

## Тема 4. Методы лучевой терапии

### Контрольные вопросы

1. Дать определение и основную характеристику контактных методов лучевой терапии.
2. Перечислить основные методы контактной лучевой терапии
3. Дать определение внутриполостных методов лучевой терапии
4. Перечислить виды внутриполостной  $\gamma$  терапии.
5. Дать определение и описать внутриполостную  $\gamma$  терапию по методике afterloading.
6. Дать понятие о внутриполостной  $\beta$  терапии, показания.
7. Дать понятие внутритканевой лучевой терапии, показания.
8. Описать метод внутритканевой  $\gamma$  терапии с использованием радиоактивных игл.
9. Внутритканевая  $\gamma$  терапия гранулами.
10. Внутритканевая  $\gamma$  терапия путём последовательного введения источников (afterloading).
11. Внутритканевая  $\beta$  терапия
12. Радиохирургический способ лечения опухолей, дать определение, описание.
13. Дать понятие и описание аппликационного метода лучевой терапии, аппликационная  $\gamma$  и  $\beta$  терапия.
14. Близкофокусная рентгентерапия.
15. Метод избирательного накопления изотопов в тканях.
16. Дать понятие дистанционной лучевой терапии.
17. Статическая  $\gamma$  терапия.
18. Дистанционная  $\gamma$  терапия через свинцовую решетку.
19. Дистанционная  $\gamma$  терапия через свинцовый клиновидный фильтр.
20. Дистанционная  $\gamma$  терапия через свинцовую экранирующую диафрагму.
21. Дать характеристику подвижных методов дистанционной  $\gamma$  терапии
22. Ротационная  $\gamma$  терапия.
23. Секторная  $\gamma$  терапия, особенности планирования терапии.
24. Тангенциальное или эксцентрическое секторное облучение.
25. Терапия тормозным излучением высокой энергии.
26. Терапия быстрыми электронами высокой энергии.
27. Лучевая терапия тяжёлыми частицами.
28. Глубокая рентгентерапия.

## **4.1. Контактные методы лучевой терапии**

Лучевая терапия может проводиться при нахождении источника ионизирующего излучения вне тела человека и в этом случае она называется дистанционной, или внутри тела, в таком случае лучевая терапия называется контактной. К контактным относятся следующие методы облучения:

- внутриполостной;
- интратканевой;
- радиохирургический;
- аппликационный;
- избирательного накопления изотопов;
- близкофокусная рентгентерапия.

Контактные методы характеризуются резким падением величины дозы на ближайшем от источника облучения расстоянии. Поэтому объём облучаемых тканей не может превышать 1,5-2,0 см. Это обстоятельство заставляет сочетать этот метод с дистанционными способами облучения.

### **4.1.1. Внутриполостные методы облучения.**

При ряде злокачественных новообразований (рак прямой кишки, рак шейки матки, рак эндометрия и других полостных органов) источник излучения можно подвести непосредственно в полость органа. Такой метод принято называть внутриполостным. Он может быть применён как самостоятельно, так и в сочетании с дистанционным облучением или оперативным методом лечения. Самостоятельно внутриполостной метод применяют для лечения опухолей, которые не проникают за пределы слизистой оболочки и обладают небольшими размерами (0,5-1,0 см). Возможно использование  $\beta$  или  $\gamma$  излучения для внутриполостного облучения.

**4.1.1.1. Внутриполостная  $\gamma$  терапия.** Для внутриполостной  $\gamma$  терапии применяются изотопы радия –226, кобальт –60, цезий –137.

Внутриполостная  $\gamma$  терапия может проводиться линейными, объёмными источниками, или по принципу последовательного введения аппликаторов и источников.

Линейный источник представляет собой цилиндр, изготовленный из изотопа, или нитки шаровидных бус, размещённых в одну линию. С целью уменьшения нагрузки на поверхность, источник должен на 0,5-2,0 см отстоять от поверхности. Это достигается путём расположения источника в резиновом зонде, вокруг которого расположен раздутый баллон с воздухом. Общая активность источника-1,8-2,0х10<sup>10</sup>Бк. Дозировка производится путём использования фильтра, меняя расстояние источник – слизистая, изменяя время экспозиции. К положительным характеристикам метода относится быстрое падение величины дозы в направлении к оси

источника. Доза и мощность излучения рассчитываются математически. При помощи специальных таблиц.

Внутриполостная  $\gamma$  терапия объёмными источниками обладает более гомогенной характеристикой создаваемого дозного поля. В качестве источника излучения может применяться макросуспензия или взвесь радиоактивных бус  $\text{Co}-60$ . Бусы изготавливаются из  $\text{Co}-60$  и затем гальванически покрываются никелем или золотом. Покрытие поглощает  $\beta$  излучение.

Орган катетеризуется, после чего длинным пинцетом из контейнера достаётся бусинка на нитке. Бусинка вводится в полость органа индуктором, после чего нитка фиксируется к коже больного лейкопластырем. Больной помещается в «активную» палату. После истечения срока облучения бусинка вынимается потягиванием за нитку, после чего изотоп помещается обратно в контейнер. Расчёт дозы производится по специальным таблицам. Этот метод позволяет сконцентрировать высокую дозу на расстоянии 1-2 см от источника.

Внутриполостная  $\gamma$  терапия макросуспензией  $\text{Co}-60$  производят при помощи резиновых баллонов, жидкость внутри которого содержит шарики  $\text{Co}-60$  диаметром 2 мм. Макросуспензия изготавливается из желеобразного вязкого раствора, в котором удельный вес шариков примерно равен весу раствора. Резиновый баллон вводится в прямую кишку, после чего баллон присоединяется к аппарату, откуда желеобразная масса вместе с шариками  $\text{Co}-60$  поступает в баллон. Расчёт доз производится по таблицам. Дозировка производится по времени, концентрации макросуспензии, объёму вводимой суспензии.

Приведённые выше методики внутриполостного облучения обладают рядом трудно устранимых отрицательных качеств: высокая радиационная опасность источников для персонала, невозможность формирования дозных полей, трудность фиксации источника относительно опухоли, что приводит к серьёзному сужению показаний для их использования, и эти методики рассматриваются только в историческом плане. Эти недостатки можно ликвидировать, при использовании методики с разделённым двухэтапным введением аппликаторов и, затем, изотопа. Методика получила название *afterloading*. Эта методика широко используется при проведении лучевой терапии рака шейки матки, эндометрия и прямой кишки. В настоящее время в России для лучевой терапии методом *afterloading* используются аппараты серии «Агат».

Процедура облучения состоит из трёх этапов: введение неактивной системы аппликаторов и фиксация их в месте облучения; рентгенологический контроль правильности введения аппликатора; введение в аппликатор изотопа. После введения аппликатора последний присоединяется к аппарату, откуда при помощи пневматики или тросика подаётся капсула с изотопом. Понятно, что введение изотопа и задача

времени облучения производится автоматически. После окончания облучения источник излучения возвращается в хранилище внутри аппарата. Дозировку облучения производят по таблицам, доводя суммарную дозу до 50-60 Грей.

**4.1.1.2. Внутриполостная  $\beta$  терапия.** Для внутриполостной  $\beta$  терапии используют коллоидные растворы золота 198 или йода 90. Область применения ограничена небольшими папилломами не выходящими за пределы слизистой оболочки мочевого пузыря, при опухолевых выпотах в серозных полостях. Это обусловлено незначительной глубиной проникновения  $\beta$  частиц.

При проведении терапии через катетер специальным шприцом вводится коллоидный раствор Au198 на 3-4 часа. Расчёт доз довольно сложен, однако надо учитывать такие переменные факторы:

- объём мочевого пузыря увеличивается за время лучевой терапии с 50 до 250 мл;
- это влечёт за собой уменьшение концентрации изотопа;
- при растяжении тканей мочевого пузыря истончается стенка, и ранее недоступные для облучения слои становятся доступными.

Отрицательной стороной этого метода является непосредственный контакт изотопа с органами человека и вероятность сброса радиоактивных веществ в канализацию. Внутриполостное облучение может проводиться при непрерывном или фракционном режиме. Доза 50-60 Грей может быть подведена за 8-10 фракций (сеансов) по 4-5 Грей.

#### **4.1.2. Внутритканевые методы терапии**

Способ лучевой терапии при котором радиоактивное вещество во время лечения находится внутри ткани опухоли называется внутритканевым. Внутритканевая терапия показана при хорошо отграниченных, небольших по объёму опухолях, расположенных в доступном для манипуляций месте. Перспективно использование внутритканевой терапии в подвижных органах: нижняя губа, мужские и женские половые органы, язык, молочная железа. В качестве источника излучения используются изотопы Co 60, Ra-226, Cs 137, I 125. Внутритканевая лучевая терапия может проводиться при использовании изотопов в виде игл, проволоки или гранул. Основной задачей внутритканевой лучевой терапии является создание равномерного дозного поля.

**4.1.2.1. Внутритканевая  $\gamma$  терапия с использованием игл содержащих радиоактивный изотоп.** Как правило, игла выполняется из нержавеющей стали, диаметр 1,8 мм, внутри расположен штифт из изотопа кобальта, в хвостовой части иглы имеется отверстие для нитки.

Под местной анестезией стерильные иглы с помощью специального набора инструментов вводят в ткань опухоли и окружающие опухоль ткани. Расстояние между иглами составляет 1 см, слоями. Конфигурация зависит от размеров и формы опухоли. Если опухоль имеет толщину более 1 см то иглы располагаются в 2 или несколько слоёв. Нитка, завязанная на ушке фиксируется на коже, или прошивается за кожу. Правильность стояния источников должно подтверждаться рентгенологически. Больной располагается в «активной» палате. После подведения рассчитанной дозы игла удаляется путём простого потягивания за нить и помещается в хранилище радиоактивных веществ. Дозиметрия производится путём расчётов исходя из активности источника. При этом 2/3 всей дозы должно быть распределено по периферии опухоли, а 1/3 равномерно по всей площади. Расчёт доз для каждого слоя производится отдельно, но при расстоянии между слоями в 1,5, 2,0, 2,5 см происходит увеличение дозы на 25, 40, 50 %. Для жесткости фиксации иглы на коже могут располагаться аппликаторы в виде пластин с отверстиями, в которых жестко фиксированы иглы.

К недостаткам метода можно отнести сложность расчёта доз, наличие некротического канала вокруг источника, что приводит к смещению и выпадению источников.

**4.1.2.2. Внутритканевая  $\gamma$  терапия гранулами.** Для внутритканевой  $\gamma$  терапии используются гранулы Co-60 и Au –198. Этот вид терапии лишен тех недостатков которые присущи для радиоактивных игл. Использование изотопа возможно при изготовлении из него гранул и помещение их в нейлоновые трубочки. Положительной стороной метода является минимальная травматизация тканей. Источником излучения являются гранулы Co-60 покрытые золотом, помещённые в нейлоновые трубочки. Золото и нейлон являются фильтрами для  $\beta$  и вторичного  $\gamma$  излучения. Диаметр гранул составляет 0,7 мм, толщина трубочки 1,3 мм. Чередую активные и неактивные (алюминий) гранулы, можно добиться любой активности линейного источника. Методика внедрения гранул является радиохирургической манипуляцией, и производится в радиологической операционной. После инфильтрации тканей новокаином, производится прошивание опухоли нейлоновыми трубочками содержащими изотоп. Если опухоль толще 1,5 см, то производится прошивание дополнительным рядом швов. После экспозиции необходимой для получения 60 -70 Грей нить удаляют, а гранулы помещают в хранилище.

Внутритканевая  $\gamma$  терапия гранулами золота –198. У золота –198 основной спектр излучения –  $\beta$  и только 5%- излучения испускается в виде  $\gamma$  излучения. Гранулы диаметром 0,8 мм покрываются для фильтрации  $\beta$  излучения платиной. Учитывая незначительный, всего 2,7 дня, период полураспада, гранулы после имплантации в опухоль при помощи можно не извлекать, а оставлять на всю оставшуюся жизнь.

Оптимальной дозой при проведении лучевой терапии является доза 0,2-0,4 Гр/час, что позволяет за 6-7 дней набрать дозу 60-70 Гр.

Понятно, что эти методики внутритканевой терапии представляют опасность для персонала во время манипуляций и процедуры введения. Это сильно ограничивает их применение.

**4.1.2.3. Внутритканевая  $\gamma$  терапия путём последовательного введения источников (afterloading).** Методика последовательного введения полого инструмента с последующим заполнением последнего радиоактивным препаратом не нова и впервые была применена ещё в 1903 году. В современном исполнении эта методика выглядит как прошивание опухоли полыми нейлоновыми трубками, с последующим введением в них радиоактивной проволоки. Этим решаются главные задачи терапии: строгая геометрическая локализация трубок и сокращение пребывания персонала под действием ионизирующей радиации.

В современном исполнении эта методика представляет определённый интерес в связи с распространением органосохраняющих операций при раке молочной железы. Основным препятствием для их широкого распространения являются местные рецидивы, которые, в свою очередь обусловлены внутритротоковому опухолевому компоненту. Выход был найден в сочетании органосохраняющего лечения и местной лучевой терапии. Во время операции производится прошивание краёв и дна раны полыми полимерными трубками. После операции в трубочки вводится источник излучения, обычно проволока или бусы из иридия  $^{192}\text{Ir}$  ( $^{192}\text{Ir}$ ). Полимерные, из силиконовой резины трубочки являются фильтром для  $\beta$  излучения. После получения расчётной дозы источник удаляется, трубки вынимаются. Лучевая терапия на парастернальную клетчатку и надключичные лимфоузлы проводится при с использованием дистанционной лучевой терапии.

#### **4.1.2.4. Внутритканевая $\beta$ терапия.**

Внутритканевая  $\beta$  терапия это метод введения в опухоль жидких радиоактивных веществ. При проведении терапии должны учитываться такие факторы как период полураспада, спектр излучения, биологическая органная тропность, удельная активность, токсичность, пути выведения, период выведения изотопа из организма.

Для внутритканевой терапии используются изотопы с коротким периодом полураспада:

Химический элемент	Тип излучения	Период полураспада
Фосфор ( $^{32}\text{P}$ )	$\beta$	14,3 дня
Золото ( $^{198}\text{Au}$ )	$\beta \gamma$	2,69 дня

Иттрий (Y 90)	$\beta$	62 часа
Серебро (Ag 111)	$\beta \gamma$	7,5 дня
Лютеций (Lu 177)	$\beta \gamma$	6,8 дня
Прометий (Pm 148)	$\beta \gamma$	5,3 дня

Наиболее часто используются коллоидные растворы, они не вступают в обменные процессы, а значит не токсичны. Раствор вводится в опухоль шприцом при помощи инъекции. Создаётся объёмное распределение изотопа по опухоли.

Методика введения: после новокаиновой блокады ровными рядами, через равный интервал, вкалываются иглы в опухоль. Для препятствия вытекания коллоидного раствора иглы вводят со смещением. Инфильтрацию производят по 0,5-0,7мл. коллоидного раствора на 1 см длины канала. Больной располагается в «активной» палате. Решение об окончании терапии и отсутствии опасности для окружающих производится после контрольной дозиметрии.

Отрицательной стороной этого метода является невозможность создания равномерного распределения изотопа по опухоли, выведение изотопа в окружающую среду, опасность облучения для окружающих, сложность изготовления и транспортировки короткоживущих изотопов.

**4.1.2.5. Радиохирургический метод.** Одной из разновидностей внутритканевой терапии является интраоперационный или радиохирургический метод. Суть метода состоит в том, что во время операции создаётся доступ к опухоли. Этот метод может применяться при большом объёме опухоли, без видимых отдалённых метастазов. В качестве источника излучения используются или коллоидные растворы изотопов с коротким периодом полураспада, однако возможно использование игл, проволоки или полых трубочек с радиоактивными бусами. Понятно что предпочтение отдаётся методикам использующим короткоживущие изотопы, так как нет необходимости их удалять. Цель такой терапии может быть различная в зависимости от объёма выполняемой операции. При полном удалении опухоли, введение источников излучения в ложе патологического образования направлено на уничтожение клеток опухоли, оставшихся в ране. Однако, операция может использоваться и с целью создания подхода к опухоли чтобы внедрить радиоактивные изотопы. Принципиально, второй вариант радиохирургии практически не применяется в связи с тем, что при использовании УЗИ возможен доступ практически к любому органу без кожных разрезов, при помощи пункции. Отрицательной стороной этого метода является наличие лучевой нагрузки на персонал, в основном во время окончания операции.

#### **4.1.3.Аппликационный метод облучения.**

При расположении опухоли на поверхности слизистых оболочек, возможна лучевая терапия поверхностно расположенным источником, расположенным непосредственно на поверхности или в некотором отдалении. Такие методы лучевой терапии называются аппликационными.

**4.1.3.1. Аппликационная  $\beta$  терапия.** При расположении опухоли в поверхностных (до 4 мм) слоях, возможна лучевая терапия фосфором  $^{32}$ , иттрием  $^{90}$ , таллием  $^{204}$ , прометием  $^{147}$ , стронцием  $^{90}$ , ксеноном  $^{144}$ . Пластины изготавливаются из ионообменных смол в виде пластин различных размеров. Радиоактивное вещество располагается на поверхности в виде пластинки толщиной от 0,1 до 0,35 мм. В аппликаторах максимальная мощность располагается на поверхности, и сам аппликатор не должен превышать площадь опухоли более чем на 3-4 мм.

**4.1.3.2. Аппликационная  $\gamma$  терапия** применяется в случаях если патологический процесс более 4 мм ( 2-3 см). Для такой терапии необходимо изготовление муляжа, моделирующего поверхность опухоли. Чаще муляж изготавливают из парафина или пластмассы, контур опухоли очерчивается. После этого внутри этого контура укладывают радиоактивные изотопы. Облучаемая поверхность должна на 1-2 см превышать видимую границу опухоли. Препараты могут располагаться по одной окружности, по окружности и препаратом в центре, в виде концентрических окружностей. Возможно расположение в виде прямоугольника ил какой либо геометрической фигуры в зависимости от формы опухоли. Аппликационная терапия может проводиться непрерывно или в виде фракционного облучения. Суммарная доза 50-60 Грей, при разовой дозе 5-6 грей. Из отрицательных свойств этого вида лучевой терапии – наличие местной реакции в виде мукозита или влажного дерматита. Отрицательной стороной аппликационной лучевой терапии является контакт персонала с ионизирующим излучением в процессе изготовления аппликатора, а кроме того большую проблему представляет сам аппликаор, его утилизация, так как он опасен в связи с наведением вторичного излучения.

#### **4.1.3. Близкофокусная рентгенотерапия.**

К близкофокусной рентгенотерапии с 1959 года по рекомендации МАГАТЭ относятся все методы лучевой дистанционной терапии с расстоянием источник – поверхность менее 20 – 30 см. Однако, многие исследователи относят к этому виду терапии только те дистанционные методы, которые имеют РИП (расстояние источник-поверхность) менее 10 см. Близкофокусная рентгенотерапия отличается от глубокой тем, что генерирующее напряжение на электродах не превышает 60кв, расстояние от источника до поверхности не более 7,5 см, площадь облучения не более



5x5 см. Чаще всего показанием для этого вида лучевой терапии является опухоли кожи и видимых слизистых оболочек (рак, базалиомы).

Основным лучевым компонентом является коротковолновый, который собственно и обеспечивает терапевтический эффект. Длинноволновое или мягкое излучение убирается при помощи алюминиевого или медного фильтра толщиной 3,5 9, 12 мм. Для того, чтобы ввести количественную характеристику для близкофокусной терапии, то есть учитывать спектральную характеристику и различное расстояние от поверхности до источника вводится такое понятие слой половинной дозы. Этим термином обозначается слой ткани по оси основного луча, где доза излучения в 2 раза меньше, чем на его поверхности.

Дозиметрическая подготовка к близкофокусной терапии включает в себя следующие этапы.

- в зависимости от стадии и локализации выбирается кривая половинного поглощения по Шаулю (Chaoul)
- задаётся суммарная поглощённая доза в греях на глубине, соответствующего слою половинного ослабления
- вычисляется глубинная доза и количество сеансов облучения
- определение суммарной дозы (в 2 раза больше очаговой)
- устанавливается разовая поверхностная доза
- вычисляется время облучения.

К отрицательной стороне этого метода можно отнести высокую частоту лучевых реакций. Лучевые реакции при довольно высоких (100-80 Гр) очень часты, однако они зависят от режима фракционирования, то есть чем выше разовая доза, тем раньше и более выражена будет лучевая реакция.

#### **4.1.4. Метод избирательного накопления изотопов в тканях.**

При ряде заболеваний опухоль обладает способностью избирательного накопления в ткани определённые химические элементы, в том числе и радиоактивные изотопы. Для лучевой терапии возможно применение изотопов фосфора (P - 32), йода (I - 131) и золото (Au - 198).

Радиоактивный фосфор применяется в виде раствора фосфорнокислого натрия ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ) применяется при гемобластозах (лимфомы, лейкозы). Вводится в растворе до  $740 \times 10^6$  Бк внутривенно 1-2 раза в неделю в течении 4-6 недель. Повторные курсы облучения проводятся через 6-7 мес. Пациент в течении 7-8 дней помещается в «активную» палату. Суммарная доза  $4000-6000 \times 10^6$  Бк Выведение изотопа из организма производится в основном через почки. После 7 суток выделяется около 50% изотопа.

Радиоактивное золото применяется в виде коллоидного раствора при лейкозах. Доза составляет  $185-370 \times 10^6$  Бк на 1 кг больного, суммарная доза не превышает  $1850 \times 10^6$  Бк.

Радиоактивный йод ( $I-131$ ) применяется как самостоятельный метод лечения при раке щитовидной железы. Клетки рака щитовидной железы сохраняют способность к захвату  $I-131$  даже находясь в отдалённых областях – метастазах. При распространённых формах рака щитовидной железы суммарная доза составляет от  $37000 \times 10^6$  до  $55000 \times 10^6$  Бк., при неоперабельных формах  $18500 \times 10^6$  Бк каждые 2-3 недели до  $222000 \times 10^6$  Бк.

#### **4.2. Дистанционные методы лучевой терапии.**

Дистанционной терапией по решению МАГАТЭ от 1959 года относят такие виды лучевой терапии, при которых расстояние РИП (расстояние источник-поверхность) более 10 см. Выделяют следующие виды дистанционной лучевой терапии злокачественных новообразований (по И.А. Переслегину и Ю.Х. Саркисяну):

1. Дистанционная  $\gamma$ -терапия.  
А. Статическая      Б. Подвижная
2. Терапия тормозным излучением высокой энергии  
А. Статическая      Б. Подвижная
3. Терапия быстрыми электронами  
А. Статическая Б. Подвижная
4. Рентгенотерапия  
А. Статическая Б. Подвижная

##### **4.2.1. Дистанционная $\gamma$ - терапия.**

Главными условиями к источнику для проведения  $\gamma$  терапии является следующие: источник должен обладать высокой энергией  $\gamma$  квантов, иметь большой период полураспада (годы), его получение не должно быть связано со значительными материальными затратами.

Основным источником для  $\gamma$  терапии является  $Co-60$ . Размер источника  $2 \times 2$  см что удобно для транспортировки изотопа и дозировке лучевой терапии. Активность установки с  $Co-60$  теряет 1,1% активности в месяц, что обуславливает необходимость пересчёта доз 1 раз в 3 месяца.

Основным блоком терапевтической гамма  $\gamma$  является головка аппарата, где внутри свинцового кожуха находится блок изотопа  $Co-60$ . В одном месте в кожухе сделано коническое окно, снабжённое затвором из вольфрама. Применение источников большой мощности позволяет быстро проводить сеанс лучевой терапии, однако требует довольно большой толщины стенок кожуха (защиты). Внутри кожуха имеется приспособление для центрации луча.

Аппараты, головка которых неподвижна позволяет осуществлять статическую терапию, те аппараты, у которых штатив подвижен позволяет осуществлять подвижное облучение (секторное, маятникообразное, ротационное, тангенциальное).

**4.2.1.1. Статическая γ терапия.** Статическая γ терапия может проводиться открытым полем, через свинцовую решетку, свинцовый клиновидный фильтр, экранирующие блоки.

**4.2.1.1.1. Дистанционная стационарная γ терапия открытым полем.** Дистанционная γ терапия открытым полем это такой вид лучевой терапии при котором облучение производится при неподвижной головке аппарата и без какого либо экранирования. Такое может проводиться с нескольких точек с фокусом в центре опухоли. Подготовка к лечению сводится к созданию точного топоанатомического среза и составления плана лечения с указанием доз с каждого поля. Вопросы планирования лучевой терапии разбирались в отдельной лекции. При составлении плана обращается внимание на то, чтобы весь указанный объём опухоли вошел в 90% зону терапевтической дозы. Кроме того обращается внимание на дозу облучения в близкорасположенных критических органах. Доза не должна превышать 5% толерантную. Центрация пучка производится как правило за счёт оптического указателя (симулятора), границы облучаемого поля наносятся на кожу при помощи трудно смываемой краски или фломастера.

**4.2.1.1.2. Дистанционная стационарная γ терапия через свинцовую решетку.** Дистанционная γ терапия через свинцовую решетку – это метод лучевой терапии при котором между источником и облучаемым объектом устанавливается свинцовая пластина с отверстиями, с целью создания неоднородности поля. Это связано прежде всего с неудовлетворительными результатами после излечения и развитием вторичных необратимых изменений тканей – фиброза. Выяснилось, что этого осложнения можно избежать, если облучение проводить неомогенным полем. Доза под открытыми участками в 3-4 раза превышает дозу под закрытыми, что ведёт к лучшей сохранности тканей и их регенерации. Этот метод облучения направлен в основном на щажение кожи. Предложено много вариантов как позитивных так и негативных решеток. Отличие позитивной от негативной решетки состоит в том, что у позитивных решеток в блоке свинца вырезаются или высверливаются отверстия различной формы и размера, а в негативных решетках из свинца изготавливаются стержни, укрепляемые на «прозрачном» для излучения материале – чаще плексигласе. Учитывая что при облучении через решетку доза значительно уменьшается, суммарная доза увеличивается.

**4.2.1.1.3. Дистанционная стационарная  $\gamma$  терапия через свинцовый клиновидный фильтр.** Этот вид лучевой терапии применяется при поверхностных эксцентрически расположенных опухолях. При облучении таких опухолей открытыми полями под углом происходит неравномерное распределение доз по биссектрисе угла. Это неблагоприятное распределение можно компенсировать при применении клиновидных фильтров. Клиновидный фильтр располагается между головкой аппарата и пациентом. Применение свинцовых фильтров приводит к увеличению времени облучения. Дистанционная  $\gamma$  терапия проводится как правило с двух полей расположенных под углом друг к другу.

**4.2.1.1.4. Дистанционная стационарная  $\gamma$  терапия через свинцовую экранирующую диафрагму.** Этот вид терапии применяется в связи с тем, что для адекватного формирования опухоли необходимы поля неправильной формы. Облучение же открытым полем даёт возможность применять поля только правильной формы, облучая при этом ненужный объём тканей. Это неудобство можно преодолеть, если экранировать часть излучения при помощи свинцовых блоков, создавая фигурные и расщеплённые поля.

При наличии в зоне излучения критических органов, лучевую нагрузку на последние можно значительно уменьшить за счёт расположения их в зоне полутени, создавая экран из свинцовых блоков. Кроме того фигурные поля позволяют избежать недооблучения или переоблучения на стыке полей. В случае, если орган располагается в центре поля, то производится экранирование органа, а такое поле называется расщеплённым. Располагая свинцовые или вольфрамовые блоки по периферии, создаётся фигурное поле, соответствующее реальной форме патологического очага.

Блоки могут располагаться отдельно или в виде гибкой цепи. Блоки крепятся к подвесному столику под головкой лучевой установки, что позволяет производить облучение под любым углом поворота.

**4.2.1.2. Подвижные методы  $\gamma$  терапии.** Подвижная дистанционная  $\gamma$  терапия может осуществляться во время маятникового, ротационного или секторного движения головки лучевой установки с заданной скоростью. Преимуществом этого метода облучения является снижение нагрузки (размазывание дозы) на кожу и концентрация в точке вокруг которой вращается установка – опухоли.

Наводка пучка излучения при подвижной методике осуществляется при помощи световых центраторов

**4.2.1.2.1. Ротационная γ терапия.** Ротационным называется облучение, при котором источник излучения вращается вокруг больного на 360°. В этом случае центр патологического образования должен находиться в центре вращения головки лучевого аппарата. Изодозные кривые будут иметь форму, приближающиеся к окружности.

**4.2.1.2.2. Маятниковое или секторное** Маятниковое или секторное облучение производится при возвратно-поступательном движении источника излучения с центром качания внутри опухоли. При секторном облучении максимальная доза смещается в сторону биссектрисы угла качания, что должно учитываться при облучении. Другими словами, центр качания источника должен быть смещён на какое то расстояние, противоположное центру качания.

Как вариант секторной терапии используется облучение с использованием двух осей ротации. При помощи этого вида терапии возможно получение более равномерного поля, что особенно важно при облучении распространённых процессов. Изодозные кривые растягиваются в виде «восьмёрки». Чем больше расстояние между центрами качания, тем тоньше перегиб в центре «восьмерки».

**4.2.1.2.3. Тангенциальное или эксцентрическое секторное облучение.** Характерной особенностью такого облучения является облучение под некоторым углом к оси вращения. Этот угол называется углом отклонения. Как правило максимум дозы при таком облучении находится на поверхности облучаемого патологического очага. Такое распределение называется «шелевидным». Такого рода облучение целесообразно при поверхностно расположенных опухолях большой протяжённости или при облучении послеоперационных обширных рубцов.

**4.2.1.2.4. Ротационно-конвергентное облучение.** это метод облучения при котором пучок излучения направляется не перпендикулярно к поверхности тела больного, а под каким либо углом. Головка лучевой установки движется по сложной кривой, в трёх проекциях одновременно, с центрацией в зоне опухоли. Понятно, что в такой ситуации доза полученная кожей будет минимальной. Такое облучение показано для чётко локализованных опухолей.

Ротационная терапия с управляемой скоростью позволяет более избирательно облучать патологический очаг. Это достигается путём замедления движения головки лучевого аппарата. Изодозы вытянуты в сторону сектора замедления по диаметру облучаемого объёма.

**4.2.2.Терапия тормозным излучением высокой энергии.**

При использовании «быстрых» электронов энергией 10-40 МэВ увеличивается относительная глубинная доза при уменьшении поверхностной. Получить такое излучение можно при разгоне электронов в линейном или циклическом ускорителе, затем направив их на мишень из платины или золота. В результате торможения возникает  $\gamma$  излучение, которое принято называть тормозным. Собственно термин отражает способ его получения. Глубинная доза зависит от энергии излучения, а также от расстояния источник-кожа (РИП). По мере увеличения энергии излучения глубинная доза возрастает. При использовании тормозного излучения поглощение энергии тканями происходит в основном не за счёт фотоэффекта, а за счёт комптоновского рассеяния. При проведении лечения должно соблюдаться правило: чем поверхностнее расположен облучаемый объект, тем меньше должна быть его энергия. При проведении лучевой терапии могут быть использованы как статические так и подвижные режимы облучения. Дозирование, распределение и планирование лучевой терапии проводится по тем же правилам, что и для терапии. Учитывая высокую проникающую способность тормозного излучения, необходимо так планировать терапию, чтобы по излучения направлению, не попадали критические органы.

#### **4.2.3. Терапия быстрыми электронами высокой энергии.**

Возможно облучение разогнанными электронами непосредственно опухоли без сброса на тормозящую мишень. Проникающая способность «быстрых» электронов невелика, но при прохождении через ткань облучаемого объекта происходит рассеяние электронов, пропорционально глубине. Это обстоятельство делает малоприменимым этот вид излучения при глубоко расположенных опухолях. Глубина пробега в тканях прямо пропорциональна площади облучаемого поля. Для того чтобы получить поле большого размера на пути узкого электронного пучка устанавливается тонкая алюминиевая фольга. Учитывая то обстоятельство, что источники «быстрых» электронов – ускорители имеют значительные размеры, то основным режимом облучения является статический. Использование этого вида лучевой терапии возможно при поверхностно расположенных опухолях полости рта, влагалища, прямой кишки, молочной железы.

#### **4.2.4. Лучевая терапия тяжёлыми частицами.**

Лучевая терапия возможна не только «быстрыми» электронами, но и частицами большими по весу (дейтроны, нейтроны, протоны,  $\alpha$ -частицами). Принципиально это возможно если их разогнать в мощном электромагнитном поле. Такое поле создаётся на специальном приборе – циклотроне. Источник ионов расположен в центре такого аппарата, частицы разгоняются, затем через специальное окно вылетают наружу,

концентрируясь при помощи специальных линз. Тяжёлые частицы отличаются от электронов тем, что проникающая способность этих частиц зависит от энергии. Доза резко нарастает в конце пробега, образуя так называемый пик Брегга. Ионизирующая способность тяжелых частиц в сотни раз большая, чем у электронов.

#### **4.2.5. Глубокая рентгентерапия.**

В настоящее время этот метод лечения злокачественных новообразований не имеет такой актуальности, как 30-40 лет назад, но он всё ещё применяется в виде так называемой глубокой рентгеновской терапии. Учитывая небольшую проникающую способность рентгеновского излучения при напряжении 200-250 кВ обычно применяется при поверхностно расположенных новообразованиях (опухоли кожи, гортани, семинома). Широко этот метод облучения применяется с паллиативной целью, когда достаточно дать больному на патологический очаг 30-40 Гр для снятия у больного мучительных симптомов заболевания.