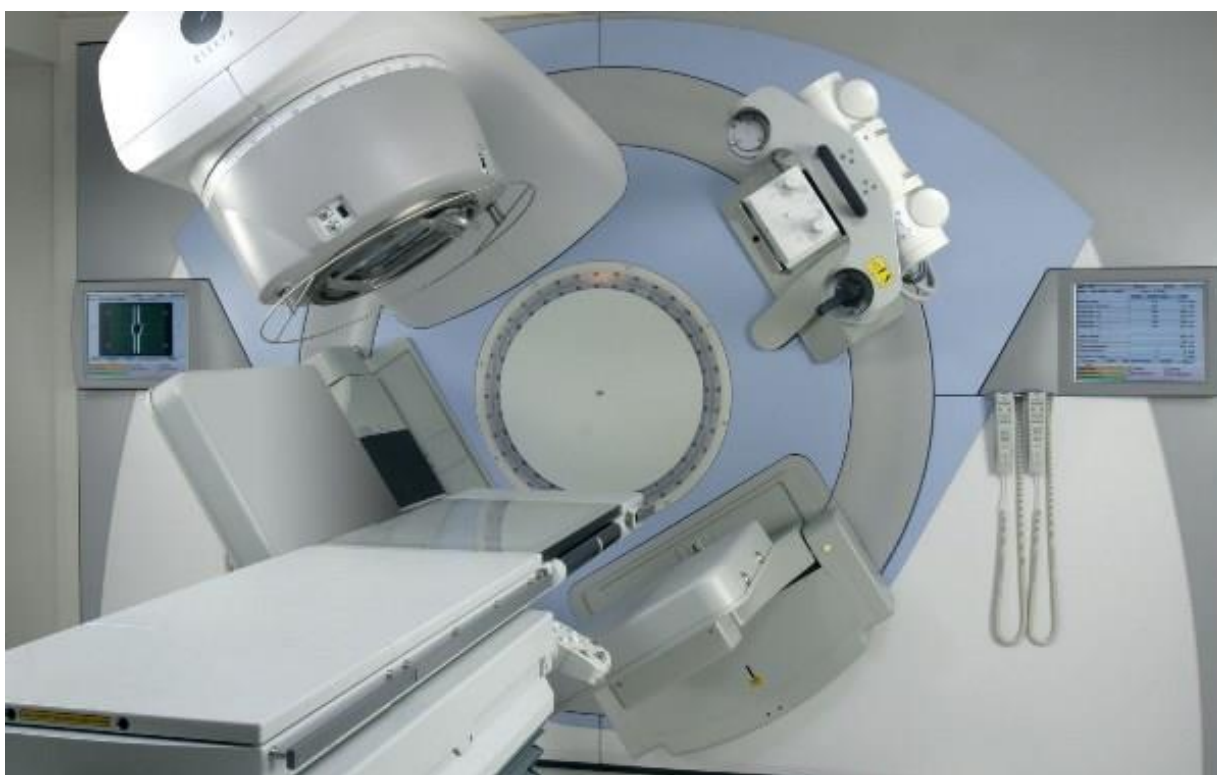


**БОЛЬНИЦА МЕДИЦИНСКОГО ЦЕНТРА УПРАВЛЕНИЯ ДЕЛАМИ
ПРЕЗИДЕНТА РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
НАЦИОНАЛЬНЫЙ НАУЧНЫЙ ОНКОЛОГИЧЕСКИЙ ЦЕНТР**

Шаназаров Н.А., Налгиева Ф.Х.



Основы лучевой терапии

(Учебное пособие)

г. Нур-Султан, 2021г.

УДК
ББК

Рецензенты:

1. Зинченко Сергей Викторович - д.м.н., профессор, заведующий кафедрой хирургии и онкологии ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»
2. Тайлаков Балтабай Баишевич – д.м.н, профессор, зам.директора ГКП на ПХВ «Многопрофильного медицинского центра» г.Нур-Султан по научной части

Авторы:

Шаназаров Насрулла Абдулаевич - д.м.н., профессор, заместитель директора по стратегическому развитию, науке и образованию больницы МЦ УДП РК, руководитель центра фотодинамической терапии

Налгиева Фатима Хамзатовна – к.м.н., врач радиолог высшей категории, руководитель высокотехнологичного центра радиационной онкологии ГКП на ПХВ «ММЦ» г.Нур-Султан, Национальный научный онкологический центр.

Шаназаров Н.А.,Налгиева Ф.Х. Основы лучевой терапии // Нур-Султан: 2021. -100 стр.

ISBN

Учебное пособие по дисциплине «Лучевая терапия», в котором представлены теоретические и клинические аспекты лучевой терапии, все виды ионизирующего излучения, основы клинической дозиметрии, принципы и методы лучевой терапии, биологическое действие ионизирующих излучений, лучевые реакции и повреждения, лучевая терапия опухолевых и неопухолевых заболеваний.

Предназначено для студентов старших курсов медицинских вузов, врачей-интернов, резидентов по специальности «Лучевая терапия», а также врачам общей практики, участковым врачам, онкологам, хирургам, терапевтам, медицинским психологам и другим и специалистам, которые в своей работе сталкиваются с вопросами оказания медицинской помощи пациентам с онкологическими заболеваниями.

УДК
ББК

Утверждено и разрешено к изданию типографским способом РГП «ННЦРЗ им. Салидат Каирбековой» (протокол заседания Департамента развития образования и науки образования РГП ННЦРЗ им. Салидат Каирбековой» №305 от «29» ноября 2021 года).

©Шаназаров Н.А., Налгиева Ф.Х., 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	
Тема 1. Виды и источники ионизирующих излучений.	
Исполнительные устройства при проведении лучевой терапии	7
1.1. История развития радиологии	8
1.2. Физические основы медицинской радиологии	12
1.3. Радиоактивные процессы	15
1.4. Закон радиоактивного распада	18
1.5. Ионизирующие излучения	20
1.6. Источники ионизирующих излучений	22
1.7. Принципы защиты	31
1.8. Средства защиты	33
Тема 2. Основы клинической дозиметрии. Методы дозиметрии	38
2.1. Основные типы дозиметрических приборов	39
2.2. Дозиметрия	41
2.3. Доза	42
2.4. Методы определения радиоактивности и дозы	45
Тема 3. Лучевая терапия. Принципы и методы лучевой терапии	61
Тема 4. Лучевые реакции и осложнения	78

СОКРАЩЕНИЯ

- ИП** - изомерный переход
ИИ - ионизирующие излучения
ИИИ – источники ионизирующего излучения
Р/час – единица рентген в час времени
АЭС – атомная электростанция
ЖКТ – желудочно-кишечный тракт
РАД - внесистемная единица измерения поглощённой дозы ионизирующего излучения.
Бк - беккерель
эВ - электрон-вольтах
кэВ - килоэлектрон-вольтах
ДК-02 – ионизационная камера индивидуального дозиметра
МэВ - мегаэлектрон-вольтах
Гр – Грей
Дж - джоуль
ФЭУ - фотоэлектронный умножитель
ТЛД – термолюминесцентный дозиметр
ЛТ – лучевая терапия
ДЛТ - дистанционная лучевая терапия
ОЭДФ – оксиэтилидендифосфовая кислота
РОД – разовая очаговая доза
СОД - суммарная очаговая доза
РОД - разовая очаговая доза
ЦНС – центральная нервная система
ИБС – ишемическая болезнь сердца
EGOG – Eastern Cooperative Oncology Group шкала оценки общего состояния больного
УЗИ – ультразвуковое исследование
КТ – компьютерная томография
МРТ – магнитно-резонансная томография
ПЭТ/КТ – позитронно-эмиссионная компьютерная томография
ОФЭКТ – однофотонная эмиссионная компьютерная томография
Эхо-КГ – эхокардиография
ОЛЛ – острый лимфобластный лейкоз
2D-ЛТ – двухмерная конформная лучевая терапия
3D-ЛТ – трехмерная конформная лучевая терапия

IMRT - intensity-modulated radiation therapy лучевая терапия с модуляцией интенсивности

IGRT - image guided radiotherapy – лучевая терапия управляемая изображениями

КИД-2 - конденсаторный индивидуальный дозиметр

СССР – союз советских социалистических республик

МОРР - режим комбинированной химиотерапии, аббревиатура образована от компонентов, входящих в схему лечения: (М) устарген (также известный как мехлорэтамин, хлорметин, мустин, азотистый иприт или MSD), (О) нковин (также известный как винкристин или видеомагнитофон) (Р) рокарбазин (также известный как матулан или натулан) (Р) реднизон (также известный как Deltasone или Orasone)

ЗНО - злокачественные новообразования

ВВЕДЕНИЕ

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.

Тема 1. Виды и источники ионизирующих излучений. Исполнительные устройства при проведении лучевой терапии

Значение темы:

Лучевая терапия — это способ лечения посредством воздействия на патологический процесс различными видами ионизирующих излучений. За прошедшие годы произошли значительные изменения в развитии лучевой терапии, успехи которой связаны с современным оснащением лечебных учреждений новейшей аппаратурой, стремительным развитием компьютерных технологий, применением новых видов излучений и разработкой новых методик лучевой терапии, прогрессом экспериментальной и клинической радиобиологии. Приоритетным направлением является разработка консервативных, органосохраняющих методов лечения онкологических больных, позволяющих сохранить качество жизни пациентов при высоких показателях эффективности лечения.

Цель занятия: ознакомить студентов с работой отделений лучевой терапии, требованиями радиационной безопасности при работе в радиологическом отделении, показать исполнительные устройства для проведения лучевой терапии.

Учебные задачи:

1. Определение понятия «ионизирующие излучение»
2. Классификацию видов ионизирующих излучений.
3. Свойства излучения, определяющие их применение в медицине.
4. Принципы защиты от ионизирующего излучения.

Вопросы программы для контроля знаний:

1. Ионизирующие излучение, виды ионизирующих излучений, свойства, определяющие их применение в медицине. Источники ионизирующих излучений, используемые в медицинской практике.
2. Альфа-излучение, его характеристика, проникающая способность α -излучения, ионизирующая способность и энергия.
3. Бета-излучение, его характеристика, проникающая и ионизирующая способность β -излучения, энергия β -частиц.
4. Гамма-излучение, источники γ -излучения, проникающая и ионизирующая способность γ -излучения.

5. Рентгеновское излучение, его происхождение. Характеристики рентгеновского излучения, энергия, проникающая способность. Отличия рентгеновского излучения от γ -излучения.
6. Изотопы. Понятие о стабильных и радиоактивных изотопах, естественных и искусственных изотопах.
7. Источники ионизирующего излучения, характеристика основных источников ионизирующего излучения. Устройство отделений лучевой терапии использующих "открытые" и "закрытые" источники ионизирующего излучения.
8. Закон радиоактивного распада. Единицы измерения активности (Беккерель, Кюри).
9. Принципы радиационной безопасности в отделениях лучевой терапии. Защита от повреждающего воздействия ионизирующего излучения. Стационарные и подвижные защитные устройства, защита "временем", защита "расстоянием".

1. История развития радиологии

В. К. Рентген в 1895 году открыл излучение, которое в последствие было названо его именем, а уже 23 января 1896 года Рентген выступил с докладом в научном обществе и перед изумлённой аудиторией произвёл рентгеновский снимок кисти.

В дальнейшем изучение свойств рентгеновских лучей продолжалось по обе стороны океана, и в начале 1896 года в Чикаго американский физик Эмиль Груббе, создал устройство, позволяющее фокусировать катодные лучи на аноде. При этом он, подставив собственную кисть под пучок выходящих лучей, заметил появление гиперемии и высыпаний, с выпадением волос в месте экспозиции. После чего, он решил использовать данное открытие в лечении миссис Ли, страдавшей раком молочной железы. Миссис Ли стала первым пациентом получившим сеансы рентгенотерапии по поводу опухоли, ежедневно, по часу в день. Груббе использовал для этого трубку Крукса, непосредственно контактирующую с молочной железой, а остальные части тела пациентки учёный защищал, укрывая их свинцовыми листами от китайских чайных коробок. Первый сеанс лечения состоялся 29 января 1896 года, о котором Эмиль Груббе напечатал в своей статье, опубликованной в журнале *Radiology* в 1933 году. Так зародилась лучевая терапия, от первых попыток лечения разных заболеваний до одного из основных методов лечения больных, злокачественными новообразованиями.



Рис.1 Первые сеансы лучевой терапии при раке молочной железы.

Позднее, в 1898 г. Мария Склодовская-Кюри установила, что излучения испускают, не только соли урана, но и элемент торий и его соединения. Продолжая свои исследования, супруги Пьер и Мария Кюри выделили из урановой руды два новых радиоактивных элемента, названные полонием и радием. В 1934г. Ирен и Фредерик Жолио-Кюри обнаружили, что после бомбардировки альфа-лучами атомных ядер некоторых нерадиоактивных изотопов химических элементов они начинают испускать «проникающие» излучения, т.е. становятся радиоактивными. Затем обнаружили, что такой же эффект получается при бомбардировке атомов нейтронами и другими тяжелыми элементарными частицами. Первый генератор нейтронов, так называемый ускоритель тяжелых заряженных частиц— циклотрон, был сконструирован в 1930-1936гг. Лоуренсом. В эти же годы Энрико Ферми со своими сотрудниками показал возможность вызывать искусственную радиоактивность почти всех химических элементов путем воздействия нейтронами. В 1939г. Хан и Штрассман в Германии обнаружили деление урана после бомбардировки его нейтронами, а в 1942 г. под руководством Ферми в Чикаго был построен первый атомный реактор. Этот крупный успех в области ядерной физики необычайно расширил возможности получения радиоактивных изотопов.



Рис.2 Вильгелм Конрад Рентген



Рис.3 Первый рентгеновский снимок

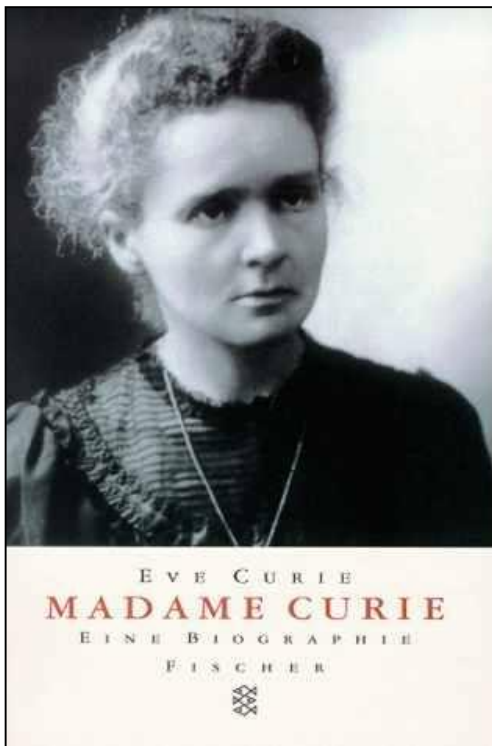


Рис.4 Мария Складовская Кюри



Рис.5 Первые научные описания.

Контрольные вопросы:

- 1. Что такое лучевая терапия?*
- 2. Назовите ученых, стоявших у истоков радиационной онкологии?*
- 3. Роль В.К. Рентгена в радиологии*
- 4. Классификация видов ионизирующих излучений.*
- 5. Этапы развития лучевой терапии.*
- 6. Что такое фракционирование дозы лучевой терапии?*
- 7. Какие виды излучения испускает уран?*
- 8. Как происходит процесс излучения?*
- 9. Какие химические элементы таблицы Менделеева обладают радиоактивностью?*

2. Физические основы медицинской радиологии

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 $\frac{1}{1840}$ часть массы нуклона или составляет $9,107 \times 10^{-28}$ 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

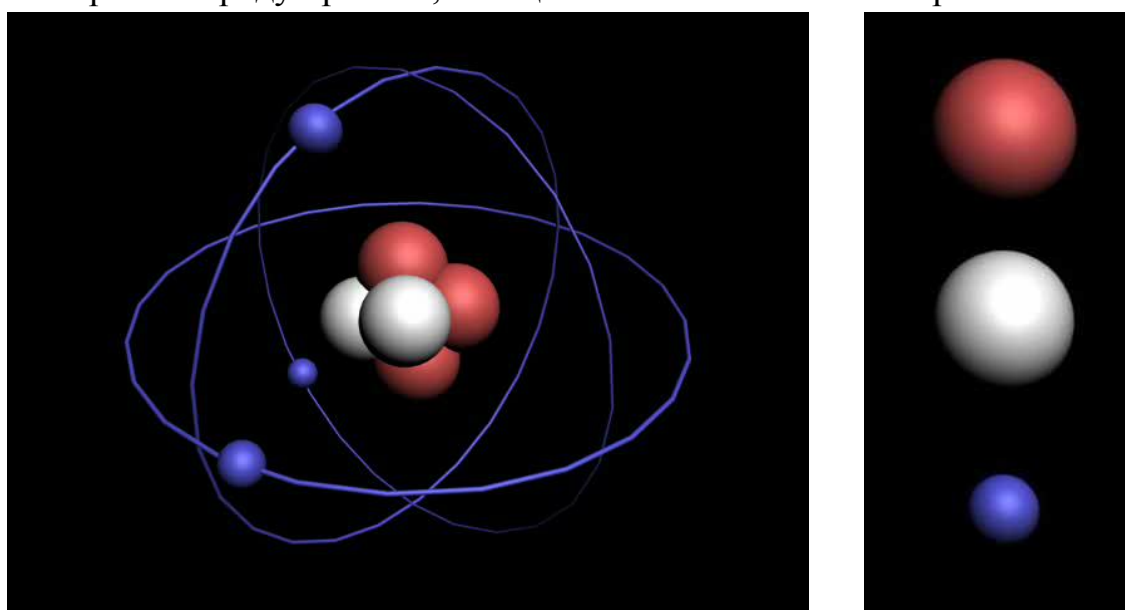


Рис.6 Строение атома

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 ускорителях, 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

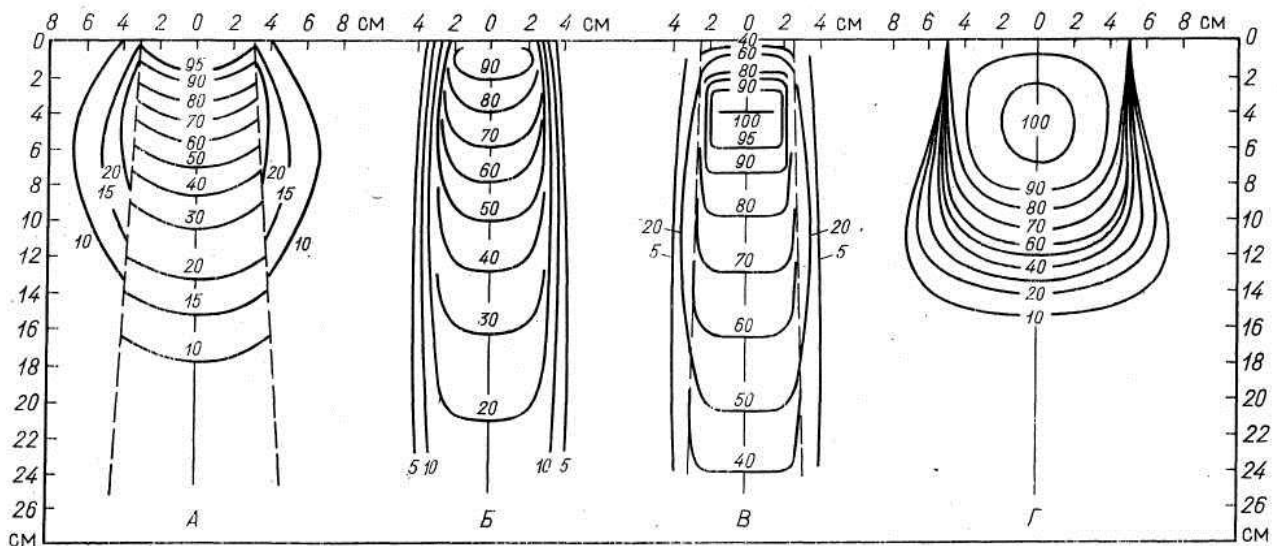


Рис. 7 Изодозное распределение различных источников излучения

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.

Контрольные вопросы:

1. Какие группы ионизирующих излучений вы знаете?
2. Каковы особенности проникновения в ткани волновых и корпускулярных излучений?
3. Для облучения каких опухолей (по глубине расположения) более предпочтительно рентгеновское излучение? Потoki электронов? Протонный пучок? Высокоэнергетическое тормозное рентгеновское излучение?
4. В чем суть физического действия излучений?
5. Каким образом в природе образуются изотопы?
6. Какими свойствами обладают изотопы?

3. Радиоактивные процессы

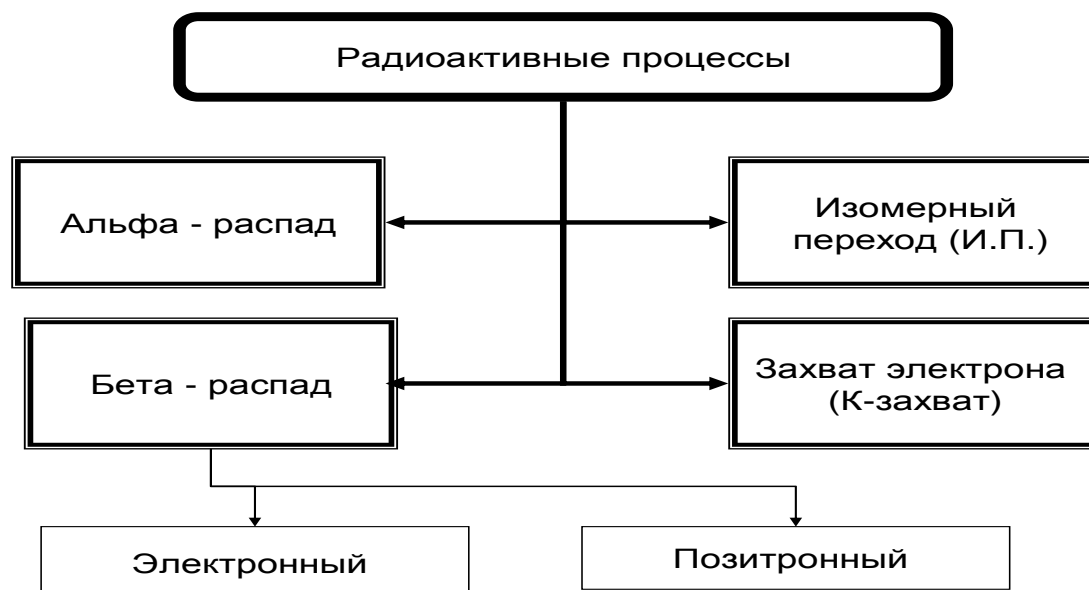


Рис.8 Виды радиоактивных процессов.

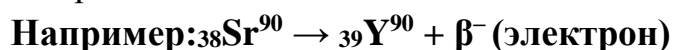
Радиоактивность — самопроизвольное превращение ядер атомов с последующим изменением их физических и химических свойств. Радиоактивные процессы могут быть разделены на 5 типов в зависимости от вида превращения.

1. **Альфа-распад (α).** Характерен для естественно-радиоактивных элементов с большим порядковым номером (Z) (радий, уран, торий и т.д.); α - лучи— это поток быстро летящих ядер гелия. Поскольку α -частица обладает двумя единицами положительного заряда и атомным весом, равным 4, то после вылета ее из ядра атомный номер вновь образованного ядра оказывается меньше исходного на 2 единицы, а массовое число — на 4 единицы.



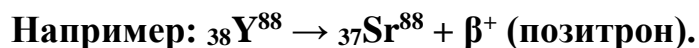
Как правило, все α -частицы, вылетающие из ядер данного радиоактивного элемента, обладают вполне определенной энергией, характерной для данного элемента. Поэтому средняя энергия α -частиц совпадает с максимальной.

2. **Электронный бета-распад (β^-).** Характерен как для естественно-, так и для искусственно-радиоактивных элементов; (β^- -частицы — это поток быстро летящих электронов. После вылета из ядра (β^- -частицы атомный номер вновь образованного атома увеличивается на единицу, а атомный вес практически не изменяется, поскольку масса «покоящегося» электрона почти в 2000 раз меньше массы атома водорода.



Вылет каждой β^- -частицы сопровождается вылетом частицы, не обладающей зарядом, называемой нейтрино (ν), масса которой ничтожно мала. Каждое ядро данного радиоактивного элемента испускает β^- -частицу и нейтрино ν всевозможных энергий, однако суммарная энергия β^- -частицы и нейтрино всегда равна некоторой определенной максимальной энергии, характерной для данного радиоактивного элемента. В силу этого спектр β^- -частиц является непрерывным.

3. Позитронный бета-распад (β^+). Наблюдается у некоторых искусственно-радиоактивных изотопов. Позитрон отличается от электрона лишь положительным знаком заряда. После вылета позитрона атомный номер вновь образованного ядра уменьшается на единицу, а атомный вес практически не изменяется.



Позитрон недолговечен. После замедления в веществе он соединяется с каким-либо электроном, в результате чего происходит образование двух фотонов (гамма-квантов) с энергией 0,511 Мэв каждый. Этот процесс называется аннигиляцией, а излучение аннигиляционным. В отличие от γ -излучения оно рождается вне ядра. Вылет каждого позитрона также сопровождается вылетом нейтрино; в силу этого позитронный β^+ -спектр также является непрерывным.

4. Захват электрона (К-захват). В некоторых случаях (когда энергия ядра невелика) ядро атома захватывает периферический электрон этого атома. Обычно такое "похищение" ядром электрона происходит с самой внутренней, так называемой К-оболочки атома, в силу чего этот процесс радиоактивности называется К-захватом. При этом атомный номер нового радиоактивного атома, как и при позитронном распаде, уменьшается на единицу, а атомный вес остается практически без изменений. Освободившийся электронный уровень (на К- или L-оболочке атома) немедленно занимает электрон из другой, более внешней оболочки.

Этот переход сопровождается испусканием так называемого характеристического рентгеновского излучения.

5. Изомерный переход (И.П.) представляет собой переход ядра из метастабильного состояния в основное. Под метастабильным состоянием понимается возбужденное состояние ядра, период «высвечивания» которого по крайней мере в 1000 раз больше периода «высвечивания» при простом возбуждении ядра. Причиной столь длительного пребывания ядра в метастабильном состоянии является значительное по величине различие в

моментах количества движения основного и возбужденного состояний.

Таким образом, состояние возбужденного атома будет метастабильным, если вероятность перехода его на основной уровень очень мала. Периоды полураспада изомерных переходов колеблются от 10^{-9} — 10^{-8} сек до нескольких месяцев.

Переход ядер в метастабильные состояния осуществляется после ядерных превращений, происходящих в результате захвата медленных нейтронов, фотонейтронного процесса, бомбардировки ядер заряженными частицами и т.д. Переход ядра из метастабильного состояния в основное всегда сопровождается γ - излучением. В отдельных случаях, кроме γ -излучения, имеет место испускание положительных и отрицательных бета-частиц (β^- или β^+), а также электронов конверсии (e^-).

Контрольные вопросы:

- 1. Дайте характеристику альфа-распаду?*
- 2. Какой вид ионизирующих излучений из перечисленных ниже наиболее опасен при внешнем облучении человека?*
- 3. Дайте характеристику взаимодействия альфа-частиц с веществом?*
- 4. Что такое естественная радиоактивность?*
- 5. Перечислите типы радиоактивного распада?*

4. Закон радиоактивного распада

Вероятность распада в каждый данный момент пропорциональна числу нераспавшихся атомов.

Экспериментально найдено, что количество радиоактивного вещества уменьшается в соответствии с экспоненциальной кривой. Экспоненциальный закон радиоактивного превращения единичного изотопа выражается уравнением

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

где N – число атомов, распавшихся за данный промежуток времени t ; N_0 – число атомов, еще не распавшихся к этому моменту; e – основание натурального логарифма (2,718); λ - коэффициент пропорциональности, который называется постоянной распада (показывает, какая часть имеющихся радиоактивных ядер распадается каждую секунду).

Вероятность распада ядра в единицу времени (λ) у разных изотопов различна, но для одного и того же изотопа она постоянна. Чем больше постоянная распада, тем быстрее распадается изотоп и тем меньше его период полураспада (T). Период полураспада (T) – отрезок времени, за который начальное число ядер радиоактивного изотопа вследствие спонтанного распада уменьшится в 2 раза.

Активность радиоактивного препарата – это число распадов ядер, происходящих в нем в единицу времени.

Единицей активности является 1 распад в секунду - в системе СИ – беккерель (Бк) с размерностью s^{-1} . Эта величина очень мала, поэтому на практике чаще пользуются единицей Кюри (Ci). 1 Кюри – активность такого количества радиоактивного вещества, в котором за 1 секунду распадается $3,7 \times 10^{10}$ ядер (это активность 1г радия).

$$1 \text{ милликюри} - 1 \text{ мк} = 3,7 \times 10^7 \text{ расп/сек}$$

$$1 \text{ микрокюри} - 1 \text{ мкк} = 3,7 \times 10^4 \text{ расп/сек}$$

Под удельной активностью понимают число распадов, происходящих в единицу времени в единице массы вещества (расп/сек/г).

Миллиграмм-эквивалент радия — это активность любого радиоактивного препарата, γ - излучение которого при идентичных условиях измерения создает в воздушно эквивалентной ионизационной камере такую же ионизацию, какую создает 1 мг радия государственного эталона радия СССР.

Точечный источник в 1 мг радия, находящийся в равновесии с продуктами распада, после начальной фильтрации 0,5 мм, платины создает на расстоянии 1 см в воздухе мощность дозы 8,4 рентгена в 1 час (р/час).

Таким образом, 1 мГ-экврдия соответствует γ - активность любого радиоактивного вещества, точечный источник которого создает на расстоянии 1 см мощность физической дозы 8,4 р/час.

Контрольные вопросы:

- 1. Дайте характеристику радиоактивного распада?*
- 2. Каким образом происходит взаимодействие ионизирующих излучений со средой?*
- 3. Что такое активность радиоактивного препарата?*
- 4. Единица измерения радиоактивности?*

5. Ионизирующие излучения

Все излучения, которые при взаимодействии со средой способны вызывать ионизацию атомов (т.е. их распад на противоположно заряженные частицы - ионы), в том числе атомы, входящие в состав тела человека, называют **ионизирующими**.

Ионизирующие излучения бывают двух видов:

1) *Квантовые (электромагнитные)* - состоят из фотонов:

- а) Рентгеновское излучение (тормозное и характеристическое) и
- б) Гамма-излучение.

2) *Корпускулярные* - состоят из частиц (пучки частиц: электронов, протонов, нейтронов, мезонов и др.).

Радиочувствительностью клеток, тканей и органов принято называть их реакцию на ионизирующее излучение. Наиболее чувствительны к облучению кроветворная ткань, железистый аппарат кишечника, эпителий половых желёз, эпителий кожи и сумки хрусталика глаза. Однако функциональные нарушения могут наблюдаться и в других тканях и органах при относительно небольших дозах, например, в нервной ткани. Радиочувствительность тканей и клеток не является постоянной величиной, она может изменяться в зависимости от состояния организма, и под влиянием ряда факторов, которые изучаются клинической радиобиологией.

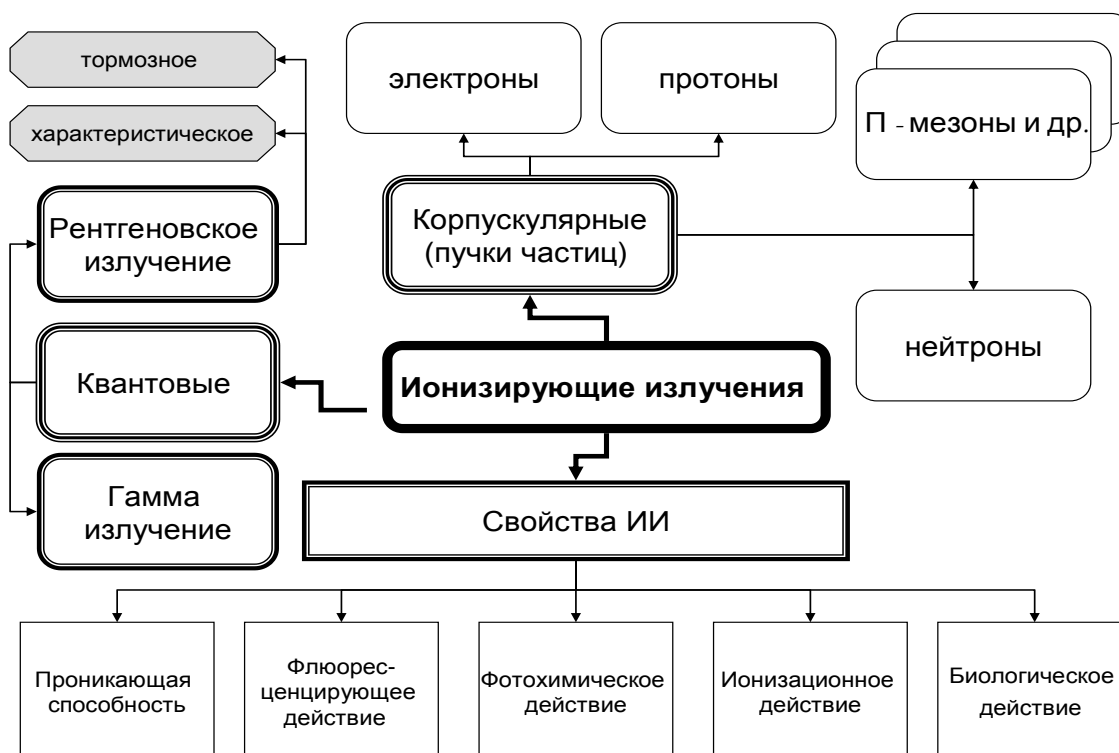


Рис. 9 Виды ионизирующего излучения

Свойства ионизирующих излучений:

- Проникают через тела и предметы, не пропускающие лучей видимого света. **Проникающая способность** характеризуется величиной пути распространения излучения в окружающей среде и зависит от его энергии, выражаемой в электрон-вольтах (эв), килоэлектрон-вольтах (кэв) и мегаэлектрон-вольтах (Мэв). Электрон-вольт - энергия, которую получает электрон, прошедший путь в электрическом поле с разностью потенциалов в 1 вольт, что равняется $1,6 \times 10^{-19}$ джоуля; 1 кэв=1000 эв, 1 Мэв=1000000 эв. Энергия покоя одного электрона составляет 0,511 Мэв. Проникающая способность наиболее выражена у гамма-квантов, менее — у бета-частиц и незначительна - у альфа-лучей.

- **Вызывают флуоресценцию** (свечение) ряда химических соединений (на этом основана Rg-скопия).

- Разлагают галоидные соединения серебра, т.е. оказывают **фотохимическое действие** (на этом основана Rg-графия и др. способы регистрации излучений).

- Вызывают возбуждение атомов, а также распад нейтральных атомов вещества на положительно и отрицательно заряженные частицы (**ионизационное действие**). Наиболее выраженной ионизирующей способностью обладают альфа-частицы, затем бета-лучи и наименьшей - гамма-кванты.

- Производят изменения в живых организмах, т.е. оказывают **биологическое действие** (на этом основаны методы лучевой терапии).

Контрольные вопросы:

1. *Что такое ионизирующее излучение?*
2. *Какой вид ионизирующих излучений обладает наиболее выраженной ионизирующей способностью?*
3. *Перечислите виды ионизирующего излучения?*
4. *Каким образом происходит взаимодействие ионизирующих излучений со средой?*

6. Источники ионизирующих излучений

Существует несколько классификаций источников ионизирующих излучений. По одной из них все источники ионизирующих излучений делят на две группы:

- **Естественные:**

- 1) космическое излучение (протоны, нейтроны, атомные ядра и др. частицы).
- 2) Радиоактивные элементы (содержатся в земных породах, воздухе, воде, тканях биологических объектов: радий и торий – в костях человека, радиоактивные изотопы калия и углерода – в тканях человека, животных и растений).

- **Искусственные:** технические устройства, созданные человеком.



Рис. 10 Классификация источников ИИИ.

Другая классификация касается источников ионизирующих излучений в медицинской практике. Согласно этой классификации так же происходит подразделение на две группы:

- **Радиоактивные вещества:**

- гамма-установки (для дальнедистанционного и близкодистанционного облучения);
- радиоактивные препараты (закрытые, открытые).

- **Ускорители заряженных частиц:**

- Линейный ускоритель электронов;
- Циклический ускоритель электронов (бетатрон);
- Рентгенотерапевтические установки (для дальнедистанционного и близкодистанционного облучения).

Радиоактивными веществами называют вещества, способные спонтанно и непрерывно испускать корпускулярное или электромагнитное излучение. В медицинской практике радиоактивные вещества применяются в качестве источников излучения в гамма-установках или в виде радиоактивных препаратов.

Гамма-установки бывают двух типов: 1 типа – для дальнедистанционного облучения – длиннофокусные – телегамма-установки и 2 типа – для близкодистанционного облучения – близкофокусные – короткофокусные гамма-установки.



Рис.11 Классификация методов лучевой терапии.

Гамма-установки **1 типа** заряжаются большим количеством радиоактивного вещества и предназначены для воздействия γ – излучением на очаги, расположенные в глубине тела человека. Чаще всего излучатель – радиоактивный кобальт. Он испускает β – излучение (с энергией частиц 0,318 Мэв, которое полностью поглощается специальным фильтром) и гамма-кванты с энергиями 1,17 и 1,33 Мэв. Существуют гамма-установки, заряженные радиоактивным иридием, дающим γ – излучение с энергией 0,88 Мэв, радиоактивным цезием с энергией фотонов 0,66 Мэв и др. **Недостатки:** необходимость относительно частой перезарядки, т.к. период полураспада Co^{60} равен 5,3 года, в течение этого времени мощность излучения аппарата падает вдвое; сравнительно большая величина излучателя; при работе на них получается широкий пучок излучения и наряду с патологическим очагом облучаются соседние ткани. **Достоинства:** просто устроены; сравнительно дешевы; обеспечивают постоянство мощности дозы излучения, т.к. оно не зависит от колебания напряжения в электрической сети; дают достаточно однородный пучок излучения и относительно более высокую глубинную дозу, чем рентгенотерапевтические аппараты.



Рис.12 Гамма-терапевтический аппарат 80-90-х годов.

Гамма-установки **2 типа** заряжаются небольшим количеством

радиоактивного кобальта (Co^{60}) или радиоактивного цезия (Cs^{137}). Аппараты подобных типов предназначены для лечебного воздействия на очаги, расположенные не глубже 5 см от поверхности тела. Установка устроена аналогично установке для длиннодистанционного облучения.

Радиоактивные препараты. Часть радиоактивных препаратов представляют собой радиоактивное вещество, заключенное в различные оболочки, фильтры, предотвращающие непосредственное соприкосновение изотопа с тканями человека и не вступающие в обменные процессы организма (**закрытые** источники излучения). В соответствии с различным целевым назначением изготавливают препараты разных типов – трубочки, иглы, диски, бусы (в них радиоактивный изотоп располагается внутри герметизированного металлического канала или емкости с двумя стенками – герметичной стеклянной внутри и металлической снаружи), нейлоновые нити с радиоактивным зарядом, радиоактивную марлю и бинты, катетеры с надувными баллонами, в которые вливается раствор радиоактивного вещества, ускорители заряженных частиц, γ - терапевтические аппараты.

Другая часть радиоактивных препаратов представляет собой растворы радиоактивных веществ или различные химические соединения, в состав которых включены радиоактивные атомы. Эти соединения или растворы после введения в организм больного с целью диагностических исследований или для облучения патологических очагов вступают в обменные процессы (обмен веществ) организма (**открытые** источники излучения).

Радиоактивный изотоп может быть помещен в полые кетгутовые нити, которые вшивают в культю органа, резецированного по поводу злокачественной опухоли, и по мере их рассасывания радиоактивное вещество попадает в ткани (**условно закрытый** источник излучения).

Ускорители заряженных частиц (рентгеновские установки, линейные ускорители и циклические ускорители - бетатроны). Стартовой точкой ускорителя является источник заряженных частиц. Источником электронов может служить любой нагретый кусок металла, из которого постоянно выскакивают электроны и тут же возвращаются обратно. Если рядом поместить проволочную сетку и приложить к ней напряжение, эти электроны потянутся к ней и, пролетев насквозь, устремятся к экрану-аноду, образовав пучок частиц невысокой энергии. Именно так работал «домашний ускоритель на 10 кэВ» — электронно-лучевая трубка в старых телевизорах. 10 кэВ - это очень небольшая энергия, для изучения ядерных явлений ее недостаточно. Поэтому эру ускорительной техники физики отсчитывают от начала 1930-х годов, когда появились сразу две схемы ускорения частиц до

энергий около 1МэВ.



Рис.13 Современный линейный ускоритель.

В 1932 году Джон Дуглас Кокрофт и Эрнст Уолтон в Кембридже сконструировали каскадный 800-киловольтный генератор постоянного напряжения, который открыл новую эру в экспериментальной ядерной физике. Уже в первом своем эксперименте они направили пучок ускоренных протонов на мишень из лития-7 и наблюдали самую настоящую ядерную реакцию: ядро лития захватывало протон и затем разваливалось на две альфа-частицы.

Создать разность потенциалов в десятки мегавольт очень непросто, но быстро выяснилось, что это и не обязательно. Вместо этого можно свернуть ускоритель в кольцо, поместив его в магнитное поле. В отличие от электрического, магнитное поле не ускоряет частицы, а лишь искривляет их траекторию. В частности, в однородном магнитном поле траектория заряженной частицы замыкается в окружность. Если теперь частицу время от времени подталкивать вперед электрическим полем, она будет набирать энергию, постепенно увеличивая радиус траектории.

При этом автоматически решаются две задачи: частицы можно удерживать на орбите столько времени, сколько нужно, а ускоряющее электрическое поле не обязательно должно быть большим (тысяча проходов через разность потенциалов в один киловольт эквивалентна мегавольтовому линейному генератору).

Ускоритель частиц на основе этого принципа — циклотрон — был задуман Эрнестом Лоуренсом в 1928 году, хотя идеи о «протонной карусели» в магнитном поле ранее высказывались норвежцем Рольфом Видероз (Rolf Wideroe).



Рис.14 Эрнест Лоуренс.

Циклотрон состоит из двух полых половинок диска, дуантов, внутри которых вращаются частицы. На края зазора подается переменное напряжение, частота которого точно совпадает с частотой обращения частиц. Когда частицы пролетают сквозь зазор в одну сторону, электрическое поле подталкивает вперед, а через полпериода, когда они вновь пересекают зазор в обратном направлении, поле уже успевает сменить знак и снова их подталкивает, а не тормозит. Так повторяется круг за кругом, пока не будет достигнута максимальная энергия.

Первый построенный Лоуренсом циклотрон имел чуть больше 10 см в диаметре и разгонял частицы до 80 кэВ. Быстрый прогресс привел к появлению циклотрона на 8 МэВ в 1936 году и к 200-мэвному многометровому гиганту в 1946 году, но дальнейший рост размеров оказался сопряжен со слишком большими техническими сложностями (необходимо обеспечить однородное магнитное поле, глубокий вакуум и механическую прочность, не мешая при этом пучку раскручиваться по спирали). Чтобы избавиться от этих проблем вместо огромного диска частицы стали

запускать в длинную свернутую в кольцо трубу, а для удержания их на постоянной орбите синхронно с ростом энергии увеличивали магнитное поле. Ускоритель такого типа получил название **синхротрон**. В основе многих современных ускорителей лежит принцип синхротрона.

Следующим этапом в истории ускорительной техники стало создание **коллайдеров** — ускорителей со встречными пучками (рис. 194). Изначально эту идею высказал и даже запатентовал в 1943 году Рольф Видероз, однако реализована она была лишь в начале 1960-х годов тремя независимыми командами исследователей: итальянской группой под руководством Бруно Тушека, американцами из Принстона и Стэнфорда и новосибирской группой, возглавляемой Г.И. Будкером.

Большой Адронный Коллайдер.



- Построен между Францией и Швейцарией на площади в 27 км.

Рис.15 Большой Адронный Коллайдер.

До того момента все эксперименты проводились с неподвижной мишенью. Когда высокоэнергетическая частица налетает на неподвижную мишень, рожденные продукты столкновения летят вперед с большой скоростью, и именно на их кинетическую энергию тратится основная доля энергии пучков. Если же сталкиваются летящие навстречу друг другу

одинаковые частицы, то большая часть их энергии расходуется по прямому назначению: на рождение частиц. Поэтому в коллайдерах могут возникать намного более тяжелые частицы, чем в экспериментах с неподвижной мишенью при той же энергии пучка.

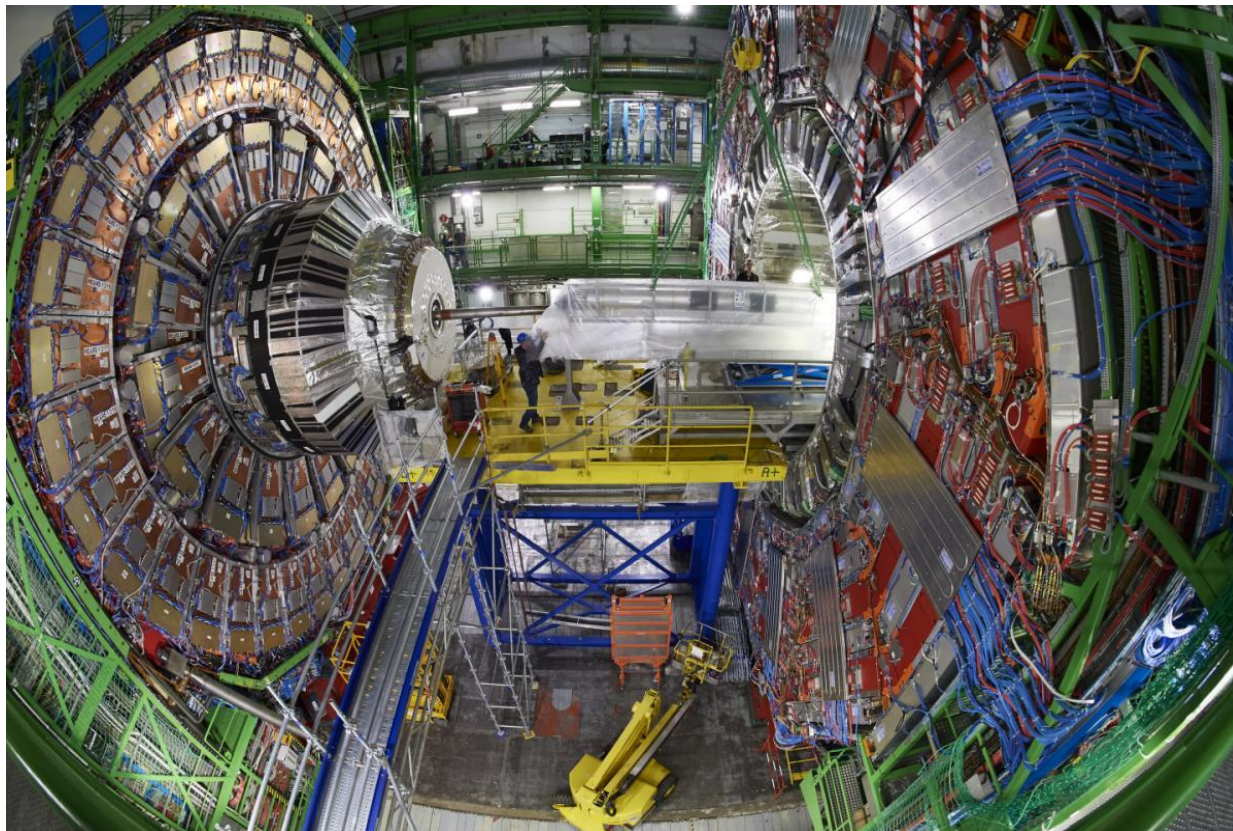


Рис.16 Коллайдер.

Эффект автофазировки был открыт независимо друг от друга советским ученым Владимиром Векслером при содействии Евгения Фейнберга и, немногим позже, американцем Эдвином Макмилланом. Они доказали, что кольцевые резонансные ускорители могут выйти за циклотронный предел и разогнать частицы практически до любых энергий — с помощью особого режима колебаний электрического потенциала, который автоматически корректирует не особенно большие отклонения частиц от расчетной фазы (ее называют равновесной) и тем самым сохраняет резонансное ускорение. Если бы не этот режим, возможности кольцевых ускорителей были бы ограничены максимумом циклотронных энергий (стоит заметить, что механизм автофазировки работает и в линейных резонансных ускорителях).

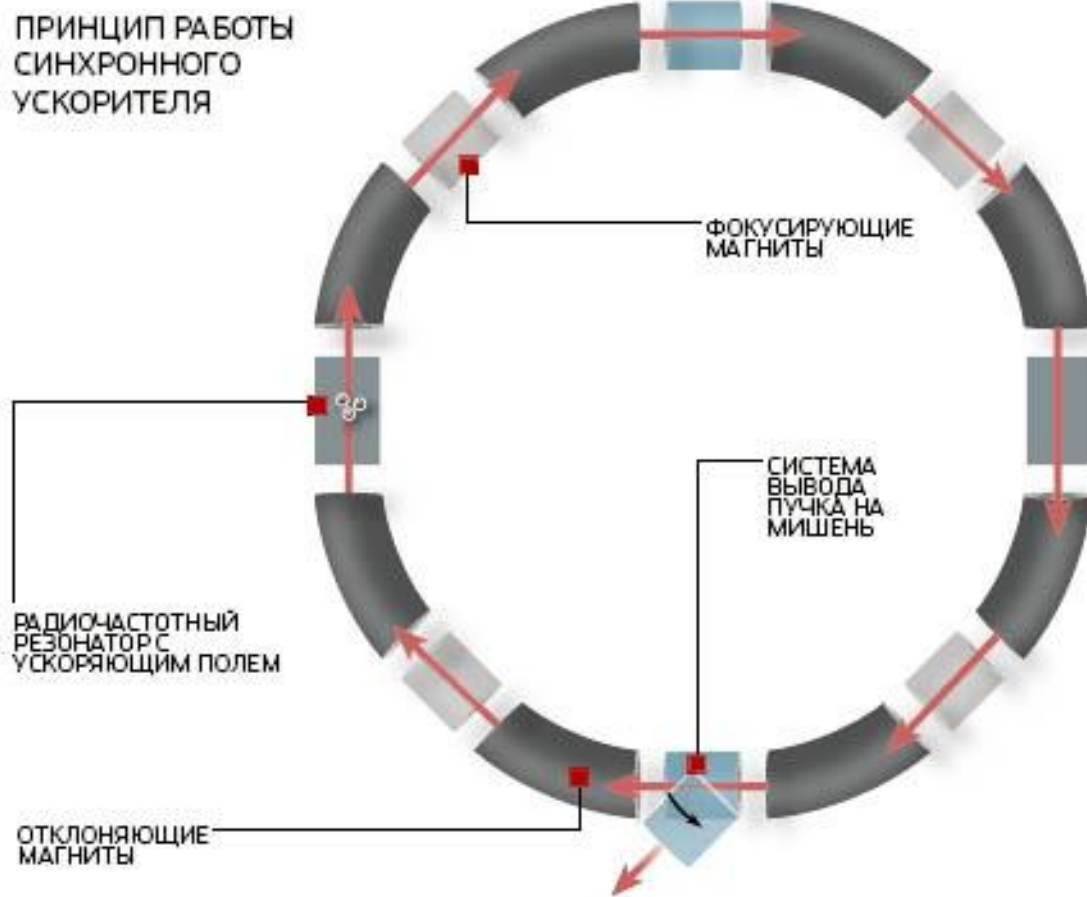


Рис.17 Принцип работы синхронного ускорителя.

После открытия автофазировки были созданы и воплощены в металле различные конструкции ускорителей. Машину с постоянным магнитным полем и электрическим полем переменной частоты в англоязычной литературе принято называть синхроциклотроном, а в советской — фазотроном.

В синхроциклотроне, как и в циклотроне, частицы движутся по раскручивающейся спирали. Ускорители, в которых рост энергии частиц сопровождается увеличением напряженности магнитного поля, называются синхротронами. Синхротроны строят в виде кольцевых туннелей, окруженных электромагнитами, так что частицы там движутся по орбитам постоянного радиуса. У электронного синхротрона частота электрического поля неизменна (поскольку электроны там движутся почти со световой скоростью), а вот у протонного синхротрона этот показатель варьирует. Эти ускорители в СССР, с подачи Векслера, назвали синхрофазотронами.

Контрольные вопросы:

- 1. Основные источники ионизирующих излучений?*
- 2. Разновидности источников ионизирующих излучений применяющихся в медицинской практике и их особенности?*
- 3. Какие источники ионизирующих излучений используются в медицинской практике?*
- 4. Чем принципиально отличается открытый источник от закрытого?*
- 5. Какие источники ионизирующих излучений воздействуют на человека?*
- 6. Какие источники ионизирующих излучений являются естественными?*
- 7. К каким источникам ионизирующих излучений относятся рентгеновская техника и бытовые излучатели?*

7. Принципы защиты

Радиационная защита — комплекс мероприятий, направленный на защиту живых организмов от [ионизирующего излучения](#), а также, изыскание [способов ослабления](#) поражающего действия ионизирующих излучений; одно из направлений [радиобиологии](#). Техника безопасности и охрана здоровья обеспечиваются путем защиты и соблюдения правил работы с ионизирующими излучениями. Все работники радиологических отделений и кабинетов, лица, находящиеся в смежных и соседних помещениях, а также больные, подвергающиеся исследованию или лечению, должны быть защищены от вредного действия излучений.

Защитой называют совокупность устройств и мероприятий, предназначенных для снижения физической дозы излучения, воздействующей на человека, ниже предельно допустимой дозы.

Основными **способами защиты** от ионизирующих излучений являются:

- защита расстоянием;
- защита экранированием:
 - от альфа-излучения — лист бумаги, резиновые перчатки, респиратор;
 - от бета-излучения — [плексиглас](#), тонкий слой [алюминия](#), [стекло](#), [противогаз](#);
 - от гамма-излучения — тяжёлые металлы ([вольфрам](#), [свинец](#), [сталь](#)); гамма-излучение поглощается тем эффективнее, чем больше [атомный номер](#) вещества, поэтому, например, [свинец](#) эффективнее [железа](#).
 - от нейтронов — [вода](#), [полиэтилен](#), другие [полимеры](#), [бетон](#); по закону сохранения энергии, нейтроны эффективно рассеивают энергию на лёгких ядрах, поэтому слой воды или полиэтилена для защиты от нейтронов будет гораздо эффективнее, чем той же толщины бронева сталь;

- защита временем;
- [химическая защита](#).

Защита расстоянием – рациональное расположение рабочих мест персонала с максимально возможным удалением их от источника излучения. Интенсивность облучения убывает обратно пропорционально квадрату расстояния от источника до облучаемой поверхности. Поэтому мощные источники излучения – гамма-установки, линейные ускорители, бетатроны – принято устанавливать в больших помещениях и в отдалении от стен.

Защита временем заключается в максимальном сокращении времени

пребывания персонала и больных в сфере вредного действия ионизирующих излучений.

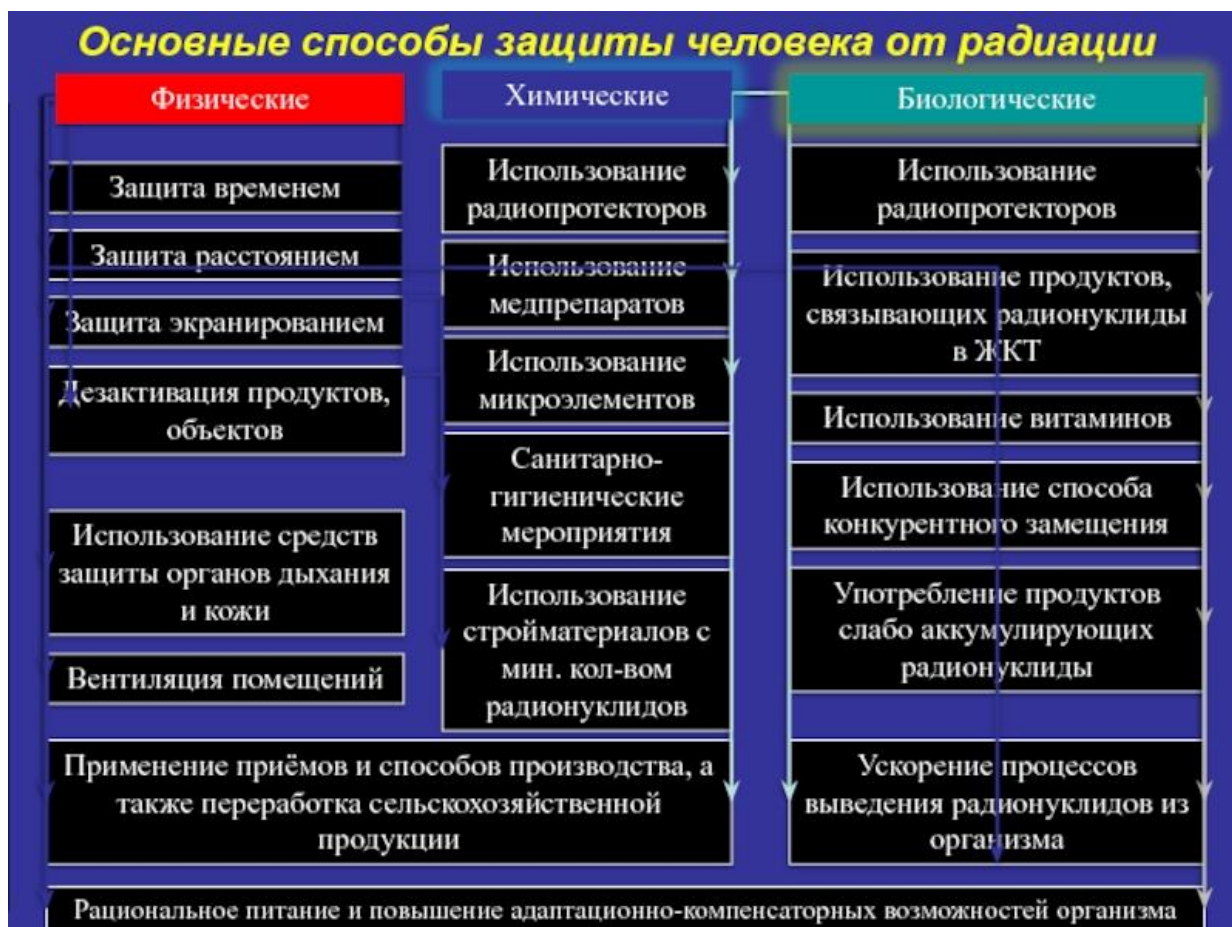


Рис. 18 Основные способы радиационной защиты.

Это достигается:

- хорошей организацией работы в радиологическом отделении.
- высокой квалификацией врачей и среднего медицинского персонала, что позволяет сократить продолжительность исследования больного, а нередко и время облучения благодаря рациональному выбору полей облучения и доз, а также возможно быстрее производить все манипуляции с радиоактивными препаратами.
- использование высококачественной аппаратуры и приборов.
- сокращением рабочего дня (4-6-часовой рабочий день) и дополнительный отпуск.

Контрольные вопросы:

- 1. Основные принципы защиты?*
- 2. На чем основана защита персонала временем?*
- 3. На чем основана защита расстоянием?*

8. Средства защиты

Средства защиты делятся на коллективные и индивидуальные.

Коллективные средства защиты подразделяются на средства защиты:

- средства защиты от внешнего облучения включают защитные экраны и приспособления для дистанционной работы.

- средства защиты от внутреннего облучения, используемые при работе с открытыми источниками ионизирующих излучений, в зависимости от способа защиты подразделяют на следующие группы: герметизирующие устройства (камеры, защитные боксы, капсулы); защитные покрытия (лакокрасочные, полимерные, металлические, керамические, стеклянные); устройства очистки воздуха и жидкостей (вентиляционные, фильтрующие, конденсационные, фиксирующие) и средства дезактивации (дезактивирующие растворы и дезактивирующие сухие материалы).

- средства защиты от комбинированного облучения включают сочетание устройств для защиты как от внешнего, так и внутреннего облучения.

- средства защиты общего применения включают устройства автоматического контроля, блокировки и сигнализации; устройства дистанционного управления; средства защиты при транспортировании и временном хранении радиоактивных веществ (контейнеры и упаковочные комплекты); знаки безопасности (знак радиационной опасности, предупредительные надписи); емкости для твердых и жидких радиоактивных отходов.

Радиационная безопасность персонала обеспечивается:



- ограничением допуска к работе с источниками ионизирующих излучений



- знанием и соблюдением правил работы с источниками ионизирующих излучений



- организацией радиационного контроля



- выполнением принципов нормирования и оптимизации

Рис.19 Методы обеспечения радиационной безопасности.

Главными факторами (средствами) защиты являются стационарные и нестационарные устройства. **Стационарными** устройствами называют неподвижные сооружения – стены, перекрытия, защитные двери, смотровые окна, стенки для местной защиты. Они обеспечивают защиту от прямого и рассеянного излучения всех лиц, находящихся в смежных с источником излучения помещениях. Исходя из мощности используемых установок и радиоактивных веществ, рассчитывают толщину всех защитных устройств. Для изготовления стен применяют кирпич, бетон, баритобетон, баритовую штукатурку. Барит содержит барий, поэтому в значительной степени поглощает ионизирующее излучение. Двери в радиологические кабинеты обивают листовым свинцом или делают из металла. В смотровые окна вставляют толстые просвинцованные стекла.

Нестационарными (подвижными) защитными устройствами называют перемещаемые приспособления, предназначенные для защиты персонала и больных, находящихся в тех же помещениях, где расположены источники излучений (защитные ширмы, кожухи в которые помещаются радиоактивные препараты или рентгеновские трубки, сейфы, контейнеры, защитные экраны, приспособления индивидуальной защиты: специальные фартуки из просвинцованной резины, защитные юбочки, перчатки, шапочки, листы из просвинцованной резины или специальные свинцовые пластины, специальный дистанционный инструментарий – шприцы, пипетки).



Рис.20 Подвижные защитные устройства (кожух рентгеновской трубки; защитная передвижная ширма).

Контрольные вопросы:

1. *Основные группы средств защиты?*
2. *Какие средства защиты входят в группу стационарных средств защиты?*
3. *Какие средства защиты входят в группу нестационарных (подвижных) средств защиты?*

Вопросы тестового контроля:

1. Какое излучение относится к корпускулярным:

- 1) ультразвуковое излучение
- 2) β -излучение
- 3) γ -излучение
- 4) рентгеновское

2. Как зависит проникающая способность ионизирующего излучения от величины его энергии:

- 1) не зависит
- 2) чем выше энергия излучения, тем ниже проникающая способность
- 3) чем выше энергия излучения, тем выше проникающая способность
- 4) чем ниже энергия излучения, тем выше проникающая способность

3. Как зависит проникающая способность ионизирующего излучения от его заряда:

- 1) проникающая способность выше у положительно заряженного излучения
- 2) проникающая способность выше у отрицательно заряженного излучения
- 3) проникающая способность выше у нейтрального излучения
- 4) не зависит

4. Что значит «защита временем и расстоянием»:

- 1) чем меньше время облучения и чем дальше от источника, тем меньше доза
- 2) чем больше время облучения и чем дальше от источника, тем меньше доза
- 3) чем меньше время и чем ближе к источнику, тем меньше доза
- 4) чем больше время облучения и чем ближе к источнику, тем меньше доза

5. Рентгеновское излучение – это поток:

- 1) электронов
- 2) нейтронов

- 3) протонов
- 4) фотонов (квантов)

6. При удалении от рентгеновской трубки в 3 раза доза излучения снижается в:

- 1) 3 раза
- 2) 6 раз
- 3) 9 раз
- 4) 30 раз

7. Источником рентгеновских лучей в рентгеновской трубке является:

- 1) катод
- 2) анод
- 3) радиоактивное вещество
- 4) диод

8. В первоочередной защите от ионизирующего излучения нуждаются:

- 1) щитовидная железа
- 2) молочная железа
- 3) костный мозг, гонады
- 4) кожа

9. Энергия фотонного излучения в результате эффекта Комптона:

- а) остается прежней
- б) увеличивается
- в) уменьшается

10. Защита от излучения рентгеновского аппарата необходима:

- а) только во время рентгеноскопических исследований
- б) только во время генерирования рентгеновского излучения
- в) в течение рабочего дня

11. При проведении рентгенологических исследований врач-рентгенолог обязан обеспечить радиационную безопасность:

- а) персонала рентгеновского кабинета
- б) других сотрудников учреждения, пребывающих в сфере воздействия излучения рентгеновского аппарата
- в) обследуемых пациентов
- г) все варианты верны
- д) нет верного ответа

12. Каковы принципы защиты от излучения?

- а) защита временем
- б) защита экранированием
- в) защита лекарствами
- г) защита расстоянием

Тема 2. Основы клинической дозиметрии. Методы дозиметрии.

Значение темы:

Изучение методов и средств дозиметрии позволяет получить важный материал об основных этапах планирования лучевой терапии, о современных методах обеспечения безопасности при нахождении в зоне действия ионизирующего излучения.

Полученные знания будут необходимы при обучении на клинических кафедрах, а также будут востребованы при прохождении цикла по лучевой диагностике и лучевой терапии при кафедре онкологии с курсом лучевой диагностики и лучевой терапии.

Изучение студентами устройства и работы дозиметров, получение навыков расчета дозы ионизирующего излучения, требований техники безопасности при работе в радиологическом отделении позволяет адекватно оценить лучевую нагрузку в зоне действия ионизирующего излучения для обеспечения радиационной безопасности.

Цель занятия: ознакомить студентов с устройством и принципом работы различных дозиметрических приборов, дать основные навыки определения дозы излучения.

Учебные задачи:

1. Задачи дозиметрии.
2. Методы дозиметрии.

Вопросы программы для контроля знаний при самоподготовке:

1. Дозиметрия. Задачи дозиметрии.
2. Понятие о дозе ионизирующего излучения. Экспозиционная доза, мощность экспозиционной дозы.
3. Поглощенная доза, мощность поглощенной дозы. Интегральная поглощенная доза.
4. Поверхностная и глубинная доза, относительная глубинная доза.
5. Дозное поле, кривые изодоз.
6. Методы дозиметрии (физические, химические, биологические).
7. Приборы для измерения дозы и мощности дозы ионизирующего излучения.
8. Приборы для регистрации частиц или квантов радиоактивного излучения.
9. Ионизационный метод регистрации излучений.
10. Люминесцентный метод определения дозы.

11. Калориметрический и термолюминесцентный методы дозиметрии.
12. Химический и фотохимический методы дозиметрии.
13. Математические методы расчета дозы (гамма-постоянная, активность источника).
14. Газоразрядные счетчики ядерных излучений.
15. Сцинтилляционные счетчики, принцип их устройства.

Основные положения

Клиническая дозиметрия - раздел дозиметрии ионизирующего излучения, являющийся неотъемлемой частью лучевой терапии. **Основная задача клинической дозиметрии** состоит в выборе и обосновании средств облучения, обеспечивающих оптимальное пространственно-временное распределение поглощенной энергии излучения в теле облучаемого больного и количественное описание этого распределения.

1. Основные типы дозиметрических приборов

Дозиметрические приборы предназначены для:

1. контроля облучения - получения данных о поглощенных или экспозиционных дозах излучения людьми и сельскохозяйственными животными;
2. контроля радиоактивного заражения радиоактивными веществами людей, сельскохозяйственных животных, а также техники, транспорта, оборудования, средств индивидуальной защиты, одежды, продовольствия, воды, фуража и других объектов;
3. радиационной разведки - определения уровня радиации на местности.

Классификация дозиметрических приборов

Индикатора Для обнаружения и ориентировочной оценки мощности дозы γ - и β -излучений.	Рентгенметры Для измерения уровня радиации, мощности экспозитной дозы γ -излучений, а также обнаружения В-излучений на местности
Радиометры Для обнаружения и определения степени радиоактивного заражения поверхностей, оборудования и др. А-, β - частицами.	Дозиметры Для контроля индивидуальных доз облучения людей на радиоактивно зараженной местности

Рис.21 Классификация дозиметрических приборов.

Контрольные вопросы:

- 1. Что такое клиническая дозиметрия?*
- 2. Для чего используются индивидуальные дозиметры?*
- 3. Дайте характеристику основных дозиметрических приборов?*

2. Дозиметрия

Дозиметрия ионизирующих излучений – раздел прикладной ядерной физики, в котором рассматриваются свойства ионизирующих излучений, физические величины, характеризующие поле излучения и взаимодействие излучения с веществом (дозиметрические величины). Дозиметрия ионизирующих излучений предполагает: измерение активности источника излучения, измерение качества и количества испускаемых излучений.

Клиническая дозиметрия – раздел дозиметрии ионизирующего излучения, изучающий принципы и средства регистрации и измерения ионизирующих излучений.

Основная задача клинической дозиметрии – выбор и обоснование средств облучения, обеспечивающих оптимальное пространственно-временное распределение поглощенной энергии излучения в теле облучаемого больного и количественное описание этого распределения.

Задачи клинической дозиметрии:

- Определение количества и качества излучения, испускаемого источниками, применяемыми в медицинских целях (измерение излучения, испускаемого теми или иными источниками, производится не реже 1 раза в месяц, а также при всяком изменении режима питания аппарата или замене его частей, в том числе рентгеновской трубки).
- Испытание и контроль защитных устройств, предназначенных для обеспечения радиационной безопасности персонала радиологических отделений и лиц, работающих в смежных помещениях.
- Измерение доз излучения, получаемых больными и персоналом при рентгенодиагностических или радиоизотопных исследованиях (во избежание превышения допустимых в этих случаях доз радиации).
- Определение дозы излучения, получаемого больным при лучевой терапии.
- Измерение радиационных полей и поглощенных доз в фантомах.
- Проведение экспериментальных исследований новых терапевтических методик облучения.

Контрольные вопросы:

1. Перечислите задачи клинической дозиметрии?
2. Как часто проводится определение количества и качества излучения, испускаемого источниками, применяемыми в медицинских целях?
3. Каким образом определяют дозы облучения полученные персоналом отделения лучевой терапии?

3. Доза.

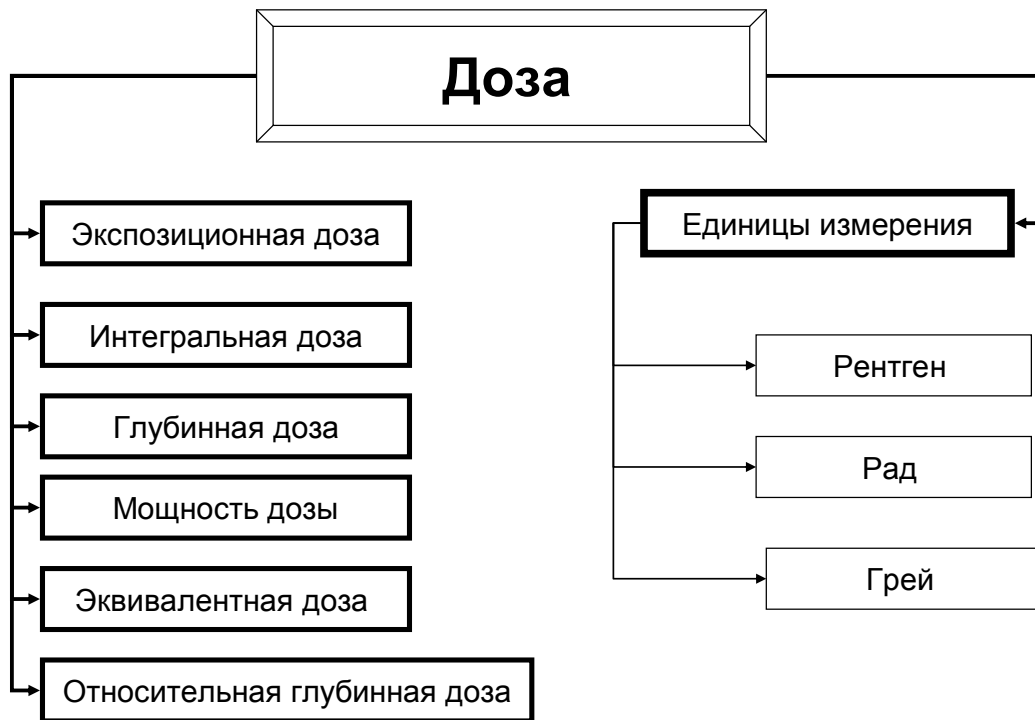


Рис.22 Виды и единицы измерения дозы.

Доза – величина энергии, поглощенной в единице массы облучаемого вещества. Величина энергии, отнесенная к единице времени – **мощность дозы** излучения (P). $P = D / t$ где P – мощность дозы; D – доза, создаваемая за время t .

Экспозиционная доза излучения – количество энергии, поглощенной из данного пучка в единице массы воздуха. Единицей экспозиционной дозы является рентген (P).

Рентген (P) – доза излучения, под действием которой в 1 см^3 воздуха при нормальных условиях температуры и давления образуются ионы, несущие заряд в одну электростатическую единицу электричества каждого знака.

$$\text{Миллирентген} - 1 \text{ мР} = 0,001 P = 10^{-3} P$$

$$\text{Микрорентген} - 1 \text{ мкР} = 0,000001 P = 10^{-6} P$$

Величина дозы излучения, измеренная в течение определенного времени, называется мощностью экспозиционной дозы и выражается в рентгенах в секунду, минуту, час.

ПОЛЯ, ДОЗЫ, РАДИОБИОЛОГИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ И ЕДИНИЦЫ ИХ ИЗМЕРЕНИЙ

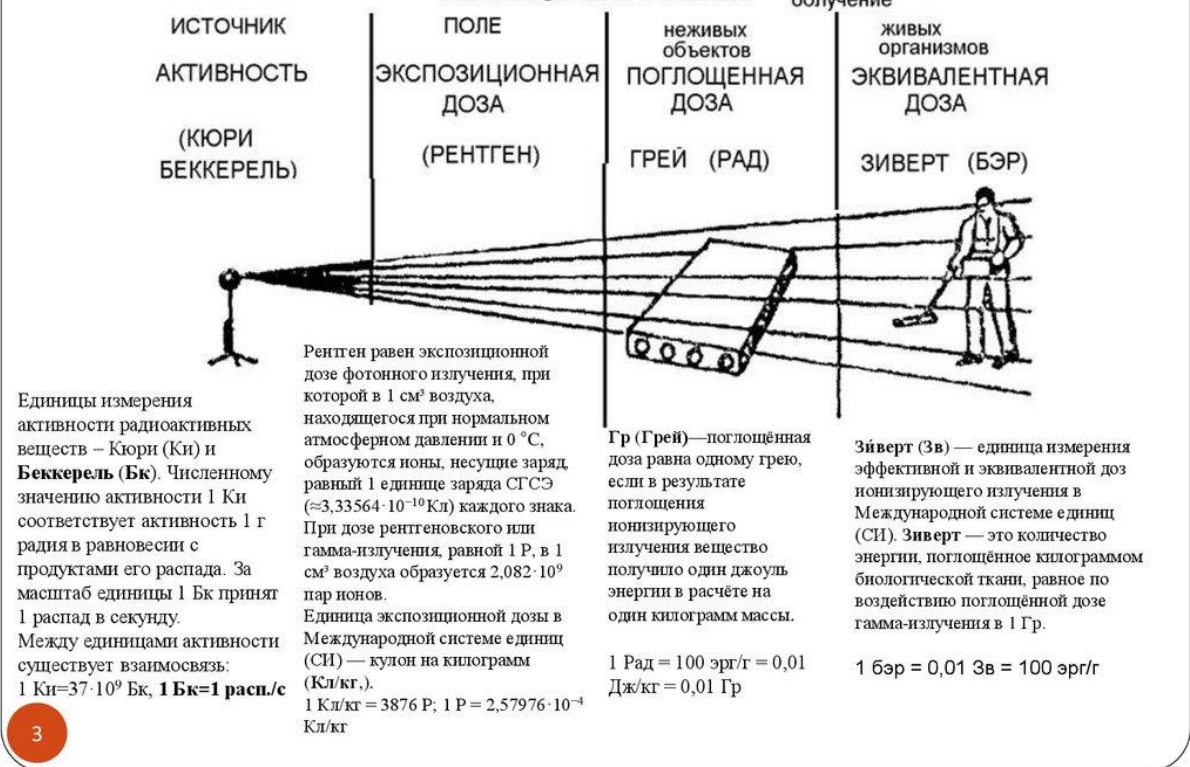


Рис.23 Основные показатели ЛТ и единицы их измерений.

Так как биологический эффект излучения обусловлен поглощенной энергией излучения, то основной величиной в клинической дозиметрии является поглощенная доза излучения. Она зависит от экспозиционной дозы и от характера ткани, расположенной на пути пучка излучения. Единицей измерения поглощенной дозы является Грей (Гр).

Грей (Гр) – поглощенная доза излучения, равная 1 Дж на 1 кг массы облучаемого вещества.

Рад – поглощенная доза излучения, равная 100 эргам на 1 г облучаемого вещества.

$$1 \text{ мРад} = 10^{-3} \text{ Рад}, 1 \text{ мкРад} = 10^{-6} \text{ Рад}$$

Интегральная доза – полное количество энергии, поглощенной в облученном объекте. Единицы измерения - Грей×кг (кг×Рад).

Поверхностная (кожная) доза складывается из поглощенной энергии первичного потока излучения в 1 см³ воздуха у поверхности кожи и энергии рассеянного излучения, попадающего в облучаемый объем из поверхностных тканей (излучения, рассеянные в обратном направлении от объекта облучения).

С увеличением энергии излучения поверхностная доза убывает, т.к. рассеянное излучение в значительной мере направляется вперед, по ходу пучка, т.е. в глубину тканей. С увеличением поля облучения поверхностная доза растет, т.к. увеличивается объем тканей, в которых образуется вторичное излучение.

Глубинная доза – это доза, измеренная в облучаемом объекте на любой заданной глубине.

Отношение дозы на глубине к дозе в воздухе называют **относительной глубинной дозой** и выражают в **процентах**.

$$\text{Отн. гл. } D = D_{\text{гл}} / D_{\text{воз}} \times 100\%$$

Относительная глубинная доза возрастает с увеличением расстояния от источника, энергии излучения и поля облучения.

Дозное поле – пространственное распределение энергии излучения в облучаемой среде или теле. При лучевой терапии врач должен высчитать величину поглощенной дозы в облучаемом очаге, в окружающих его тканях и органах, в жизненно важных органах, во всем организме.

Изодозные кривые (изодозы) – линии, соединяющие на эскизе облучаемого объекта все точки с одинаковым значением поглощенной дозы (это линии, соединяющие ряд точек, получивших одинаковую абсолютную или процентную глубинную дозу излучения). Строятся кривые изодоз по результатам фантомных измерений. Набор таких кривых для определения значений дозных полей рентгеновского или γ -излучения содержится в атласе изодоз. В зависимости от расположения исходной точки изодозные поля строят по отношению к экспозиционной дозе в воздухе, на поверхности тела, в максимуме ионизации или в центре облучаемого очага.

Контрольные вопросы:

1. *Дайте определение дозы облучения?*
2. *Как называется отношение дозы на глубине к дозе в воздухе?*
3. *Перечислите основные показатели ЛТ и единицы их измерений?*
4. *Что такое экспозиционная доза?*
5. *Для чего используются изодозные кривые?*

4. Методы определения радиоактивности и дозы



Рис.24 Методы определения радиоактивности.

Физические методы – используют ионизационное или световозбуждающее действие излучений (флуоресценцию или сцинтилляцию), изменение электрических и других свойств твердых или жидких сред, тепловое действие излучений (ионизационный, люминесцентный, калориметрический, термолюминесцентный методы).

Химические методы основаны на количественном определении изменений в химических растворах (изменение цвета, прозрачности, выпадение осадка, выделение газа), которые возникают в результате поглощения энергии излучения. В **фотохимических** методах величину дозы определяют сравнением степени почернения экспонированной фотопленки и стандартной, облученной эталонным источником облучения.

Биологические методы – используется способность излучений вызывать изменения в биологических объектах. Величина дозы оценивается по уровню летальности животных, степени лейкопении, количеству хромосомных aberrаций, по степени гиперемии кожи, выпадения волос. Биологические методы менее точны и чувствительны по сравнению с физическими, но они незаменимы в случае определения относительной биологической эффективности тяжелых частиц с большой энергией, а также для учета индивидуальных различий радиочувствительности.

Математические (расчетные) методы – дозу определяют путем математических вычислений. Математический метод широко применяют для определения поглощенной дозы и интегральной дозы исходя из экспозиционной, терапевтических доз от закрытых радиоактивных препаратов.

$$D = K\gamma \times C \times t / R^2$$

где D – доза излучения, создаваемая на расстоянии R от точечного источника; $K\gamma$ – гамма-постоянная; C – активность препарата в милликюри; t – время облучения в часах.

Регистрирующий излучение прибор состоит из трех основных частей: 1) чувствительного элемента, воспринимающего излучения (детектора, датчика), в который поступают частицы или кванты и с помощью преобразователя эффекта взаимодействия превращаются в электрические импульсы; 2) источника электрического питания; 3) измерительной аппаратуры (счетчика электрических импульсов, амперметра, интенсиметра).

Приборы, предназначенные для измерения дозы или мощности дозы ионизирующих излучений, называются дозиметрами или **рентгенометрами**.

Приборы для регистрации отдельных частиц или квантов радиоактивного излучения называются **счетчиками ядерных излучений**, или радиометрами.

В зависимости от назначения дозиметры: 1) рентгенометры – для замера дозы или мощности дозы от источников излучения; 2) индивидуальные дозиметры – для измерения доз облучения персонала; 3) дозиметры контроля защиты (микрорентгенометры) – для измерения малых доз или мощностей доз за защитой, на рабочих местах персонала, в смежных помещениях и других контролируемых зонах.

В зависимости от использованного эффекта взаимодействия излучения с детектором дозиметры бывают: ионизационные, сцинтилляционные, калориметрические, термолюминесцентные, фотографические, химические, полупроводниковые (разновидность ионизационных).

Радиометры: 1) поисковые – для контроля радиоактивного загрязнения рабочих мест, помещений радиологических отделений и окружающей среды;

2) лабораторные – для определения радиоактивности биологических сред; 3) клинические – для измерения радиоактивности всего человека или отдельных частей тела, органов или тканей.

В радиометрах используются ионизационные (газоразрядные или полупроводниковые) и сцинтилляционные детекторы.

В автордиографии для регистрации ядерных излучений применяют толстые фотоэмульсии.

Ионизационная камера – это прибор для исследования и регистрации ядерных частиц и излучений. Его действие основано на способности быстрых заряженных частиц вызывать ионизацию газа. Ионизационная камера представляет собой воздушный или газовый электрический конденсатор, к электродам которого приложена разность потенциалов. При попадании

ионизирующих частиц в пространство между электродами там образуются электроны и ионы газа, которые, перемещаясь в электрическом поле, собираются на электродах и фиксируются регистрирующей аппаратурой.

Различают токовые и импульсные ионизационные камеры.

В **токовых** ионизационных камерах гальванометром измеряется сила тока, создаваемого электронами и ионами. Токовые ионизационные камеры дают сведения об общем количестве ионов, образовавшихся в течение 1 с. Они обычно используются для измерения интенсивности излучений и для дозиметрических измерений.

В **импульсных** ионизационных камерах регистрируются и измеряются импульсы напряжения, которые возникают на сопротивлении при протекании по нему ионизационного тока, вызванного прохождением каждой частицы.

В ионизационных камерах для исследования γ -излучений ионизация обусловлена вторичными электронами, выбитыми из атомов газа или стенок ионизационных камер. Чем больше объем ионизационных камер, тем больше ионов образуют вторичные электроны, поэтому для измерения γ -излучений малой интенсивности применяют ионизационные камеры большого объема.

Ионизационная камера может быть использована и для измерения нейтронов. В этом случае ионизация вызывается ядрами отдачи (обычно протонами), создаваемыми быстрыми нейтронами, α -частицами, протонами или γ -квантами, возникающими при захвате медленных нейтронов ядрами ^{10}B , ^3He , ^{113}Cd . Эти вещества вводятся в газ или стенки ионизационных камер.

В ионизационных камерах состав газа и вещества стенок выбирают таким образом, чтобы при одинаковых условиях облучения обеспечивалось одинаковое поглощение энергии (в расчете на единицу массы) в камере и биологической ткани.

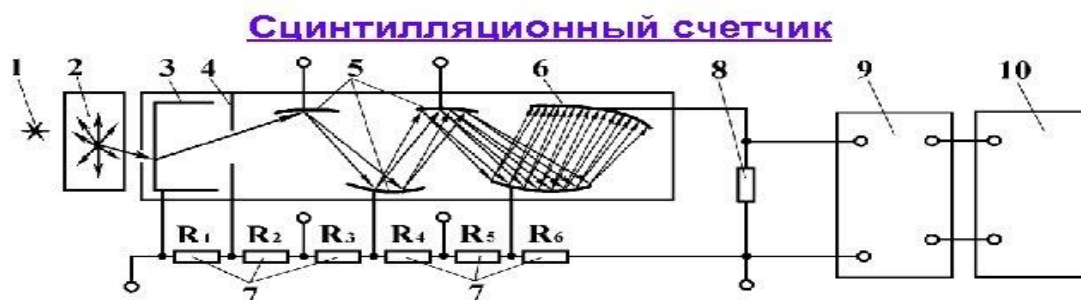
В дозиметрических приборах для измерения экспозиционных доз камеры наполняют воздухом.

Ионизационные камеры индивидуального дозиметра ДК-02 оборудованы электроскопами, что позволяет после их зарядки от питающихся сухими батареями зарядных устройств в любой момент определить полученную дозу облучения (рис. 25). Градуируют дозиметры с помощью стандартных источников излучения и нормальных ионизационных камер. Вследствие того, что электропроводность газа-наполнителя зависит не только от интенсивности излучения, но и от давления и влажности воздуха, в дозиметрах высокого класса точности производят поправку на атмосферное давление, температуру и влажность воздуха.



Рис. 25 Примеры ионизационных камер.

В **сцинтилляционных** дозиметрических приборах световые вспышки, возникающие в сцинтилляторе под действием излучения, преобразуются с помощью фотоэлектронного умножителя в электрические сигналы, которые затем регистрируются измерительным устройством. Сцинтилляционные дозиметры применяются чаще всего в дозиметрии радиационной защиты.



Измерительная схема сцинтилляционного детектора:

- 1 – источник иониз. излучения; 2 – сцинтиллятор;**
- 3 – фотокатод ФЭУ;**
- 4 – фокусирующий электрод; 5 – диноды;**
- 6 – анод; 7 – делитель напряжения;**
- 8 – выходное сопротивление; 9 – усилитель;**
- 10 – регистрирующий прибор**

39

Рис.26 Схема сцинтилляционного счетчика.

В сцинтилляторах вдоль траектории ионизирующего излучения образуются возбужденные атомы и молекулы, которые, переходя в основное состояние, испускают электромагнитное излучение, часть спектра которого находится в пределах частот видимого света. Для того чтобы увидеть эти вспышки света,

сцинтилляторы делают прозрачными. Они бывают твердыми, жидкими и газообразными, органическими и неорганическими. Для улучшения сцинтилляционной способности люминофоров к ним добавляют активаторы (таллий, европий, серебро, терфенил), которые образуют центры испускания фотонов и улучшают условия перехода энергии возбужденных атомов и молекул во вспышку света. Активаторы указывают в скобках после символа сцинтиллятора. Изменяя толщину и плотность сцинтиллятора, можно добиться наибольшей эффективности счета к определенному виду или энергии излучения, снизить счетность радиоактивного фона. Для регистрации γ -излучений используют крупные сцинтилляторы с большой плотностью и высоким порядковым номером (Z). Лучшей разрешающей способностью для нейтронов обладают некоторые органические вещества с малым Z и плотностью, близкой к плотности воды. Для регистрации β -излучений используют тонкие кристаллы или пластинки, малочувствительные вследствие небольших размеров и плотности к проникающим γ -излучениям фона. Для предохранения сцинтиллятора от попадания света и других внешних воздействий их заключают в контейнеры. Ввиду того, что стенки светозащиты непроницаемы для β -излучений малой энергии, удобно регистрировать излучение, смешав радиоактивное вещество с жидким сцинтиллятором.

Сцинтилляционные счетчики имеют малое разрешающее время ($10^{-7} - 10^{-9}$ с), следовательно, являются быстродействующими. Это позволяет измерять интенсивные потоки излучения и изучать быстропротекающие процессы. Они обладают высокой эффективностью (100%) регистрации всех видов излучений, позволяют отличать излучения по виду и энергии, а при подключении к ним амплитудного анализатора импульсов получать высокоэффективный спектрометр излучения. Благодаря этим преимуществам сцинтилляционные счетчики постепенно вытеснили ионизационные детекторы.

СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЙ МЕТОД

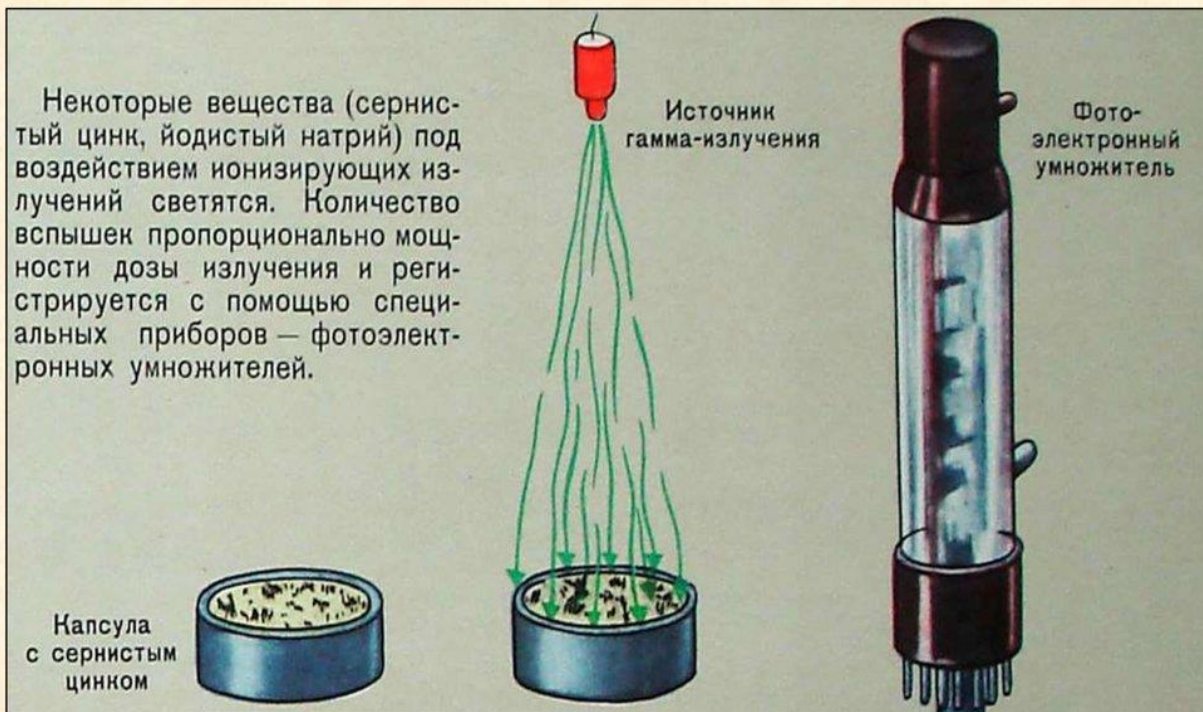


Рис.27 Сцинтилляционный метод.

В люминесцентных дозиметрических приборах используется способность люминофоров накапливать поглощенную энергию излучения, а затем освобождать её путем люминесценции под действием дополнительного возбуждения (нагрев или облучение люминофора). Интенсивность люминесценции, измеряемая с помощью специальных устройств, пропорциональна дозе излучения.

В качестве люминофоров используют нафталин, антрацен, стильбен, сульфид цинка, платиносинеродистый барий, кристаллический йодид натрия. Под влиянием энергии излучения электроны атомов люминофоров переходят на более высокие энергетические уровни, при возвращении с которых выделяется энергия в виде квантов света, часто в пределах видимого спектра. Для усиления яркости свечения к люминофорам добавляют активаторы (таллий и др.). яркость свечения люминофора пропорциональна дозе облучения и оценивается с помощью вакуумных фотоэлементов или фотоэлектронных умножителей (ФЭУ), величина фототока в которых измеряется гальванометрами, проградуированными в единице дозы или мощности дозы излучения. ФЭУ позволяют получить очень чувствительные дозиметры.

Подбирая для детекторов люминофоры различной плотности или добавляя к ним наполнители, можно изготовить тканеэквивалентные дозиметры, позволяющие непосредственно измерять поглощенную дозу излучения. Из сцинтиллирующих пластмасс и световодов изготавливают «прутиковые» детекторы для измерения дозы в полостях тела в процессе лучевой терапии.

В зависимости от механизма люминесценции и способа дополнительного возбуждения различают **термолюминесцентные** (ТЛД) и **радиофотолюминесцентные** дозиметры. Особенностью люминесцентных дозиметров является способность сохранять информацию о дозе.

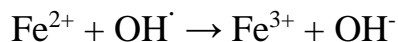
Термолюминесцентные дозиметры. В центрах захвата ионизирующих излучений некоторыми твердыми телами образуются носители заряда (электроны, «дырки»), аккумулирующие поглощенную энергию, которая в последующем освобождается в виде света при дополнительном возбуждении этих полупроводников нагреванием до 150-300°C. Методом измерения интенсивности термолюминесценции с помощью различных электронных схем определяют запасенную в детекторе поглощенную дозу излучения. Чаще всего термолюминесцентные дозиметры делают на основе люминофоров из фтористого лития, фтористого кальция, сульфата кальция и люминесцентных стекол. Показания дозиметров линейны в больших диапазонах измеряемых доз. Дозиметры индивидуального контроля доз на основе алюмофосфатного стекла позволяют измерить дозу любого вида ионизирующих излучений в пределах от 2×10^{-4} до 1×10^4 Гр.

В настоящее время созданы люминесцентные дозиметры, основанные на термоэкзоэлектронной эмиссии. При нагреве некоторых люминофоров, предварительно облученных ионизирующим излучением, с их поверхности вылетают электроны (экзоэлектроны). Их число пропорционально дозе излучения в веществе люминофора.

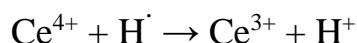
Термолюминесцентные дозиметры наиболее широко используются в клинической дозиметрии для измерения дозы на больном, в полости тела, как индивидуальные дозиметры.

Химические методы дозиметрии. Излучения вследствие ионизации и возбуждения многоатомных молекул вызывают их диссоциацию, и в результате взаимодействия с продуктами радиолиза воды или другими химическими веществами образуются новые химические соединения. При этом изменяются прозрачность или цвет растворов, выпадает осадок или выделяется газ. Количественная оценка этих изменений позволяет определить дозу облучения, если измерительная система проградуирована с использованием эталонного источника излучения.

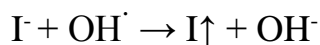
В ферросульфатном дозиметре соли двухвалентного железа в слабом водном растворе серной кислоты под влиянием излучения окисляются гидроксильными радикалами в трехвалентные ионы, которые при добавлении роданида калия окрашивают раствор в красный цвет. Степень окраски раствора пропорциональна концентрации ионов Fe^{3+} и, следовательно, дозе облучения:



Для химической дозиметрии используют и раствор четырехвалентного сульфата церия, который, восстанавливаясь атомами водорода облученного раствора в ионы трехвалентного церия, понижает прозрачность раствора:



В слабых растворах йодид натрия диссоциирует на ионы Na^+ и I^- . Под влиянием излучения радикалы $OH\cdot$ отнимают электроны у ионов йода, превращая его в атомы газа:



Скорость выделения газа пропорциональна дозе облучения.

Фотохимический метод дозиметрии. На фотопластинках или фотопленках, покрытых высокочувствительной эмульсией кристаллов бромистого серебра в желатине, вследствие ионизации выделяются зерна серебра, которые при химической обработке дают почернение, пропорциональное дозе излучения. Сравнивая оптическую плотность почернения экспонированных рабочих пленок с контрольными, облученными известной дозой ИИ, определяют дозу излучения (рис. 28).



Рис.28 Индивидуальные термолюминесцентные дозиметры

Конденсаторный индивидуальный дозиметр КИД-2. Индивидуальные дозиметры, которые персонал носит во время работы с источниками ионизирующих излучений (в настоящее время конденсаторные дозиметры заменены на фотопленчатые), представляют собой цилиндрический воздушный конденсатор, выполненный в виде авторучки. Они обособлены от зарядного и измерительного устройства. Индивидуальный дозиметр КИД-2 (рис. 29) укомплектован 20 камерами, каждая из которых содержит по 2 конденсатора различной емкости. Большой из них позволяет измерить дозу до $1 \cdot 10^{-3}$ Кл/кг, меньший – до $1 \cdot 10^{-2}$ Кл/кг. С помощью зарядного устройства оба конденсатора заряжают до определенной емкости. В поле рентгеновского или γ -излучения в газе токовой камеры образуются пары ионов, которые, собираясь на электродах, компенсируют часть заряда конденсатора и вызывают падение напряжения. Помещая дозиметрическую камеру в измерительное устройство, по остаточному заряду конденсатора непосредственно со шкалы прибора снимают показатели дозы облучения.



Рис.29 Конденсаторный индивидуальный дозиметр КИД-2.

Калориметрические дозиметры. Поглощенная веществом энергия излучения в конечном итоге превращается в тепло. По степени повышения температуры облучаемого объекта или количеству тепла, ушедшего на испарение жидкости (чаще азота), определяют дозу облучения. Калориметрические дозиметры мало чувствительны, поэтому их применяют для определения больших доз излучения. При изготовлении компактных клинических дозиметров возникают затруднения с изоляцией чувствительного

объема от внешнего тепла. Но они незаменимы при определении мощных потоков сложного по составу излучения.

Газоразрядные счетчики представляют собой металлические или стеклянные цилиндры, по оси которых натянута вольфрамовая нить. Корпус трубки служит катодом, а нить – анодом. Для обеспечения электропроводимости стеклянные счетчики покрываются изнутри медной амальгамой или другим токопроводящим слоем (рис. 30).

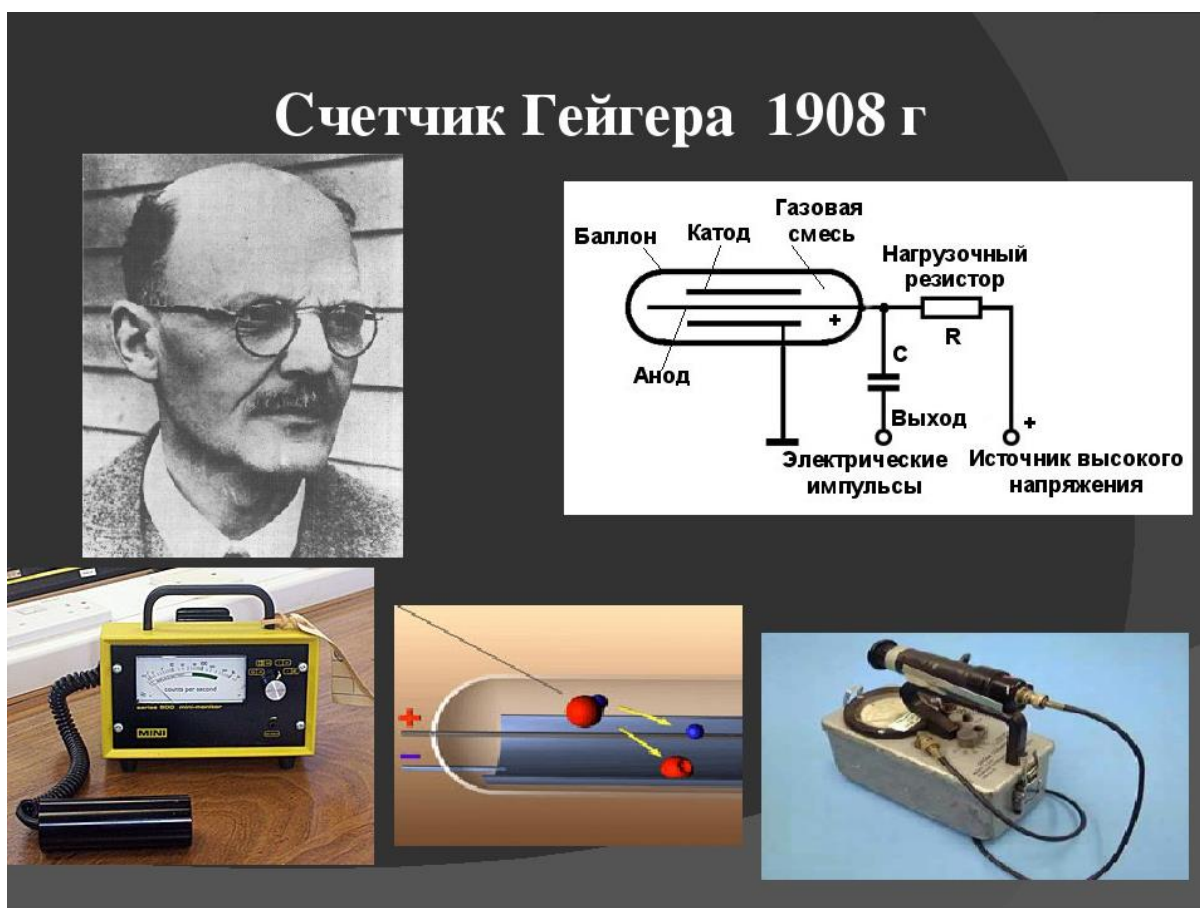


Рис.30 Газоразрядный счетчик Гейгера-Мюллера.

Для регистрации β -частиц счетчики изготавливают из алюминия, меди или нержавеющей стали небольшой толщины, чтобы частицы не поглощались материалом корпуса. Для регистрации малоэнергетических β - и α - частиц используют стеклянные или металлические торцовые счетчики (рис. 31). У них один конец цилиндра закрыт тонкой пленкой из слюды или алюминиевой фольги, через которую в счетчик проникают заряженные частицы. Металлическая нить анода фиксируется в противоположном торце. Свободный конец ее заканчивается бусинкой, препятствующей утечке электрического заряда. Заполняются счетчики инертными газами (чаще аргоном), а в

самогасящихся счетчиках еще добавляют 10-15% паров многоатомных молекул метилового, этилового или изопентанового спирта.

Счетчики могут работать в пропорциональной области вольт-амперной характеристики или в области Гейгера. Электрическая схема их включения однотипна (рис. 30).

Пропорциональные счетчики работают при напряжении 1-2 кВ. коэффициент газового усиления тока и скорость счета импульсов при постоянной плотности потока излучения, неизменном составе и давлении наполняющего газа и чувствительности схемы является функцией напряжения на электродах и изменяется по нелинейному закону от 1 до 10^4 . В некотором интервале напряжения при постоянном потоке излучения скорость счета с повышением напряжения возрастает всего в пределах 0,1% на 100 В. Этот интервал напряжения, протяженность которого 50-200 В, называется плато счетчика.

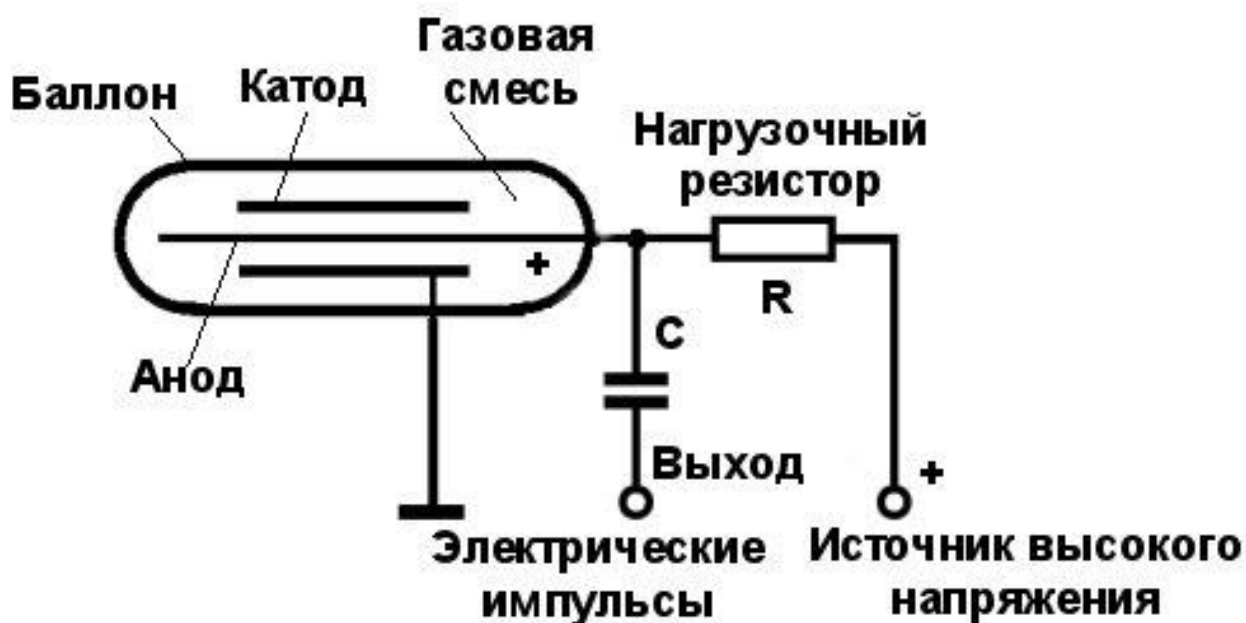


Рис.31 Газоразрядные счетчики (схемы).

В пропорциональных счетчиках плато для α - и β - излучений находится при различных напряжениях. Это связано с амплитудой импульса, пропорциональной первичной ионизации и поглощенной в газе энергии. Разрешающая способность счетчиков не более 10^4 имп/с. Это означает, что, если частицы попадают в счетчик чаще, чем через 10^{-4} с, возникает просчет и две частицы регистрируются как одна частица. Срок службы счетчиков, наполненных чистыми газами, зависит от механической стойкости счетной трубки. Число регистраций счетчиком, наполненным смесью газа и

органических молекул, вследствие диссоциации последних не превышает 10^{15} импульсов. В газоразрядных счетчиках Гейгера-Мюллера коэффициент газового усиления значительно выше, чем в пропорциональных. Даже один первичный электрон, образовавшийся под влиянием ионизирующего излучения в газе-наполнителе, порождает лавинообразное нарастание количества фотоэлектронов, которые, достигая собирающего электрода, превращаются в достаточно большой импульс (1-50 В). Величина импульса не зависит от энергии излучения и количества первичных ионов и доступна для регистрации простейшим одноламповым усилителем. Рабочее напряжение счетчика находится в пределах плато. При дальнейшем повышении напряжения напряженность электрического поля становится достаточной, чтобы из катода вырвать электрон. В этом случае без излучения в детекторе начинается самостоятельный газовый разряд, вплоть до пробоя газа, когда счетчик выходит из строя. В режиме искрового разряда, при котором напряжение еще недостаточно для поддержания непрерывного дугового разряда, работают искровые счетчики. Благодаря меньшему размеру и напряжению в несколько киловольт время развития газового разряда уменьшается до 10^{-11} с. Искровые камеры, состоящие из многих счетчиков, пригодны для регистрации траектории релятивистских частиц. Это используется в гамма-камерах.

Гашение газового разряда, который может дать ложный импульс, как только положительный ион достигнет катода, и при своей нейтрализации зарядом земли испустит фотон, дающий начало новой лавинообразной ионизации газа, достигается двумя путями. В несамогасящихся счетчиках газовый разряд гасится большим внешним нагрузочным сопротивлением, которое снижает разрешающую способность счетчиков до 10^2 имп/с. В самогасящихся счетчиках газовый разряд гасится путем нейтрализации положительных ионов многоатомными примесными молекулами спиртов. Благодаря этому разрешающее время самогасящихся счетчиков уменьшается до 10^{-4} с, но одновременно с этим срок службы счетчиков уменьшается вследствие необратимой диссоциации органического наполнителя.

Необходимо отметить, что эффективность газоразрядных счетчиков для заряженных частиц приближается к 100%. Счетчик регистрирует все частицы, попавшие в него в пределах разрешающего времени и вызвавшие хотя бы один акт ионизации. Но определяют они не абсолютную, а относительную радиоактивность, так как регистрируют только те распады ядер, излучения которых попали в счетчик. Количество этих излучений зависит от телесного угла зрения счетчика, самопоглощения излучений в радиоактивном веществе и других причин, на каждую из которых необходимо внести поправку при определении абсолютной радиоактивности. Высокую эффективность при

регистрации β -излучений имеют 4 π -счетчики. Это спаренные проточные торцовые счетчики, между которыми располагается радиоактивный препарат.

Эффективность газоразрядных счетчиков для γ -квантов не превышает 1-2%. Это объясняется малой плотностью ионизации в газе, слабым взаимодействием γ -квантов с элементами конструкции счетчика и значительным поглощением вторичных электронов в его стенке.

Контрольные вопросы:

- 1. Основные типы и принципы дозиметрических приборов?*
- 2. Чем отличаются между собой дозиметрические приборы индивидуального контроля безопасности при работе с рентгеновским и гамма-излучением и для контроля защиты от рентгеновского и гамма излучения?*
- 3. Предназначение дозиметрических приборов*
- 4. Исполнительные устройства методов дозиметрии*
- 5. Основные параметры и определения (доза, мощность, единицы измерения различных видов дозы).*
- 6. Основные методы измерения радиоактивности и дозы*
- 7. С какой целью определяется количество и качество излучения?*

Вопросы тестового контроля:

1. Назовите химический метод клинической дозиметрии:

- 1) сцинтилляционный метод
- 2) фотографический метод
- 3) полупроводниковый метод
- 4) конденсаторный метод

2. Что такое поглощенная доза:

- 1) величина энергии, поглощенной единицей объема воздуха
- 2) величина энергии, поглощенной единицей массы или объема

биологического вещества

3) эквивалентное количество энергии, поглощенной организмом человека с учетом его биологических характеристик

- 4) величина энергии излучения, воздействовавшего на организм человека

3. Что такое экспозиционная доза:

- 1) величина энергии, поглощенной единицей объема воздуха
- 2) величина энергии, поглощенной единицей массы или объема

биологического вещества

3) эквивалентное количество энергии, поглощенной организмом человека с учетом его биологических характеристик

- 4) величина энергии излучения, воздействовавшего на организм человека

4. Что такое эквивалентная доза:

- 1) величина энергии, поглощенной единицей объема воздуха
- 2) величина энергии, поглощенной единицей массы или объема

биологического вещества

3) эквивалентное количество энергии, поглощенной организмом человека с учетом его биологических характеристик

- 4) величина энергии излучения, воздействовавшего на организм человека

5. Назовите единицы измерения поглощенной дозы:

- 1) кюри
- 2) рентген
- 3) грей
- 4) зиверт

6. Назовите единицы измерения экспозиционной дозы:

- 1) зиверт
- 2) рад
- 3) рентген
- 4) кюри

7. Назовите единицы измерения эквивалентной дозы:

- 1) бэр
- 2) рентген
- 3) грей
- 4) зиверт

8. Что такое мощность дозы:

- 1) доза, измеренная во времени
- 2) доза, измеренная на килограмм массы вещества
- 3) доза, измеренная на литр объема вещества
- 4) доза, измеренная на литр объема воздуха

9. Что является основными мерами защиты населения, проживающего на загрязненной территории:

- а) юридическая защита
- б) медицинские и гигиенические мероприятия
- в) радиационная защита, психологическая защита

10. Можно ли использовать строительные материалы и изделия, не отвечающие требованиям к обеспечению радиационной безопасности?

- а) запрещается
- б) разрешается при соблюдении норм и правил радиационной безопасности

11. Перечислите основные принципы обеспечения радиационной безопасности

- а) принцип нормирования
- б) принцип обоснования
- в) принцип оптимизации
- г) принцип взаимодействия

12. Для обнаружения и измерения ионизирующих излучений используется –

- а) газоразрядный метод
- б) ионизационный метод
- в) инсталляционный метод

Тема 3. Лучевая терапия. Принципы и методы лучевой терапии.

Значение темы:

Изучение принципов лучевой терапии позволяет определить роль лучевой терапии в комплексном лечении больных с опухолевыми и неопухолевыми заболеваниями, прогнозировать возможные осложнения после проведения лучевой терапии. Полученные знания необходимы при обучении на клинических кафедрах, а также будут востребованы при прохождении цикла по лучевой диагностике и лучевой терапии при кафедре онкологии с курсом лучевой диагностики и лучевой терапии. Каждый лучевой терапевт должен понимать сущность методик лучевой терапии для своевременного направления пациентов на консультацию к врачу-радиологу для постановки правильного диагноза и при необходимости дальнейшего лучевого лечения.

Цель занятия: ознакомить студентов с устройством и работой гамма-установок, рентгенотерапевтических аппаратов, аппликаторов, с требованиями техники безопасности при работе в радиологическом отделении, с принципами лучевой терапии, основными характеристиками методов лучевого лечения.

Учебные задачи:

1. Основные характеристики методов лучевой терапии.
2. Правильно выбрать и обосновать метод лучевой терапии для конкретного больного.
3. Правильная подготовка больного к облучению.

Вопросы программы для контроля знаний:

1. Основные методы лучевой терапии.
2. Дистанционные методы лучевой терапии (дистанционная гамма-терапия, использование источников излучения высоких энергий: ускорители электронов, протонов, тормозное излучение высоких энергий).
3. Контактные методы лучевой терапии - аппликационный, внутрисполостной, внутритканевой методы, близкофокусная рентгенотерапия, метод избирательного накопления изотопа в тканях.
4. Принципы радикального и паллиативного лучевого лечения, однократное и многократное фракционирование.
5. Дозиметрическое обоснование выбранного метода лучевой терапии. Распределение энергии излучения в облучаемом объеме тканей.

6. Подготовка пациента к проведению лучевой терапии, выбор, топографическая подготовка больного.
7. Изодозное распределение энергии излучения в патологическом очаге и окружающих здоровых тканях.
8. Лучевая терапия злокачественных опухолей (максимум дозы в патологическом очаге, минимальное облучение окружающих здоровых тканей, сохранение защитных сил организма).

Основные методы лучевой терапии

Существующие методы лучевой терапии делятся на следующие основные группы:

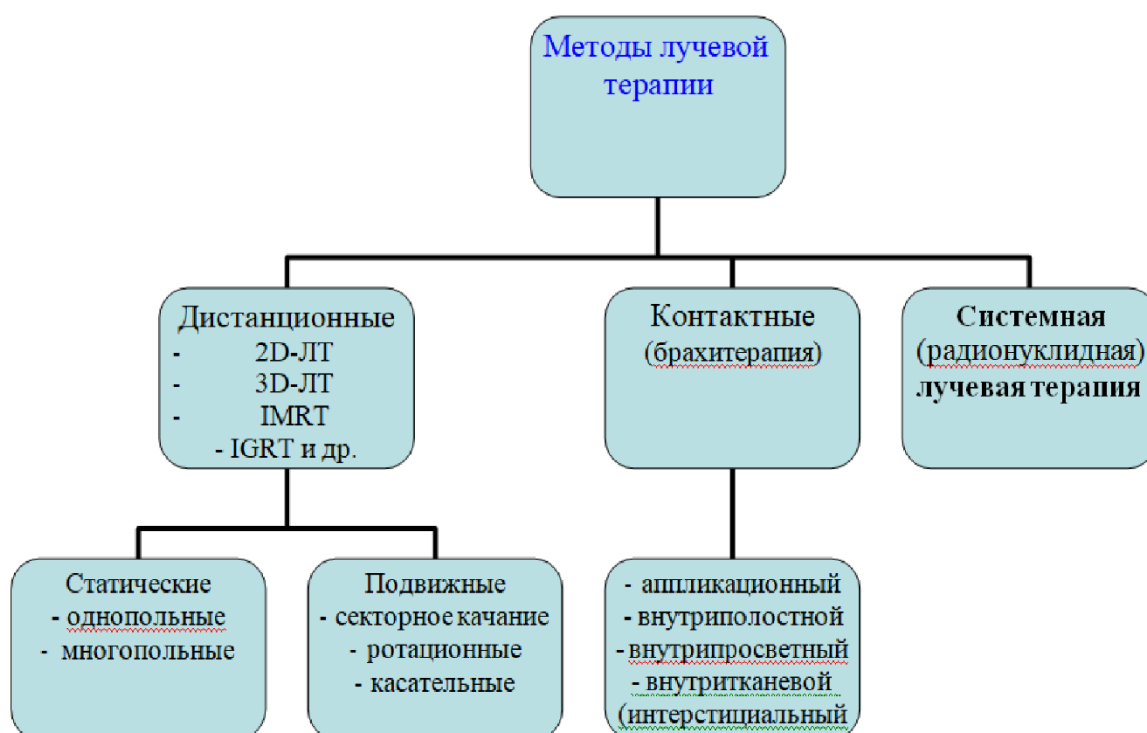


Рис.32 Методы лучевой терапии.

Дистанционная лучевая терапия (ДЛТ) – один из ведущих способов лечения онкологических заболеваний. Во время сеанса, пациент находится на определенном расстоянии от источника излучения (от 3–5 см до 1 м). При ДЛТ используются источники квантового излучения – рентгеновское и гамма-излучение, тормозное излучение высоких энергий



Рис.33 Современный гамма-терапевтический аппарат.

При **контактных методах лучевой терапии** источник излучения прилежит непосредственно к опухолевому очагу и контактирует с ним. Это осуществляется путем размещения радиоактивных источников на поверхности облучаемого участка (аппликационный метод), введения их в полость органа (внутриполостной метод) или непосредственно в ткань опухоли (внутриканевой метод).

Проведение брахитерапии

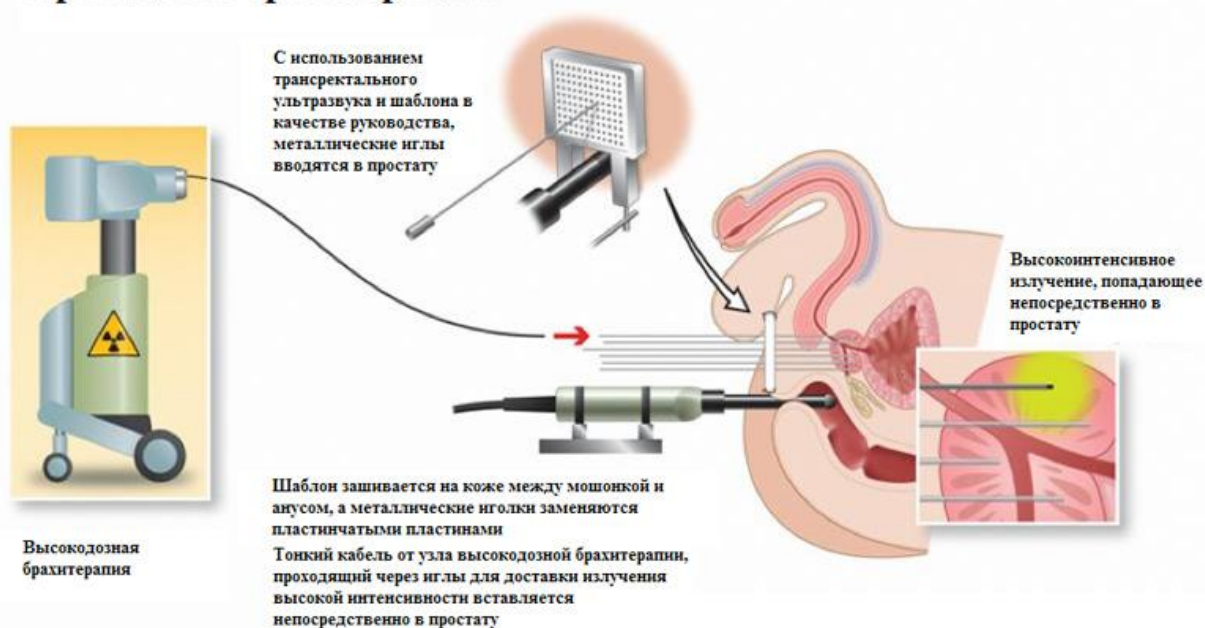


Рис.34 Брахитерапия.

Контактная лучевая терапия применяется при раке шейки матки, предстательной железы, молочной железы, мочевого пузыря, кожи, прямой кишки, влагалища, глаза, пищевода, бронхов, трахеи, кожи и других злокачественных новообразований. Основной особенностью дозового распределения при контактном облучении является быстрое падение мощности дозы по мере отдаления от мишени, что способствует созданию высокой дозы ионизирующих излучений в патологическом очаге с крутым падением дозы за его пределами. Эта особенность является преимуществом метода, потому что окружающие здоровые ткани получают облучение в минимальных дозах. Контактное облучение позволяет подвести большие разовые дозы к опухоли за короткий промежуток времени, при этом одновременно снизить лучевую нагрузку на здоровые и критические органы, улучшить локальный контроль опухоли.

Системная, или радионуклидная терапия это доставка дозы ионизирующего излучения к определённому органу-мишени. При этом воздействие на окружающие здоровые ткани и, соответственно, возможные поздние осложнения весьма и весьма ограничены. Лечение может быть как системным, так и локо-региональным, и в первом случае оно объединяет в себе преимущества селективности (как дистанционная лучевая терапия или брахитерапия) с системностью (как химиотерапия). Доказанная эффективность

метода и минимальная токсичность делает его в ряде случаев незаменимым; в целом лечение хорошо переносится больными, а многочисленные исследования уже показали, что радионуклидная терапия несёт низкий риск развития лейкемии и вторичных опухолей, нежели химиотерапия либо наружное облучение.

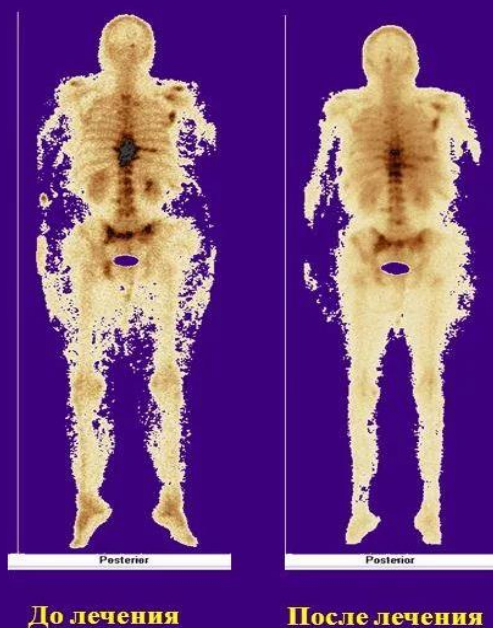
Системная радионуклидная терапия



Рис.35 Основные виды радионуклидов.

Радионуклиды могут использоваться и в составе радиофармпрепаратов для лечения метастазов опухолей конкретных локализаций (например, рака щитовидной железы) либо первичных костных опухолей, в частности, остеосаркомы. Но наиболее распространённый вариант – применение остеотропных радиофармпрепаратов для воздействия на костные метастатические очаги.

09.00.008 Радионуклидная терапия



Остеотропные радиофармпрепараты позволяют:

- ♦ диагностировать костные метастазы (РФП на основе ^{99m}Tc),
- ♦ проводить их системную радиотерапию (^{89}Sr , ^{113m}Sm).

Преимущества:

- ♦ быстрый обезболивающий эффект;
- ♦ регрессия метастазов;
- ♦ низкая стоимость;
- ♦ возможность применения в MyShared амбулаторных условиях.

Рис.36 Радионуклидная терапия.

В настоящее время применяются следующие виды радионуклидной терапии:

1. Радиойодтерапия рака щитовидной железы, йод применяется в виде водного раствора радиоактивного натрия йодида (Na^{131}I) или капсул для внутреннего применения. Наиболее часто применяется в комбинированном лечении больных с раком щитовидной железы в послеоперационном режиме. Радиойодтерапия эффективна при папиллярном и фолликулярном раке щитовидной железы, это безальтернативный метод лечения особенно для пациентов с отдаленными метастазами и высоким риском рецидива опухоли.

2. Радионуклидная терапия применяется у пациентов с метастазами в костях, используются такие радиофармпрепараты как самарий оксабифор ^{153}Sm , стронция хлорид ^{89}Sr , фосфорен ^{188}Re ОЭДФ, золендроновая кислота Re-188 (золерен), радия хлорид Ra-223 (ксофиго). ^{117m}Sn , ^{177}Lu , ^{90}Y , ^{131}I и др.

3. Пептидно рецепторная радионуклидная терапия - это молекулярная терапия или радиоизотопная терапия которая применяется при лечении больных с нейроэндокринными опухолями, раком предстательной и поджелудочной железы, при прогрессировании заболевания.

ПОДГОТОВКА К РАДИОНУКЛИДНОЙ ТЕРАПИИ

Отмена препаратов под контролем
врача



УЗИ

Сцинтиграфия

(За 1-3 дня до дозиметрического планирования)



Дозиметрическое планирование

(За 4-12 дней до госпитализации)



**Обследование по индивидуальной
программе**

(За 1-3 дней до госпитализации)



**Осмотр и предтерапевтическая
подготовка**

(Перед госпитализацией)



Рис.37 Схема подготовки к проведению радионуклидной терапии.

Близкофокусная **терапия** – это способ лучевой терапии, при котором источник излучения находится на небольшом расстоянии от излучаемой поверхности. Он используется при лечении базальноклеточного рака, плоскоклеточного рака кожи. Этот пучок рентгеновского излучения возникает при напряжениях порядка 50—60 kV и 4 mA с фильтром до 0,2 мм меди. Близкофокусная рентгенотерапия позволяет уменьшить расстояние между облучаемой опухолью и источником рентгеновского излучения от 10 до 5—3 и даже 2 см.



Рис.38 Рентгенотерапевтические аппараты для близкофокусной терапии.



Рис.39 Виды аппликаторов для рентгенотерапии.

Каждый аппарат снабжен набором тубусов различной формы. В зависимости от величины и формы патологического образования выбирают тот или иной тубус. Малая кожно-фокусная дистанция обуславливает возможность получения очень большой мощности излучения в небольшом объеме облучаемой опухоли, и это позволяет значительно снизить продолжительность сеансов облучения, доведя их до нескольких минут. Малая кожно-фокусная дистанция способствует очень быстрому поглощению основной массы энергии излучения рентгеновского пучка в более поверхностных слоях облучаемой опухоли, начиная с первых же миллиметров ее. Более 50% пучка поглощается в первом же сантиметре ткани.

Методики облучения:

Исходя из стратегических задач оказания помощи онкологическим больным, лучевая терапия может быть использована:

1. Как самостоятельный метод лечения.
2. В комбинации с хирургическим вмешательством.
3. В сочетании с химио-, гормонотерапией.
4. В качестве комплексной терапии

Лучевая терапия как самостоятельный метод лечения может быть проведена по радикальной программе, использована как паллиативное и симптоматическое средство помощи больным.

Радикальная лучевая терапия направлена на регресс опухоли и регионарных метастазов путем подведения канцерцидной дозы радиации. Уровни канцерцидных доз для различных опухолей неодинаковы и устанавливаются в зависимости от гистологического ее строения, митотической активности и степени дифференцировки клеточных элементов. К числу опухолей, поддающихся радикальному лечению (радиокурабельные опухоли), относят рак кожи, губы, носоглотки, гортани, молочной железы, шейки матки и

эндометрия, предстательной железы, а также семиномы, локализованные лимфомы, лимфогранулематоз, аденомы гипофиза.

Паллиативная лучевая терапия применяется для уменьшения размеров опухоли и ее метастазов, стабилизации опухолевого роста и используется в тех случаях, когда невозможна лучевая терапия по радикальной программе, при этом суммарная очаговая доза (СОД), как правило, составляет 2/3 канцерцидной.

Симптоматическая лучевая терапия применяется для снятия или уменьшения клинических симптомов злокачественного поражения, способных привести к быстрой гибели больного или существенно ухудшающих качество его жизни.

Комбинированное лечение – применение в той или иной последовательности для специального лечения злокачественных опухолей оперативное лечение и лучевая терапия. Лучевая терапия в комбинации с хирургическим вмешательством может быть использована в предоперационном периоде, интраоперационно и после операции.

Предоперационное облучение проводится с целью улучшения условий выполнения радикальной операции и снижения частоты развития местных рецидивов и отдаленных метастазов. Задачи предоперационной лучевой терапии заключаются в разрушении наиболее радиочувствительных клеток и снижении жизнеспособности оставшихся опухолевых элементов, устранении воспалительных явлений в опухоли и вокруг нее, стимуляции и развитии соединительной ткани и инкапсуляция отдельных комплексов раковых клеток, облитерации мелких сосудов, и как следствие снижение васкуляризации стромы опухоли и риска метастазирования, уменьшение размеров опухоли для операбельного состояния.

Послеоперационная лучевая терапия назначается с целью воздействия на зоны субклинического распространения опухоли, на остаточную опухоль, определяемую визуально или микроскопически, на опухолевые клетки рассеянные в процессе оперативного вмешательства. Основным преимуществом послеоперационной лучевой терапии является возможность выбора объема и методики облучения на основе данных, полученных во время операции после тщательного морфологического изучения удалённых тканей.

Одним из главных условий эффективности лучевой терапии является облучение всего опухолевого объема в необходимой дозе и в оптимальные сроки. На успех лечения существенно влияет и степень распространения опухолевого процесса на момент начала облучения, чем больше распространённость и размеры опухоли, тем хуже результаты лечения при прочих равных условиях.

При выраженной кахексии пациента, наличии выраженной сопутствующей патологии проведение лучевой терапии сопряжено с высоким риском осложнений. Сопутствующие воспалительные процессы так же осложняют проведение курса облучения. Все это определяет необходимость строгого определения показаний и противопоказаний к проведению лучевой терапии.

Противопоказания к лучевой терапии делятся на абсолютные и относительные. К **абсолютным противопоказаниям**, относятся:

- выраженная кахексия пациента, с состоянием по шкале EGOG III-IV
- сопутствующие общесоматические заболевания в стадии декомпенсации
- органическое поражение ЦНС (шизофрения)
- активный туберкулёз легких
- беременность
- эпилепсия с частыми генерализованными судорожными приступами
- перенесённый инфаркт миокарда или инфаркт мозга впервые 6 месяцев

Относительными противопоказаниями являются: показатели периферической крови: гемоглобин ниже 90 г/л, лейкоциты ниже $3,0 \times 10^9/\text{л}$, тромбоциты ниже $100 \times 10^9/\text{л}$

- наличие воспалительного процесса в стадии обострения

Сам по себе курс лучевой терапии состоит из следующих периодов: предлучевой, лучевой и посллучевой.

1. Предлучевой период включает не только техническую, физическую но и психологическую подготовку больного к облучению. Первым этапом проводится беседа с пациентом, с разъяснением необходимости данного метода лечения, его эффективности, возможных осложнениях в результате проведения лучевой терапии. При наличии показаний, назначается общеукрепляющая, корригирующая терапия, санация облучаемых поверхностей и полостей, коррекция показателей крови.

Предлучевая подготовка – включает следующие последовательные этапы:

- 1) Составление лучевого лечения
- 2) Подбор метода иммобилизации пациента
- 3) Визуализация опухоли и определение облучаемых объёмов

При проведении лучевой терапии важно подведение максимальной дозу ионизирующего излучения на опухоль, с минимальным поражением окружающих здоровых тканей и критических органов, повреждение которых

может привести к ухудшению состояния пациента. Поэтому необходимо максимально точно визуализировать опухоль, используя все возможные методы диагностики, в том числе УЗИ, КТ, МРТ, ПЭТ/КТ, ОФЭКТ. При этом, визуализация опухоли на предлучевом этапе должна быть произведена в условиях, идентичных с условиями, в которых будет проходить облучение.

Получение топометрических данных об анатомии органов в объеме, подлежащем облучению (клиническая топометрия), проводится с целью объединить все данные об опухоли, полученные разными диагностическими методами, и представить их в виде топографо-анатомической карты для формирования полей облучения и разработки программы облучения с помощью различных компьютерных программ. Данная процедура проводится на рентгеновских установках, позволяющих провести предлучевую подготовку и симулировать будущий процесс облучения. Проводится на рентгеновском симуляторе с использованием низкодозных рентген-лучей или КТ и последующая установка коллиматоров в соответствии с контурами опухоли (применяются рентгеновские или КТ-симуляторы). Существует также виртуальная симуляция, которая проводится с применением современных компьютерных томографов и соответствующего программного обеспечения, позволяющего в короткие сроки создать множество изображений опухоли в разных проекциях и определить облучаемые объёмы с учётом индивидуальных особенностей.

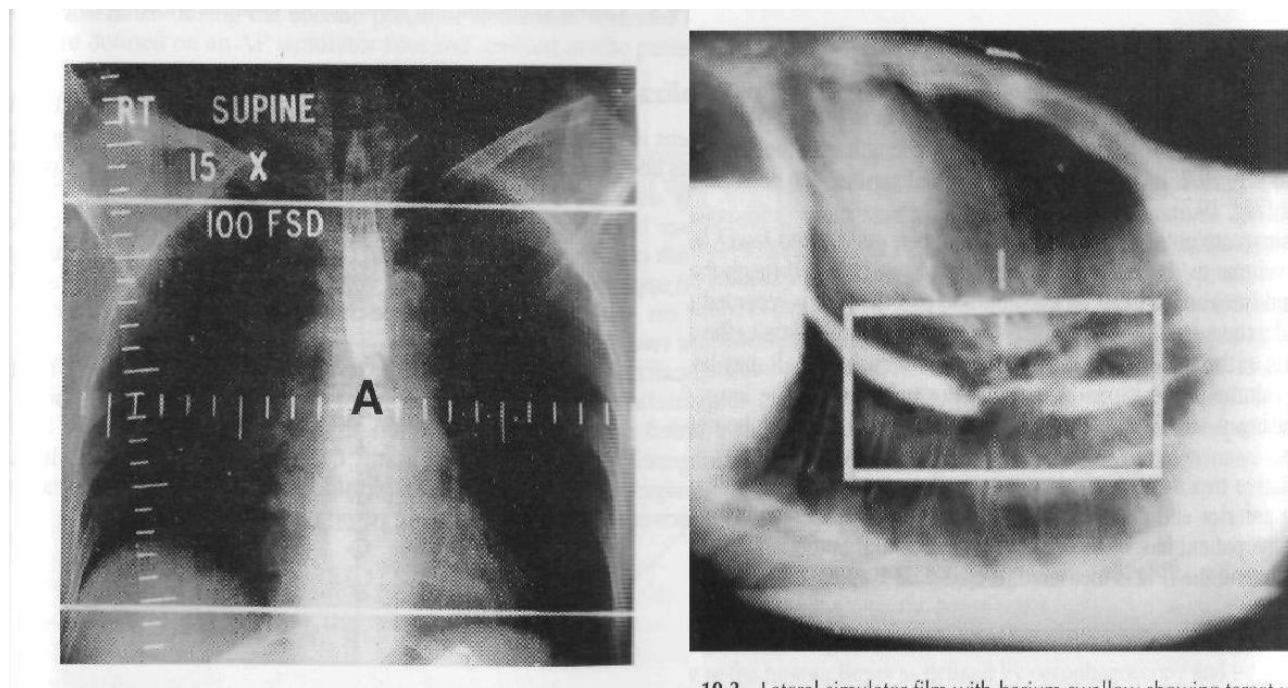


Рис.40 Пример рентгеновской симуляции при раке пищевода.



Рис.41 Пример виртуальной симуляции при раке лёгкого.

При составлении клинического плана перед дозиметрическим **планированием**, должны быть установлены: радикальный объем мишени, поглощенная доза, уровни лучевых нагрузок на окружающие здоровые органы и ткани, максимальные ограничения дозы в критических органах, предполагаемый временной режим облучения. С учетом возможностей имеющегося оборудования в отделении лучевой терапии и накопленного клинического опыта выбирают:

1. Аппарат для проведения лучевой терапии.
2. Методику облучения (многопольное, статическое или ротационное, коллиматоры)
3. РОД (разовую очаговую дозу), СОД (суммарную очаговую дозу)
4. Режим фракционирования.
5. Метод радиомодификации.

Различают несколько режимов фракционирования дозы:

1. Традиционное фракционирование – облучение с РОД-1,8-2,0 Гр 1 раз в сутки 5 фракций в неделю
2. Режим гипофракционирования – облучение с РОД–3-5 Гр, всего 4-10 фракций на курс, либо режим крупного фракционирования с РОД– 6-10 Гр, 1-3 фракции.
3. Режим гиперфракционирования: облучение 2 раза в сутки, разовая доза за один сеанс может быть различна, например, 1,2 Гр, интервал между сеансами – не менее 6 часов.

Фракционирование – это использование повторяющихся сеансов облучения в течение всего курса. Ранние радиологические исследования выявили, что повторяющееся использование относительно небольших доз облучения является наилучшим способом достижения суммарной дозы и наиболее эффективно с точки зрения результатов лечения. В большинстве экспериментов с однократным использованием облучения степень поражения злокачественных клеток (определяемая в основном по торможению клеточного деления) была в прямо пропорциональной линейно-логарифмической зависимости от мощности дозы. Важной особенностью этой зависимости является то, что на низких дозах облучения график уплощается, образуя характерное «плечо». При облучении относительно более радиорезистентных клеток это плечо расширяется, а наклон остальной кривой становится более пологим. Согласно большинству теорий, диапазон облучений, который падает на «плечо» зависимости, относится к сублетальным воздействиям, когда в клетках еще возможны процессы репарации.

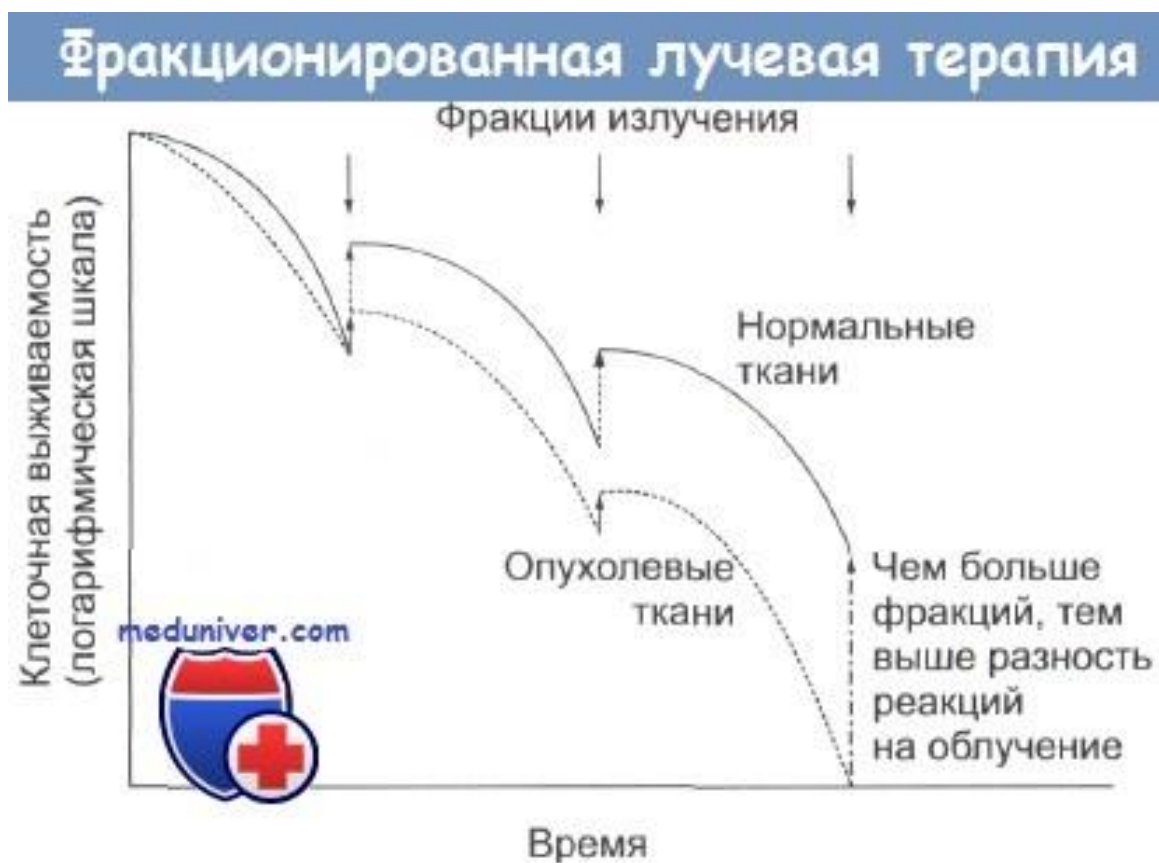


Рис.42 Фракционированная лучевая терапия.

Таким образом, повторяющееся или фракционированное облучение наносит дополнительное поражение еще до окончания процессов клеточной репарации. Конечно, степень восстановления клеточной популяции в периоды между

повторными облучениями зависит от интервалов между ними и интенсивности облучения. Кроме того, фракционированный метод лечения может повышать степень оксигенации опухолевых тканей, так как уменьшение опухолевой массы в промежутках между облучениями приводит к васкуляризации оставшейся опухоли и лучшему насыщению ее кислородом через систему кровоснабжения, а значит, и повышает ее радиочувствительность перед последующим воздействием. В дополнение к рассмотренным теоретическим преимуществам метод фракционирования имеет и реальное практическое значение, так как уже после первого сеанса облучения у больных часто отмечается улучшение клинической картины заболевания, что делает их более толерантными к последующему лечению.

На этапе дозиметрического планирования с учетом данных топометрической карты и клинические задания инженер-физик проводит оценку дозного распределения, полученное дозное распределение служит для определения разовой поглощенной дозы, времени облучения, размера поля облучения, расположения точки центрации, осей пучков излучения и их направлений.

Раньше, для получения суммарных дозных распределений использовали единичные карты изодоз, построенные с учетом различных физико-технических параметров пучков излучения для однородной тканеэквивалентной среды и условий облучения, содержащихся, как правило, в специальных атласах. Необходимые уточнения дозных распределений, связанные с неоднородностью облучаемого объема, наклонным падением пучка излучения и др., производили с помощью соответствующих формул, таблиц и графиков. В настоящее время используют специальные системы дозиметрического планирования, ввод всех необходимых для расчета данных (медицинских, физико-технических, дозиметрических) осуществляется через терминал (алфавитно-цифровой дисплей) и планшет-кодировщик. Расчет-суммацию производит компьютер в соответствии с выбранной программой облучения. Рассчитанное дозное поле после вывода на графический дисплей принимается врачом или, при неудовлетворительном решении, возвращается на перерасчет (система работает в диалоговом режиме, обеспечивающем выбор наиболее приемлемого дозного поля), затем с помощью печатающего устройства суммарное дозное распределение в графической форме (изодозные линии) наносится на топометрическую карту. Необходимым документом является также напечатанный протокол, содержащий все параметры облучения конкретного больного на выбранной терапевтической установке.

Технологическое обеспечение процедуры облучения включает тщательную укладку больного в соответствии с проведенной разметкой полей облучения и

обозначением других ориентиров на коже больного; подробное описание всех технических параметров пучка излучения и перемещений головки аппарата, терапевтического стола с целью точного наведения луча на мишень; подбор готовых принадлежностей, формирующих поле облучения; изготовление шаблонов и по ним индивидуальных фигурных защитных блоков; разработку при необходимости способов устройств фиксации больного в процессе облучения.

На последнем этапе предлучевой подготовки проводят визуальный рентгенографический контроль соотношения геометрических параметров терапевтического пучка излучения и мишени. При контактных методах облучения, когда последовательно вводят в полость или внедряют в ткани неактивные эндостаты или интрастаты и источники излучения, обязательной частью предлучевой подготовки является рентгенографический контроль. Помимо этого, при первых сеансах облучения выполняют контрольные измерения подводимых доз либо непосредственно у больного, либо на специальных моделях — фантомах, имитирующих тело человека или отдельные его части. Необходим также периодический дозиметрический контроль радиационных параметров терапевтических пучков излучения.

2. Лучевой период. В течение лучевого периода, когда пациент непосредственно получает сеансы облучения, необходимо ежедневно следить за общим состоянием больного, состоянием его кожных покровов, особенно в области поля облучения, состоянием слизистых, периферической крови; проводить профилактику лучевых осложнений (мазевые аппликации на коже, полоскание полости рта, глотки растворами метилурацила, антисептиков, метилурациловые свечи вагинально или ректально и т.д.)

Во время самого сеанса облучения необходимо добиться полной неподвижности пациента во избежание смещений, с помощью иммобилизирующих приспособлений, и точности подведения пучка ионизирующего излучения на мишень. Кроме того, необходим визуальный контроль и слуховой контакт с пациентом непосредственно во время сеанса.



Рис.43 Фиксирующие приспособления в лучевой терапии.

Кроме того, органы человека, а с ними и опухоль, в процессе жизнедеятельности смещаются, в связи изменением веса больного, наполнение соседних органов, проблемы укладки больного под аппарат. В связи с чем, необходим ежедневный контроль положения опухоли, при выявленном смещении, проводится коррекция положения. Современные линейные ускорители позволяют провести текущий контроль положения опухоли непосредственно перед сеансом облучения, за минимально короткий промежуток времени. В результате точность подведения излучения на опухоль повышается, что в свою очередь увеличивает эффективность лечения и снижает риск осложнений.

Контрольные вопросы:

1. Каковы основные показания к лучевой терапии?
2. Перечислите абсолютные противопоказания к лучевой терапии.
3. Какие цели преследует предоперационная лучевая терапия?
4. Назовите основные составляющие предлучевого периода.
5. Что такое клиническая топометрия?
6. Что подразумевает планирование лучевой терапии?
7. Какие основные условия нужно соблюдать во время лучевого периода?

Вопросы тестового контроля:

1. Что такое сочетанная лучевая терапия:

- 1) одновременное или последовательное использование дистанционной и контактной лучевой терапии для лечения одной опухоли
- 2) одновременное лечение опухоли и сопутствующих заболеваний
- 3) одновременное лечение опухоли и купирование лучевых реакций
- 4) последовательное использование лучевого и хирургического методов для лечения одной опухоли

2. Что такое комбинированное лечение:

- 1) одновременное или последовательное использование дистанционной и контактной лучевой терапии для лечения одной опухоли
- 2) последовательное использование лучевого и хирургического методов для лечения одной опухоли
- 3) одновременное или последовательное использование лучевого и химиотерапевтического методов для лечения одной опухоли
- 4) одновременное лечение опухоли и сопутствующих заболеваний

3. Что такое комплексное лечение:

- 1) одновременное или последовательное использование дистанционной и контактной лучевой терапии для лечения одной опухоли
- 2) одновременное или последовательное использование лучевой терапии и химиотерапии для лечения одной опухоли
- 3) последовательное использование хирургического лечения и лучевой терапии
- 4) одновременное лечение опухоли и сопутствующих заболеваний

4. Какую цель преследует радикальное лечение:

- 1) ограничение роста опухоли
- 2) полное уничтожение опухоли
- 3) купирование симптомов заболевания
- 4) продление жизни больного

5. Какую цель преследует паллиативное лечение:

- 1) профилактика осложнений
- 2) полное уничтожение опухоли
- 3) купирование симптомов заболевания
- 4) продление жизни больного

6. Какую цель преследует симптоматическое лечение:

- 1) ограничение роста опухоли
- 2) полное уничтожение опухоли
- 3) купирование симптомов заболевания

4) продление жизни больного

7. Лучевая терапия с последующим хирургическим лечением

называется:

- а) комплексным лечением;
- б) комбинированным лечением;
- в) сочетанным лечением;
- г) взаимным лечением

8. Оптимальной суммарной очаговой дозой (СОД) при проведении предоперационной лучевой терапии является:

- а) 10-15 Гр
- б) 20-30 Гр
- в) 40-50 Гр
- г) 60-70 Гр

9. Оптимальными сроками начала послеоперационного курса лучевой терапии является:

- а) 1-2 недели после операции
- б) 4-6 недель после операции
- в) 6-8 недель послеоперации
- г) срок начала лучевой терапии не имеет значения

10. При проведении дистанционной лучевой терапии радикальным курсом, перерывы в лечении:

- а) рекомендованы
- б) нежелательны
- в) обязательны у пожилых пациентов
- г) обязательны у молодых пациентов

11. Использование химиотерапевтической радиомодификации, при проведении курса дистанционной лучевой терапии:

- а) противопоказано
- б) целесообразно
- в) целесообразно у молодых пациентов
- г) не целесообразно у молодых пациентов

12. Стандартное положение пациента при проведении лучевого лечения:

- а) лежа на спине с руками вдоль туловища
- б) лежа на животе с приведенными руками
- в) лежа на спине с приведенными руками
- г) лежа на животе с руками скрещенными на груди

Тема 4. Лучевые реакции и осложнения.

Значение темы:

При лучевой терапии злокачественных опухолей могут возникнуть общая лучевая реакция, функциональные и органические изменения органов и тканей в зоне облучения. Они могут наблюдаться как в лучевом периоде, так и в течение более или менее длительного срока в послелучевом периоде. Изучение патогенеза развития лучевых реакций позволяет не только прогнозировать возможные осложнения после проведения лучевой терапии, но и своевременно их диагностировать и эффективно лечить. Полученные знания необходимы при обучении на клинических кафедрах, а также будут востребованы при прохождении цикла по лучевой терапии при кафедре онкологии с курсом лучевой диагностики и лучевой терапии. Каждый лучевой терапевт должен понимать этиологию и патогенез лучевых реакций и осложнений, для планирования адекватного лучевого лечения, эффективной профилактики и лечения лучевых реакций.

Цель занятия: ознакомить студентов с основными видами лучевых реакций, симптомами, сроками их развития.

Учебные задачи:

1. знать виды лучевых реакций в зависимости от сроков их развития, локализации.
2. знать критические толерантные дозы со стороны здоровых органов при назначении лучевой терапии.
3. знать принципы профилактики и лечения лучевых осложнений.

Вопросы программы для контроля знаний:

1. Основные виды лучевых реакций и осложнений.
2. Ранние и поздние лучевые осложнения.
3. Лучевые осложнения со стороны ЦНС, сердечно-сосудистой и дыхательной систем.
4. Особенности течения постлучевых осложнений у детей.

Лучевые реакции и повреждения – патологические изменения, возникающие в результате воздействия ионизирующей радиации при проведении лучевой терапии в ходе лечения онкологических заболеваний. Могут быть общими и местными, легкими и тяжелыми, острыми или отдаленными. Они могут наблюдаться как в лучевом периоде, так и в течение более или менее

длительного срока в послелучевом периоде. Возникновение и степень этих изменений зависят от индивидуальной радиочувствительности пациента, энергии излучения источника лучевой терапии (рентгеновское, -бета, -гамма, - тормозное излучение и быстрые электроны), методики лучевой терапии (количество, размеры, расположение полей, величина разовой и суммарной доз, ритм облучения), особенности распределения ее в облучаемом объеме, величины этого объема, продолжительности периода после лучевой терапии и др.

В практике различают *местные лучевые реакции и повреждения* – развитие изменений в зоне облучения. *Лучевыми реакциями* называют такие изменения в тканях, которые проходят в течение 2- 4 недель после облучения. К *лучевым повреждениям* относят функциональные и органические изменения органов и тканей, которые требуют специального лечения и могут быть ранними и поздними. К *ранним местным* относят лучевые повреждения, развивающиеся в процессе лучевой терапии или в ближайшие 3 мес (100 дней) –это крайний срок восстановления сублетально поврежденных клеток. *Поздними* считают местные лучевые повреждения, развившиеся после указанного срока, часто через много лет.

Ранние осложнения бывают **общими и местными**. Облучение живота и таза сопровождается желудочно-кишечными нарушениями: тошнотой, рвотой, дисфагией, поносом. Выраженное угнетение кроветворения с лейкопенией, тромбоцитопенией и анемией обычно наблюдается лишь при облучении значительного объема костного мозга, но небольшое угнетение функции костного мозга встречается достаточно часто. Сердечно-сосудистая система также реагирует на облучение: нередко перепады артериального давления, тахикардия; с стороны нервной системы возможны различные реакции– утомляемость, сонливость или бессонница, раздражительность или апатия.

Местные реакции наблюдаются в области полей облучения, со стороны кожи (радиоэпидермиты) или слизистых (радиоэпителииты). Различают 4 степени местных лучевых реакций (см. таблицу 7).

Классификация лучевых повреждений (по М.С.Бардычеву) ранние лучевые повреждения

Орган, ткань	I степень	II степень	III степень	IV степень
Кожа	Очаговая слабовыраженная эритема, эпиляция, сухое шелушение, пониженная потливость	Яркая эритема, очаговое влажное шелушение, умеренный отек	Сливной влажный эпидермит	Некроз
Слизистая оболочка	Гиперемия, слабые боли (нет необходимости в назначении анальгетиков)	Серозно-геморрагический отек, умеренные боли (требуются анальгетики)	Выраженный серозно-геморрагический отек, нужны наркотики.	Изъязвление, некроз, кровотечение

Рис.44 Классификация ранних лучевых осложнений со стороны кожи и слизистых.

Развитие лучевых реакций I степени на коже и слизистых встречается у подавляющего числа больных, особенно при длительных курсах облучения. При появлении кожной эритемы в зоне облучения необходимо смазывать эту область метилурациловой или актовегиновой мазью 2-3 раза в день, исключить трение и травматизацию сдавливающей одеждой ит.д. При необходимости назначаются антибиотики, десенсибилизирующие препараты, инфузионная терапия. При развитии реакции со стороны слизистых тактика действий будет определяться локализацией данных осложнений. Так, при облучении **области головы и шеи** воспаляются слизистые полости рта, носоглотки, ротоглотки; возникает болезненность при глотании, жевании пищи, местно— краснота и эрозии на слизистых. Чтобы избежать этого, нужно рекомендовать больному регулярно ухаживать за полостью рта, полоскать растворами метилурацила, отварами ромашки или шалфея 3-4 раза в день, принимать любое растительное масло по 1 чайной ложке 3-4 раза в день до еды. **Важно: бросить курить**, так как курение усиливает лучевую реакцию на слизистых полости рта, гортани и глотки! Нельзя употреблять сухую, острую, слишком сладкую и горячую пищу; в течение дня можно понемногу принимать прохладные неалкогольные напитки либо леденцы

без сахара или жевательную резинку, чтобы вызвать слюноотделение, предотвращающее сухость полости рта.

При облучении **грудной клетки** (опухоли лёгкого, пищевода, молочной железы, лимфомы средостения) часто развиваются эзофагиты с характерной клиникой изжоги, боли по ходу пищевода при глотании пищи. Для устранения этих явлений нужно избегать горячей, острой, солёной пищи, желательно принимать растительное масло, при необходимости – спазмолитики, средства, защищающие слизистую (альмогель, фосфалюгельдр.)

При облучении **органов брюшной полости и малого таза** (опухоли матки, мочевого пузыря, простаты, прямой кишки, забрюшинных и внутрибрюшинных лимфоузлов и т.д.) наиболее часто возникает воспаление слизистой мочевого пузыря и кишечника. Для предотвращения этого желательно ежедневно употреблять травяные настои (урологические сборы), либо канефрон, препараты из группы пробиотиков и эубиотиков (хилак-форте, линекс, бифиформ и др.), а также применять метилурациловые свечи ректально. Выраженные явления лучевого цистита, ректита, колита могут потребовать более серьёзного лечения, с назначением антибактериальных препаратов и инфузионной терапии.

Если на облучение реагирует кроветворная система, что чаще всего проявляется в снижении уровня лейкоцитов крови по данным последнего анализа крови, то, как правило, назначение небольшой дозы преднизолона (20-30 мг в сутки) коротким курсом полностью ликвидирует эту проблему.

Поздние осложнения возникают по истечении 3 месяцев после окончания лечения, чаще всего – через много месяцев или лет после завершения лучевой терапии. Именно ими определяется максимальная доза облучения. Частота поздних осложнений возрастает по мере приближения к предельным дозам, переносимым нормальными тканями. Поздние осложнения не разрешаются сами по себе, наоборот, они склонны со временем прогрессировать. Их развитие никак не связано с наличием и тяжестью ранних осложнений лучевой терапии. Патогенез, как полагают, связан с разрушением эндотелия или исчерпанием запаса стволовых клеток в здоровых тканях, а также с органическими повреждениями сосудов микроциркуляторного русла.

К поздним лучевым повреждениям относятся:

- кожа: пигментация, атрофия, алопеция, телеангиэктазии, лучевая язва, индуративный отёк, вторичная опухоль
- слизистые: атрофия, телеангиэктазии, изъязвление
- лёгкие: пневмониты, пневмофиброзы
- сердце: перикардиты, миокардиты
- глаза: язвы роговицы, катаракта, глаукома, отслойка сетчатки, слепота

Лучевая терапия оказывает мутагенное, канцерогенное и тератогенное действие. Она сопряжена с повышенным риском вторичных лейкозов и солидных опухолей. Сроки их возникновения наиболее полно прослежены у больных лимфогранулематозом, достигших после лучевой терапии длительной ремиссии. Вторичные лейкозы возникают уже в первые несколько лет, однако средний срок возникновения вторичных солидных опухолей превышает десятилетие. Риск вторичных опухолей у больных лимфогранулематозом зависит от суммарной дозы облучения, применения других методов лечения, возраста и пола. У женщин он выше за счет вторичного рака молочной железы, возникающего после облучения

Постлучевые осложнения со стороны ЦНС:

ЦНС обладает относительно низкой радиочувствительностью, при облучении головного мозга в режиме классического фракционирования острые реакции развиваются редко.

Чаще наблюдаются подострые реакции ЦНС на лучевую терапию. К ним относится симптом Лермитта - внезапное ощущение удара током при сгибании шеи. После облучения головы могут наблюдаться легкая энцефалопатия и очаговые неврологические симптомы. Облучение головного мозга усугубляет побочное действие химиопрепаратов, возможно, за счет повышения проницаемости гематоэнцефалического барьера.

Поздние осложнения лучевой терапии обычно начинают проявляться через 6-36 месяцев после облучения. Их риск и тяжесть зависят от общей дозы и объема облученных тканей. Описаны случаи лейкоэнцефалопатии, развивающейся через 4-12 мес после облучения мозга в сочетании с приемом метотрексата.

Облучение спинного мозга иногда вызывает лучевую миелопатию. Она проявляется прогрессирующей слабостью в ногах, нарушением функций тазовых органов и потерей чувствительности ниже места поражения. Со временем развивается вялый паралич. Симптомы могут появляться через 6 месяцев после облучения, но чаще – через 1-2 года.

Пост лучевые осложнения со стороны сердечно-сосудистой системы:

Облучение большого объема ткани сердца высокими дозами ускоряет развитие ишемической болезни сердца. Однако ИБС – это полиэтиологическая болезнь, и поэтому роль ионизирующего излучения в ее развитии оценить трудно.

Облучение сердца может привести к острому перикардиту, который проявляется за грудиной и гипертермией, иногда обнаруживают перикардальный выпот. Симптомы появляются через несколько месяцев после

облучения и обычно проходят самостоятельно. Чаще всего при лучевом поражении сердца появляется бессимптомный перикардальный выпот, который обнаруживают при рентгенологическом исследовании грудной клетки или Эхо-КГ. Лучевой констриктивный перикардит обычно развивается после облучения большого объема ткани сердца в дозе более 40Гр. Риск констриктивного перикардита значительно увеличивается при дозе облучения сердца больше 50Гр. Хроническое лучевое поражение сердца может развиваться через 6 месяцев, а иногда через несколько лет после облучения сердца. Клинические проявления (одышка, боль в груди, набухание шейных вен, плевральный выпот, парадоксальный пульс) – следствие панкардита и фиброза всех оболочек сердца (перикарда, миокарда и эндокарда).

Постлучевые осложнения со стороны легких

Лучевой пневмонит возникает через 3-6 нед после облучения большого участка легкого в дозе выше 25 Гр. На ранней стадии могут наблюдаться одышка, кашель и лихорадка. Иногда лучевой пневмонит протекает бессимптомно и выявляется только при рентгенологическом исследовании грудной клетки. На рентгенограмме обнаруживают затемнение, соответствующее границам поля облучения.

Отличить лучевой пневмонит от поражения легких иной этиологии можно при помощи КТ. Риск лучевого пневмонита можно снизить при рациональном планировании курса лучевой терапии и уменьшении общей дозы облучения. Облучение большого объема легочной ткани высокими дозами может привести к развитию пневмосклероза и дыхательной недостаточности.

Глюкокортикоиды оказывают быстрый эффект на ранней стадии лучевого пневмонита, особенно при гипоксемии, но практически бесполезны при развитии пневмосклероза. Снижать их дозу следует очень осторожно, чтобы избежать обострения пневмонита (такое обострение иногда бывает смертельным). Профилактическое назначение глюкокортикоидов вряд ли целесообразно. Также назначаются антибиотики, инфузионная терапия, радиопротекторы (актовегин), витамины группы А и Е.

Постлучевые осложнения со стороны ЖКТ

Отделы желудочно-кишечного тракта различаются по радиочувствительности. Облучение часто вызывает боль в эпигастрии, потерю аппетита, тошноту и рвоту, напоминающие острый гастрит. Фракционированное облучение по достижении суммарной дозы 15-20Гр часто приводит к снижению кислотности желудочного содержимого. Чувствительность желудка к

облучению повышается при внутривенном введении противоопухолевых препаратов, например фторурацила.

Острый лучевой энтерит проявляется тошнотой, рвотой, поносом и болью в животе. Понос связан с нарушением всасывания и дисбактериозом. Тяжесть поражения зависит от дозы и объема облученных тканей. Хронический лучевой энтерит проявляется поносом, болью в животе, тошнотой, рвотой, нарушением всасывания, иногда возникает кишечная непроходимость. Кроме того, при хроническом лучевом энтерите возможны образование спаек, перфорация кишки, формирование кишечных свищей и стеноз облученной части кишки.

Большая часть симптомов хронического лучевого энтерита появляется в срок от 6 месяцев до 5 лет после завершения лучевой терапии.

Консервативное лечение обычно устраняет симптомы лучевого энтерита. Помогает бесшлаковая или элементная диета. Если консервативное лечение безуспешно, нередко приходится прибегать к операции.

Постлучевые осложнения со стороны мочевого пузыря

Симптомы лучевого цистита обычно появляются через 3-6 недель после начала лучевой терапии и исчезают через 3-4 недели после ее окончания. Обычно больные жалуются на частое болезненное мочеиспускание. При цистоскопии обнаруживают диффузные изменения слизистой, напоминающие острый цистит, а иногда - эрозии и язвы. В отсутствие инфекции проводят симптоматическое лечение. Острый лучевой цистит протекает тяжелее на фоне лечения противоопухолевыми препаратами, например циклофосфамидом.

Поздние проявления лучевого поражения мочевого пузыря при высоких дозах облучения – интерстициальный фиброз, телеангиэктазии и изъязвление. Расширенные сосуды легко разрываются, приводя к безболевым гематуриям. Эти изменения часто принимают за рецидив или прогрессирование опухоли.

Особенности течения постлучевых осложнений у детей.

Успехи в лечении опухолей у детей в последние годы и длительный период наблюдения за влиянием лечения на рост и развитие выявили некоторые особенности.

Отдаленный эффект радиации на развитие скелетной и мышечной ткани у детей существенно отличается от таковых у взрослых и проявляется более заметно. В то же время репаративные способности некоторых органов и тканей у детей могут быть большими, чем у взрослых.

В связи со значительными достижениями в лечении детей со злокачественными заболеваниями, большинство этих детей, излечившись от опухолей, пополняют взрослую популяцию. Поэтому в настоящее время серьезное внимание уделяется исследованию отдаленных последствий лечения и качеству

жизни этих больных. Сегодня проводятся исследования, выявляющие связь между конкретными лечебными агентами и последствиями, возникающими вследствие их применения. Для этого в США создана специальная группа по изучению поздних осложнений противоопухолевого лечения (Late Effects Study Group). В наблюдении за излечившимися детьми должны принимать участие не только детские онкологи, но и специалисты других профилей (эндокринологи, хирурги-ортопеды, офтальмологи, невропатологии другие).

Одним из наиболее важных и заметных осложнений лечения является задержка роста и развития ребенка, что может быть следствием прямого и непрямого воздействия лучевой терапии. Прямое воздействие радиации возникает при локальном облучении: укорочение роста при облучении тел позвонков (кранио-спинальное облучение при опухолях мозга), длинных трубчатых костей, при вовлечении в облучение зон роста. Задержка роста может быть следствием непрямого воздействия на растущие ткани через нарушение гормональной регуляции вследствие облучения гипоталамо-гипофизарной области (снижение продукции соматотропного гормона) и области щитовидной железы (снижение продукции тиреотропного гормона). Гипоталамическая дисфункция может также проявляться либо в ускоренном, либо замедленном половом развитии. Краниальное облучение в дозе 18 Гр у некоторых больных уже может вызывать гормональные дисфункции. Факторами, определяющими степень задержки роста, являются доза

облучения (зависимость прямо пропорциональна) и возраст ребенка в момент проведения лучевой терапии (зависимость обратно пропорциональна).

Задержка интеллектуального развития является следствием облучения головного мозга ребенка в высоких дозах, причем, чем моложе ребенок, тем серьезнее последствия облучения. Поэтому общепринятой практикой во всех центрах детской онкологии является наличие возрастных ограничений при необходимости краниального облучения: дети до 2-х с лейкозами получают меньшие дозы ЛТ, а дети с опухолями головного мозга и младше 3-х лет не облучаются вообще.

Следствием локального облучения может быть асимметрия лица при облучении орбиты (при рабдомиосаркоме), асимметрия развития мягких тканей брюшной стенки и позвоночника при облучении половины живота при опухоли Вилмса, недоразвитие мягких тканей и костей плечевого пояса после облучения шеи высокими дозами при лимфогранулематозе, утолщение корней зубов и аномальное их развитие (вплоть до остановки роста) после облучения челюстей. Асептический некроз бедра может быть следствием облучения этой кости при саркоме Юинга.

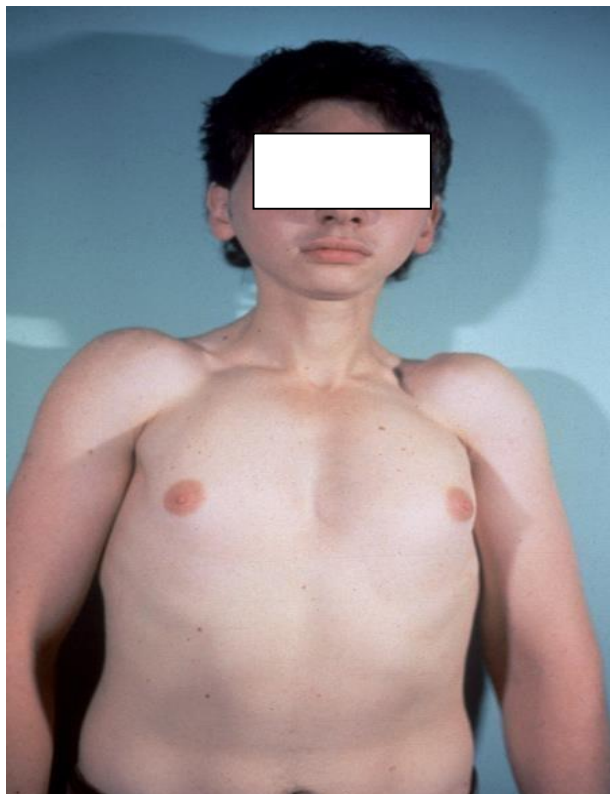
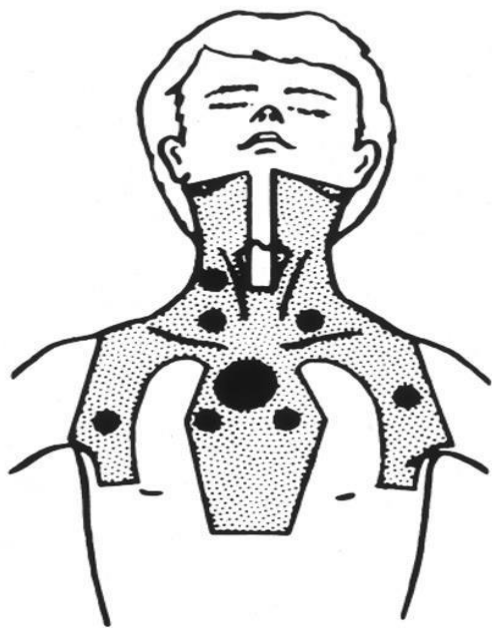


Рис.45 Пример поздних лучевых осложнений у детей.

Прямым следствием лучевой терапии может быть лучевая катаракта, часто возникающая после краниального облучения у детей младше 2-х лет (в силу анатомических особенностей у них труднее экранировать хрусталик). Лучевая катаракта также - типичное осложнение после тотального облучения тела.

Органические поражения ЦНС (лейкоэнцефалопатия синтракраниальными кальцификатами) могут возникать после повторных краниальных облучений в сочетании синтракраниальными введениями метотрексата. Даже при отсутствии грубых органических поражений ЦНС у ряда больных могут возникать неврологические осложнения после краниального облучения (психологические последствия, трудности в учебе). В связи с этими возможными осложнениями в настоящее время наблюдается тенденция к избеганию краниального облучения и, замене его интратекальными введениями мицитостатиков. По-видимому, в недалеком будущем в краниальном облучении будет нуждаться не более 10% детей с Т-клеточными лейкомиями из группы очень высокого риска.

Функция половых желез и фертильность-следующая проблема, возникающая у излеченных от злокачественной опухоли. Прямым следствием лучевой терапии может быть снижение фертильности или даже стерильность после облучения половых желез как у мальчиков (облучение яичек притестикулярном рецидиве ОЛЛ) так и у девочек (облучение таза). Помимо ситуаций, возникающих после хирургического удаления половых желез

(орхектомия, овариэктомия), последствий лучевой терапии, применение ряда химиотерапевтических агентов могут влечь за собой возникновение стерильности. Например, хорошо известно, что при лечении лимфогранулематоза с использованием схемы МОРР, куда входят мустаргенинатулан, после 6 курсов химиотерапии у мальчиков в 100% случаев развивается стерильность. Главными "виновниками" возникновения стерильности считаются алкилирующие агенты и натулан (прокарбазин). В тоже время применение натулана в лечении болезни Ходжкина у девочек не оказывает никакого отрицательного влияния на функцию яичников. Интересно, что проявление вторичных половых признаков у мальчиков не страдает, поскольку клетки Лейдига, ответственные за вторичные половые признаки, оказались химиорезистентными, а в ходе химиотерапии страдает, главным образом, герминогенный эпителий.

Аллопеция, возникающая после ЛТ, носит локальный характер, ограниченная полем облучения, и, как правило, обратима.

Местные лучевые реакции

Эритема – собственно реакция облучаемой кожи или слизистой оболочки. Сроки ее появления неодинаковы в зависимости от применяемого источника излучения.

На коже в области поля облучения интенсивность эритемы усиливается с каждым последующим сеансом. Появление яркой эритемы требует прекращения облучения независимо от того, выполнен или нет план лечения.

Если облучение прекращено, то в области эритемы появляется пигментация и через несколько дней начинается шелушение.

Сухой эпидермит – через 17-20 дней после последнего сеанса облучения начинается эпиляция в зонах роста волос. Шелушение длится 5-6 недель, после этого кожа принимает обычный нормальный вид.

Если лечение не прекращено в стадии сухого эпидермита, то развивается мокнущий (экссудативный) эпидермит.



Рис.46 Лучевые реакции и повреждения кожи

Радиоэпителиит – реакция слизистой оболочки, проявляется усилением интенсивности окраски с последующим образованием маленьких белесоватых точек. Облучение следует прекратить. В течение последующих дней реакция усиливается, отдельные точки сливаются в белесоватую поверхность. Через 5-6 недель слизистая оболочка принимает обычный вид.

Мокнущий (экссудативный) эпидермит – более глубокое повреждение кожи, чем при сухом эпидермите. Больной жалуется на зуд, иногда жжение или болезненность кожи в зоне облучения. При осмотре кожа отечная, синюшная, видны маленькие пузырьки.

После прекращения облучения в течение последующих 10-12 дней процесс продолжает развиваться. Отдельные пузырьки сливаются, целостность эпидермиса нарушается, образуется общая мокнущая поверхность. Затем она подсыхает в корки желтого цвета, под которыми начинается постепенная эпителизация. Процесс длится в течение 10-12 недель и сопровождается болью и жжением. Заканчивается мокнущий эпидермит атрофией кожи и стойким облысением.

В результате нарушения трофики в отдаленные сроки могут развиваться лучевые язвы, поэтому реакция в виде мокнущего эпидермита недопустима.

Лучевые повреждения развиваются в различные сроки после окончания лучевой терапии: 5-6 месяцев до нескольких лет. Время их появления и степень выраженности зависит от степени изменений, возникающих во время проведения курса лучевого лечения.

Атрофия кожи – проявляется истонченностью, мраморностью (участки депигментации чередуются с гиперпигментированными), широкой сетью телеангиэктазий. Подлежащие ткани не изменены.

Индуративный отек – помимо атрофии кожи определяется уплотнение подлежащих тканей, нарушение их трофики и уплотнение за счет склерозирования.

Через неопределенные промежутки времени в области индуративного отека образуются **лучевые язвы**. Течение лучевых язв длительное, тенденция к заживлению почти полностью отсутствует, применение различных медикаментозных средств малоэффективно. Повторные курсы лучевой терапии опасны из-за образования **лучевых некрозов**.

Наиболее радикальным средством лечения считается иссечение язвы в пределах здоровых тканей и замещение кожным лоскутом.

Через 4-12 лет после лечения можно наблюдать лучевые повреждения дистрофического характера в костях и внутренних органах (участки склероза, спаечные процессы, свищи, остеопороз костей переходящий в остеонекроз (ребра, ключицы, кости плечевого пояса, кости таза, бедренные кости) и образование патологических переломов).

Уменьшить количество лучевых реакций и повреждений помогает индивидуальный подбор дозных полей, выбор наиболее рациональных параметров облучения для максимального щажения здоровых тканей.

Профилактика и лечение лучевых реакций и осложнений:

В связи с созданием новых технических устройств, совершенствованием методик облучения лучевые повреждения теперь редко достигают тяжелой степени, но они должны постоянно учитываться врачом с целью их предупреждения и смягчения.

Современные требования международной комиссии по радиологической защите: «Применение ионизирующих излучений в медицине возможно только тогда, когда ожидаемый риск, возникающий при воздействии радиации, будет заведомо меньше, чем ожидаемый эффект»

Лучшей профилактикой осложнений являются совершенствование методов облучения с использованием современной клинической дозиметрии, применение способов, обеспечивающих концентрацию дозы в области опухоли, с резким снижением ее в окружающих здоровых тканях.

Местные лучевые реакции и осложнения являются проявлением общего заболевания, а поэтому нуждаются в комплексной терапии, повышающей защитные силы организма, его гистоиммунные реакции и репаративные процессы. Показания к лучевой терапии больных со злокачественными опухолями расширяются за счет расширения ее возможностей при сочетании с другими способами облучения, особенно с методами физического воздействия, химиотерапией, хирургией.

Несмотря на прогресс, при лучевой терапии остается еще много задач по усовершенствованию способов избирательного воздействия на радиочувствительность опухолевых и нормальных тканей, что способствовало бы улучшению переносимости лучевого лечения и качества жизни.

Контрольные вопросы:

1. Дайте классификацию лучевых осложнений.
2. Классифицируйте ранние местные лучевые осложнения по степени их выраженности. Как с ними бороться?
3. Каковы наиболее грозные поздние лучевые осложнения возможны со стороны кожи?
4. Перечислите возможные поздние лучевые повреждения внутренних органов.

Вопросы тестового контроля:

1. В чем проявляется местная лучевая реакция:

- 1) уменьшение гемопозза
- 2) снижение артериального давления
- 3) воспалительная реакция со стороны облученных тканей
- 4) снижение иммунитета

2. При острой лучевой болезни клинические изменения обязательно имеют место в:

- 1) центральной нервной системе
- 2) сердечно-сосудистой системе
- 3) системе органов кроветворения
- 4) пищеварительной системе
- 5) иммунной системе

3. Клиническим симптомом, наиболее рано возникающим при острой лучевой болезни, является:

- 1) тошнота и рвота
- 2) лейкопения
- 3) эритема кожи
- 4) выпадение волос
- 5) жидкий стул

4. Наиболее частой ранней лучевой реакцией при проведении лучевой терапии по поводу рака молочной железы является:

- а) алопеция
- б) кожная эритема
- в) пульмонит
- г) фиброз

5. Наилучшим методом профилактики лучевого пульмонита является:

- а) использование индивидуальных термопластических масок
- б) использование систем контроля дыхания (гейтинг)
- в) мазевые аппликации на кожу в зоне облучения
- г) диета

6. Наиболее частыми лучевыми реакциями при проведении пролонгированного предоперационного курса химиолучевой терапии рака прямой кишки являются:

- а) кожная эритема
- б) лучевой цистит
- в) лучевой ректит
- г) все перечисленное

7. Наиболее эффективным методом купирования лучевого цистита при проведении пролонгированного предоперационного курса химиолучевой терапии рака прямой кишки являются:

- а) диета
- б) мочегонные и уросептические препараты
- в) НПВС и спазмолитики
- г) все перечисленное

8. Для купирования диареи, связанной с проведением дистанционной лучевой терапии по поводу рака простаты применяются:

- а) диета
- б) противодиарейные средства
- в) глюкокортикоиды (в том числе ректально)
- г) все перечисленное

9. Из перечисленных методов лечения рака простаты, к развитию импотенции у пациента реже всего приводит использование:

- а) брахитерапии
- б) дистанционной лучевой терапии
- в) радикальной простатэктомии с сохранением нервных стволов
- г) криохирургии

10. Наиболее частыми отсроченными лучевыми реакциями, при проведении радикального курса дистанционной лучевой терапии по поводу рака мочевого пузыря, являются:

- а) дизурия
- б) итермиттирующая гематурия
- в) все перечисленное
- г) ничего из перечисленного

11. Наиболее эффективными препаратами для лечения лучевого плевмонита являются:

- а) преднизолон и антибиотики
- б) витамины и микроэлементы
- в) мазевые аппликации
- г) НПВС

12. Наиболее частые острые лучевые реакции при проведении радикального курса конформной дистанционной лучевой терапии по поводу немелкоклеточного рака легкого:

- а) эзофагит
- б) дерматит
- в) кашель
- г) все перечисленное.

Заключение

Учебное пособие «Основы лучевой терапии» посвящено актуальным вопросам лучевой терапии: содержит историю развития, теоретические и клинические аспекты лучевой терапии, основы клинической дозиметрии, принципы и методы лучевой терапии, биологическое действие ионизирующих излучений, лучевые реакции и повреждения, лучевую терапию опухолевых и неопухолевых заболеваний.

Лучевая терапия в современной онкологии является одним из основных методов лечения пациентов ЗНО. Согласно данным ВОЗ, более 70% пациентов нуждаются в проведении лучевой терапии. Метод применяется как в самостоятельном режиме проведения, так и в составе комплексного и комбинированного лечения.

Лучевая терапия является важнейшим радикальным методом лечения злокачественных опухолей, таких как рак кожи, опухоли головы и шеи, рак шейки матки и др. Применение радиотерапии в сочетании с оперативным лечением, химиотерапией, способствует значительному повышению эффективности результатов лечения злокачественных опухолей, увеличению выживаемости пациентов, улучшению качества жизни.

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. Несомненно, это зависит от уровня квалификации медицинского персонала, проводящего лучевую терапию, знания основ и тонкостей лучевой терапии, а также отточенных до автоматизма практических навыков.

Данное пособие содержит базовую информацию, необходимую при подготовке специалистов по лучевой диагностике. Кроме того, в пособии представлены обзорные данные о видах ионизирующих излучений, физических и радиобиологических основах, методах проведения лучевой терапии, раскрыты факторы, влияющие на эффективность лучевого лечения, основные правила радиотерапии. Разъяснены основные классификации постлучевых реакций и осложнений, а также методы их профилактики, особенности ухода за пациентами находящимися на этапе проведения лучевой терапии.

Пособие хорошо иллюстрировано, материал изложен доступным языком, содержит вопросы тестового контроля для закрепления полученных знаний. Имеется список рекомендуемых литературных источников для изучения основ лучевой терапии.

Таким образом, настоящее учебное пособие является необходимым как для самостоятельной работы, так и для работы на практических занятиях при подготовке медицинских специалистов по дисциплине лучевая терапия.

Рекомендуемая литература:

1. Терапевтическая радиология. Национальное руководство. Под ред. Каприна А.Д. Мардынского Ю.С. Издательская группа «ГЭОТАР-Медиа» 2018г.
2. Стандарты лучевой терапии. Под ред. Каприна А.Д., Костина А.А., Хмелевского Е.В. Издательская группа «ГЭОТАР-Медиа» 2019г.
3. Лучевая терапия в онкология. Эрик К.Хансен, МэкРоач З. Издательская группа «ГЭОТАР-Медиа» 2014г.
4. Стариков В.И. Общая онкология. Учебное пособие. – 82с. Харьков. 2019г
5. Международная классификация болезней – онкология. 3 издание 1 пересмотр. Всемирная организация здравоохранения. -2017. – 352с.
6. А.В. Чижиков, С.Н. Васильев, В.В. Аксенов Методические рекомендации для ординаторов по проведению практических занятий по дисциплине «Онкология» Ханты- Мансийск, 2015г. -141с.
8. Лучевая терапия злокачественных опухолей М. Мед. 1996г. Киселева Е.С.
9. Терапевтическая радиология. Руководство для врачей под редакцией А.Ф. Цыба, Ю.С. Мардынского. 2010г.
10. Основы лучевой терапии злокачественных новообразований. Учебно-методическое пособие для врачей и студентов. Н.В.Деньгина, В. В. Родионов. 2013г.
11. Radiotherapy in cancer care: facing the global challenge edited by: E. Rosenblatt e. Zubizarreta international atomic energy agency. Vienna, 2017/ - p/578
12. Radiation Therapy and You: Support for People with Cancer // [National CancerInstitute](https://www.nationalcancerinstitute.gov). 1-800-4-CANCER (1-800-422-6237)
13. A Guide to Radiation Therapy//Last Medical Review: June 30, 2015 Last Revised: June 30, 2015
14. Radiation Therapy for Cervical Cancer: Executive Summary of an ASTRO Clinical Practice Guideline // Clinical Practice Guidelines // Practical Radiation Oncology® (2020) 10, 220-234
15. My radiotherapy book. Information to help you understand the treatment // Edition 1: January 2016
16. Freislederer et al. Radiation Oncology (2020) 15:187 <https://doi.org/10.1186/s13014-020-01629-w>
17. Treatment by Cancer Type. NCCN Clinical Practice Guidelines in Oncology (NCCN Guidelines®) are posted with the latest update date and version number.
18. -2021
19. Детская онкология национальное руководство под ред. Алиева М.Д., Полякова В.Г., Менткевича Г.Л. издательская группа РОНЦ Москва 2012г.
20. Онкология. Клинические рекомендации. 2007. Под редакцией В.И. Чиссова, С.Л. Дарьяловой.
21. Практическая онкология: избранные лекции. Санкт-Петербург 2004г. под редакцией С.А.Тюляндина, В.М. Моисеенко.
22. Лучевая анатомия человека. Руководство для врачей под редакцией Т.Н.

- Трофимофвой. Санкт-Петербург. 2005г.
23. Автоматизированная лучевая терапия рака органов женской половой системы. Титова В.А., Харченко Н.В. Столярова И.В. Москва 2006г.
 24. Лучевая терапия в онкогинекологии и онкоурологии. Санкт-Петербург
 25. «Фолиант» 2002г. Гранов А.М., Винокуров В.Л.
 26. Медицинская физика. Москва «Медицина» 2008г. под ред. Костылева В.А. Наркевич Б.Я.
 27. Основы клинической радиобиологии под ред. Джойнера М.С., Ван дер Когеля О.Дж.
 28. Избранные лекции по клинической онкологии. М. Медицина 2000г. Богданова Н.В.
 29. Лучевая терапия в лечении рака // Chapman. Hallmidikal. 2000г.
 30. Лучевая диагностика и лучевая терапия. Челябинск. «Иероглиф» Важенин А.В., Воронин М.И. Ваганов Н.В. и др.
 31. Клиническая онкология. Минск – Беларусь 2003г. Фрадкин С.З. Залуцкий И.В. Аверкин Ю.И. и др.
 32. Местные лучевые повреждения. М.: Медицина 1985г. Бардычев М.С., Цыб А.Ф.
 33. Алгоритмы объемов диагностики и лечения злокачественных новообразований. Москва 2002г. Чиссов В.И.
 34. Радиационная защита при медицинском облучении. Тарутин И.Г. Минск 2005г.
 35. Контроль качества в лучевой терапии и лучевой диагностики. Сборник нормативных документов. Минск 2009г.

Шаназаров Н.А., Налгиева Ф.Х.

Основы лучевой терапии
(Учебное пособие)

Отпечатано с материалов заказчика

Типография

Адрес: г

Контакты:

Фотопечать
Бумага офсетная
Тираж 10 экз.



Шаназаров Насрулла Абдулаевич - доктор медицинских наук, профессор, заместитель директора по стратегическому развитию, науке и образованию больницы МЦ УДП РК, руководитель центра фотодинамической терапии, профессор кафедры лучевой диагностики им. академика Хамзабаева Ж.Х. «Медицинский университет Астана»



Налгиева Фатима Хамзатовна – кандидат медицинских наук, врач радиолог высшей категории, руководитель высокотехнологичного центра радиационной онкологии ГКП на ПХВ «ММЦ» г.Нур-Султан, Национальный научный онкологический центр.