должно приводиться в соответствии с требованиями библиографических стандартов. Как правило, основная часть реферата состоит из 2–3 глав, которые в случае необходимости разбиваются на параграфы.

Реферат заканчивается заключительной частью, которая так и называется «*заключение*». Этот синтез – последовательное, логически стройное изложение полученных итогов и их соотношение с общей целью и конкретными задачами, поставленными и сформулированными во введении.

После заключения помещается *библиографический список использованной литературы*, куда включаются оригинальные тексты, монографические исследования, научные статьи, учебные пособия и др. Каждый включенный в такой список литературный источник должен иметь отражение в тексте реферата. Если автор реферата делает ссылку на какие-либо заимствованные факты или цитирует работы других авторов, то он должен обязательно указать в подстрочной ссылке, откуда взяты приведенные материалы. Список литературы должен включать не менее 10 источников.

Объем реферата должен составлять не менее 24 страниц машинописного текста. Объем приложений не ограничивается.

Общие требования к оформлению реферата

Текст реферата должен быть напечатан на одной стороне стандартного листа белой односортной бумаги формата А4 (210×297 мм) через полтора интервала (размер шрифта –

14) с применением черных чернил с полями вокруг текста. Размер левого поля 30 мм, правого – 10 мм, верхнего – 20 мм, нижнего – 20 мм. При таких полях каждая страница должна содержать приблизительно 1800 знаков (30 строк, по 60 знаков в строке, считая каждый знак препинания и пробел между словами также за печатный знак).

Текст перепечатывается в строго последовательном порядке. Не допускаются разного рода текстовые вставки и дополнения, помещаемые на отдельных страницах или на оборотной стороне листа, и переносы кусков текста в другие места. Все сноски и подстрочные примечания перепечатываются (через один интервал) на той странице, к которой они относятся. Все страницы нумеруются, начиная с титульного листа. Цифру, обозначающую порядковый номер страницы, ставят в правом углу верхнего поля листа (на первой и второй странице цифру, обозначающую порядковый номер, не ставят).

Приложение для рефератов является желательным, но необязательным элементом. В приложение обычно входят различные таблицы, графики, схемы, рисунки и т.п. Приложения помещают после списка использованных библиографических источников в порядке их упоминания в тексте. Каждое приложение следует начинать с нового листа. Приложение не входит в параметры минимального объема работы

Магистранты, занимающиеся в семинарских группах, сдают реферат руководителю семинара в срок, определенный учебным планом и рабочей программой дисциплины, но не позднее, чем за месяц до экзамена. Сданный реферат предполагает обсуждение и защиту в учебной группе. Магистранты, не защитившие реферат, к экзамену не допускаются.

Критерии оценки самостоятельной работы магистрантов

Критерии оценивания результатов самостоятельной работы магистрантов разработаны с учетом требований ФГОС ВО. Задания, выносимые на самостоятельную работу магистрантов, оцениваются по шкале «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» и «неудовлетворительно».

Оценка **«отлично»** выставляется при следующих условиях:

- даны исчерпывающие и обоснованные ответы на вопросы, поставленные в задании, выносимом на самостоятельную работу магистрантов;
- показано умение грамотно применять полученные теоретические знания при анализе событий действительности;
- показано глубокое и творческое овладение основной и дополнительной литературой;
- материал излагается аргументировано и логически стройно.

Оценка **«хорошо»** выставляется при следующих условиях:

- даны полные, достаточно глубокие и обоснованные ответы на вопросы, поставленные в задании, выносимом на самостоятельную работу магистрантов;
- показаны достаточно прочные практические навыки;
- даны полные, но недостаточно обоснованные ответы на дополнительные вопросы;
- показаны глубокие знания основной и недостаточное знакомство с дополнительной литературой;
- показано умение теоретически обосновывать высказываемые положения;
- ответы в основном были краткими, но в них не всегда выдерживалась логическая последовательность.

Оценка **«удовлетворительно»** выставляется при следующих условиях.

- даны в основном правильные ответы на все вопросы задания, выносимого на самостоятельную работу магистрантов, но без должной глубины и обоснования;
- показаны недостаточно прочные практические навыки;
- не даны положительные ответы на некоторые дополнительные вопросы;
- показаны недостаточные знания основной литературы;

- ответы были многословными, мысли излагались недостаточно четко и без должной логической последовательности.

Оценка «**неудовлетворительно**» выставляется в случаях, когда не выполнены условия, позволяющие поставить оценку «удовлетворительно», когда магистрант не усвоил основного содержания предмета и слабо знает рекомендованную литературу.

Список литературы, рекомендуемый к использованию в самостоятельной работе магистрантов

Основная литература:

1. Лучевая диагностика: учебник / Под ред. Г.Е. Труфанова. 2013. - 496 с.
<http://www.studmedlib.ru/ru/book/ISBN9785970425152.html>

2. Лучевая диагностика и терапия. Общая лучевая диагностика : учебник : в 2 т. / С. К. Терновой [и др.]. - М. : ГЭОТАР-Медиа, 2014. - Т. 1. - 232 с.
<http://www.studmedlib.ru/ru/book/ISBN9785970429891.html>

3. Лучевая терапия: учебник. Труфанов Г.Е., Асатурян М.А., Жаринов Г.М. и др. / Под ред. Г.Е. Труфанова. 2013. - 208 с.
<http://www.studmedlib.ru/ru/book/ISBN9785970425145.html>

Дополнительная литература:

4. Канюков В.Н. Медицинское диагностическое оборудование : учебное пособие. Оренбургский государственный университет. 2010 год, г. Оренбург. 108 с.

5. Джойнер М.С., Когель О.Дж. ван дер. Основы клинической радиобиологии. / БИНОМ. Лаборатория знаний / 2013 год, Москва. - 607 с.

6. Отв. ред. Шишкин С. В. Внедрение новых технологий в медицинских организациях : зарубежный опыт и российская практика. / Издательский дом Высшей школы экономики / 2013, Москва, 273 с.

Интернет-ресурсы:

3. <http://www.vargin.merphi.ru/> – образовательный портал по всем разделам физики.

4. <http://www.edu.ru/> – федеральный портал Российское образование (содержит материалы по термодинамике и статистической физике)