

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«КРАСНОЯРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ ПРОФЕССОРА В.Ф. ВОЙНО-ЯСЕНЕЦКОГО»
МИНИСТЕРСТВА ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Кафедра онкологии и лучевой терапии с курсом ПО

Заведующий кафедрой

д.м.н., доцент Зуков Руслан Александрович

РЕФЕРАТ

на тему:

**Современные возможности применения
ионизирующего излучения в медицине**

Выполнил:

клинический ординатор

Вязьмин Вадим Викторович

Проверил:

кафедральный руководитель ординатора

к.м.н., доцент Гаврилюк Дмитрий Владимирович

Красноярск, 2019

Оглавление

1. Введение
2. Физические механизмы действия ионизирующих излучений на биологические ткани
3. Виды ионизирующих излучения используемых в медицине
4. Ускорители в лучевой терапии
5. Ускорители в ядерной медицине
6. Заключение
7. Список использованной литературы

Введение

В конце девятнадцатого века исследование строения вещества привело к открытию излучений, проникающих через непрозрачные среды. В 1895 г. В. Рентген обнаружил, что при попадании на анод катодных лучей возникают X-лучи, или рентгеновское излучение. Это электромагнитное излучение с энергией от 30 до 250 кэВ. В 1896 г. А. Беккерель обнаружил самопроизвольное излучение от солей урана. Позднее это явление получило название радиоактивность. Оба вида лучей приводили к изменению структуры облученного вещества. Практически с момента их открытия началось использование ионизирующих излучений в различных отраслях мирового хозяйства и в первую очередь в медицине. Она включает в себя несколько основных направлений: рентгеновскую диагностику и терапию, лучевую терапию и ядерную медицину.

Для медицины на основе использования ионизирующих излучений создано множество видов высокотехнологичных радиационных приборов. В мире такой техники более 110 тысяч единиц (не считая рентгеновских аппаратов, которых несколько миллионов). В том числе ускорителей электронов и протонов около 14 000, порядка 100 реакторов, 1500 кобальтовых установок, 300 гамма-ножей и 2200 приборов для брахитерапии.

Кроме того, в медицине действует диагностическое оборудование: 30 тысяч установок магнитно-резонансной томографии (МРТ), 40 тысяч компьютерных томографов (КТ), 4000 позитронно-эмиссионных томографических сканеров (ПЭТ-сканер), входящих в состав 600 ПЭТ-центров.

Среди современных медицинских установок значительную роль играют ускорители заряженных частиц, они составляют почти 15 % от общего количества высокотехнологичных установок, действующих в медицине, причем с каждым годом их становится все больше. Спустя три четверти века эти установки стали играть в развитии нашей цивилизации такую же важную роль, как лазер, ракета, самолет, космический аппарат, т. е.

стали одним из ярчайших достижений человечества. Ускорители стали не только важнейшим инструментом ученых, они проникли в различные области деятельности — медицину, промышленность и сельское хозяйство. Размеры ускорителей стали уменьшаться, а характеристики варьироваться в широких пределах, позволяя решать все более широкий круг задач.

Физические механизмы действия ионизирующих излучений на биологические ткани

Воздействие ионизирующего излучения приводит к разрушению связей между атомами и молекулами, из которых состоят ткани организма. Степень чувствительности различных тканей к облучению неодинакова. Большая чувствительность кроветворных органов к радиации лежит в основе определения характера лучевой болезни. Тот факт, что на клетки опухолей ионизирующие излучения оказывают большее действие, чем на здоровые клетки организма, позволил разработать физические принципы лучевой терапии онкологических заболеваний. В их основе лежит облучение органов, частей тела или всего организма. Физиками и радиобиологами подбираются дозы и виды излучений, а также их пространственное распределение, приводящие к максимальному эффекту. Задача физиков заключается в подборе параметров облучения для наилучшего совпадения объема облучаемой части тела — мишени и области максимальной поглощенной дозы, которая является летальной для клеток мишени. При этом на окружающие мишень здоровые ткани и критические органы (не выдерживающие больших доз) должна прийти минимальная поглощенная доза, недостаточная для повреждения или нарушения их функций. Также другое важнейшее требование состоит в равномерности распределения дозы по всему объему мишени.

На молекулярном уровне ионизирующим излучением поражаются молекулы и атомы. Физически это означает разрыв межатомных и межмолекулярных связей и образование новых связей между молекулами и

атомами, а также ионизация атомов и молекул. Воздействие ионизирующих излучений на клетку описывается числом актов ионизации, произошедших в различных структурах клетки.

Виды ионизирующих излучения используемых в медицине

Для облучения биологических объектов используются следующие виды ионизирующих излучений. Это тяжелые заряженные частицы, причем для сравнения их биологического действия выделяют протоны, ионы и нейтроны. Они относятся к плотно-ионизирующему излучению. Пучки электронов, фотонов и рентгеновское излучение представляют собой редко ионизирующее излучение. Следует отметить, что пробег нейтральных частиц (фотонов и нейтронов) между актами взаимодействия со средой существенно больше, чем у заряженных частиц. При высоких энергиях этих частиц в тканях он может достигать нескольких сантиметров. Действие ионизирующих излучений разного типа на биологические ткани неодинаково. Поглощенная доза в биологических тканях для разных видов ионизирующих излучений сильно зависит от линейных потерь энергии (ЛПЭ) частицами.

При высоких энергиях протонов (150–250 МэВ), которые используются в лучевой терапии, процессы ионизации среды являются доминирующими, причем поглощенная энергия концентрируется вдоль треков протонов. В результате ионизации образуются вторичные электроны, большая часть которых имеет небольшую энергию (менее 100 эВ). Когда через ткань проходит, например, протон с энергией 200 МэВ, ионизация ткани происходит до глубины 14–15 см. При этом образуется трек с окружающей его шубой из вторичных электронов и максимумом плотности ионизации в конце пути, называемом пиком Брэгга. Таким образом, по мере торможения частицы плотность ионизации проходит через максимум, а затем резко падает, что удобно для облучения опухолей, находящихся на глубине, и используется в протонной лучевой терапии.

Механизм взаимодействия с атомами и молекулами организма тяжелых частиц принципиально не отличается от описанного выше для протонов. Существующие различия обусловлены плотностью линейных потерь энергии (ЛПЭ). Количество пар ионов, образующихся на единицу длины пути, у ионов существенно выше. Так называемая «шуба» из вторичных электронов, возникающая вокруг трека, у ионов оказывается плотней, чем у протонов.

Прохождение электронов через биологическую ткань сильно отличается от прохождения тяжелых заряженных частиц. Электроны обладают небольшой массой и поэтому сильно рассеиваются, увеличивая объем облучаемой ткани. Свободный электрон проходит в тканях определенное расстояние, осуществляя вдоль своего трека акты ионизации, кроме того, часть энергии расходуется на возбуждение атомов. Растратив запас кинетической энергии на ионизацию и возбуждение, свободный электрон замедляет движение до скорости сравнимой со скоростью орбитальных электронов, а затем захватывается нейтральным атомом с образованием отрицательного иона. В результате первого и третьего из перечисленных процессов энергия ионизирующей частицы расходуется на образование пары ионов. Первичный пучок электронов может дополняться вторичными электронами, которые имеют существенно меньшие энергии и разлетаются во все стороны относительно первичного пучка. Электроны с энергией до десятков МэВ проходят в ткани несколько сантиметров и имеют максимум плотности ионизации близко к поверхности границы ткань–воздух. Поэтому электроны применяются для лечения поверхностных опухолей.

В отличие от электронов рентгеновские и гамма-лучи проходят в ткани большие расстояния и используются для терапии глубоко расположенных опухолей. Фотоны при прохождении через биологическую среду формируют электронно-фотонные ливни, образуя поток вторичных электронов и фотонов, и поражения молекул могут происходить вдали от места первичной ионизации. Вторичные электроны формируют поглощенную дозу от пучка

фотонов, а вторичные фотоны увеличивают облучаемый объем биологической ткани, который необходимо учитывать при планировании лучевой терапии.

В отличие от тяжелых частиц, например, α -частиц, которые образуют множество актов ионизации в пределах мишени, ионизации, вызванные фотонами, приводят к поражению большого числа молекул и клеток по всему объему мишени.

Пучки нейтронов, вступая в ядерные реакции, также формируют потоки различных вторичных частиц, распределение которых по энергии и углу рассеяния частиц необходимо учитывать при расчете поглощенной дозы. Акты ионизации при взаимодействии нейтронов, как и фотонов, с тканью образуются по всему ее объему.

В зависимости от типа, объема и глубины залегания опухоли подбирают вид воздействующего ионизирующего излучения, установку и параметры пучка во время облучения.

Ускорители в лучевой терапии

Линейные ускорители электронов в медицине прошли путь от экспериментальных ядерно-физических установок медицинского назначения до медицинских аппаратов. Прогресс в применении медицинских линейных ускорителей был связан с улучшением элементов и систем, генерирующих излучение, а также с развитием компьютерных технологий, методов медицинской визуализации и способов формирования дозового поля.

С этой целью был реализован ряд уникальных компьютерных технологий: лучевая терапия с модуляцией интенсивности пучка (intensity-modulated radiation therapy, IMRT) — данный метод позволяет моделировать интенсивность пучка в конкретных малых объемах опухоли, что повышает конформность облучения; лучевая терапия с визуальным контролем (image-guided radiation therapy, IGRT), при которой создаются изображения прямо во время сеанса и через короткие промежутки времени, что позволяет повысить

точность во время облучения опухолей, расположенных в подвижных частях тела.

Традиционная лучевая терапия. Для воздействия на ткани организма возможно использование различных видов ионизирующего излучения: рентгеновское, тормозное высокоэнергетическое излучение, гамма-излучение от радионуклидов, бета-, нейтронное и протонное излучения. В подавляющем большинстве случаев в лучевой терапии используется излучение тормозных фотонов. При этом энергия ускоренных электронов, которые излучают тормозное электромагнитное излучение, обычно составляет 6–25 МэВ.

Одной из основных задач лучевой терапии является достижение конформности облучения. Для максимального совпадения границ облучаемой области с границами объема опухоли облучение происходит с разных сторон, при меняющейся интенсивности пучка фотонов (метод IMRT) с использованием мультилепестковых коллиматоров (MLC). Пучки электронов применяются существенно реже. В последнее время разработаны предложения по облучению мишени, расположенной в поперечном или продольном магнитном поле, пучками электронов с энергиями 20–70 МэВ. На практике реализованы установки для интраоперационной лучевой терапии, использование которых в последние годы расширяется.

Интраоперационная лучевая терапия. Для уничтожения возможных оставшихся в ткани клеток опухоли после проведения хирургической операции ее ложе облучается пучками электронов. Метод был опробован примерно в 200 онкологических центрах мира, однако его перспективы оценивались скептически, так как хирургическая операция и последующее облучение на медицинском линейном ускорителе могли проводиться только в различных помещениях: в операционной и ускорительном зале. Сложность состоит в том, что требуются серьезные усилия, чтобы избежать заражения раны при транспортировке пациента из операционной в ускорительный зал и обратно. Опасно и возможное возникновение неисправности в ускорителе.

Ионизирующее излучение — это потоки электромагнитного излучения, элементарных частиц или осколков деления атомов, способные ионизировать вещество. Как отмечалось выше, основным видом ионизирующего излучения, которое используется в медицине, является тормозное электромагнитное излучение. Оно используется не только в традиционной лучевой терапии, но и в стереотаксической хирургии (установки «кибер-нож», модифицированные линейные ускорители, томотерапия).

Стереотаксическая хирургия. В 1951 г. известный нейрохирург Ларс Лекселл предложил при облучении рентгеновскими лучами подкорковых ядер головного мозга использовать стереотаксическую раму. Так возникла идея стереотаксической радиохирургии. В настоящее время используется стереотаксическая локализация излучения для передачи в малую область мишени значительно большей дозы, по сравнению с дозой, приходящейся на окружающие здоровые ткани. Как правило, высокая летальная для клеток опухоли доза подается однократно. Данный вид лучевой терапии позволяет лечить небольшие глубокорасположенные в тканях опухоли головного мозга, что ранее не представлялось возможным. Установки для стереотаксической радиохирургии в настоящее время широко применяются в медицинских центрах по всему миру. В России в последние годы быстро развивается стереотаксическая радиохирургия и по общему количеству таких установок наша страна за последние три-четыре года переместилась с 30–40-х мест на десятое. Первая установка гамма-нож (gamma knife) была разработана и создана шведским нейрохирургом Лекселом в 1950-е–1960-е гг. В ней 201 пучок фотонов от ^{60}Co направлялся в одну точку. Таким образом, доза в опухоли многократно превышала дозу, передаваемую здоровым тканям. Точность передачи дозы превышала 0.3 мм. Это позволяло в одном или нескольких сеансах «выжечь» опухоль. В 1982 г. в Аргентине нейрохирург О. Бетти и инженер В. Деречински создали модифицированный медицинский ускоритель, в котором стереотаксическая рамка крепилась к специализированному креслу. Эта установка является альтернативой гамма-

ножу и одним из современных методов использования ускорителей электронов в лучевой терапии. Цель создания таких установок — заменить представляющие постоянную радиационную опасность источники кобальта, используемые в гамма-ножах, на ускорители, опасные только во включенном состоянии. В них используется «двойная дуга»: ускоритель вращается вокруг изоцентра в вертикальной плоскости, а лечебный стол — в горизонтальной. Достижимые распределения дозы излучения у модифицированных линейных ускорителей и у гамма-ножа сопоставимы.

Другой «ускорительной» установкой, альтернативой гамма-ножу, стала система, получившая название «кибер-нож» (cyber knife). Аппарат был создан в 1992 г. в Стэнфордском университете под руководством Д. Адлера, а первая операция на этой установке была совершена в 1999 г. Установка содержит два основных элемента: легкий линейный ускоритель и мобильную контролируемую компьютерной системой роботизированную руку, имеющую 6 степеней свободы. Ускоритель, управляемый компьютером, может в одном сеансе облучать опухоль и множество метастаз (с 1200 возможных направлений), что невозможно в хирургической операции. Энергия ускорителя электронов, на котором базируется установка, составляет 4 или 6 МэВ. Кибер-нож позволяет проводить неизоцентрическое облучение мишени, а также осуществлять несимметричное и в высокой степени конформное облучение мишени с точностью до 0.5 мм. Благодаря тому, что пучок фотонов в установке кибер-нож направляется от руки робота-манипулятора, возможно облучение опухолей, расположенных в разных областях тела пациента.

Ускорители в ядерной медицине

Ядерная медицина включает в себя радионуклидную диагностику и терапию с использованием радиоактивных изотопов. Для этих целей применяются естественные и искусственные изотопы, которые получают либо при переработке горных пород, либо на ускорителях или в реакторах. В

радионуклидной диагностике изотопы применяются в исследованиях, проводимых на гамма-камерах, установках однофотонной эмиссионной компьютерной томографии (ОФЭКТ) и позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ).

К радионуклидной терапии относятся методы введения различных изотопов в пораженные ткани — это брахитерапия и «выжигание опухоли» гамма-ножом. В первом случае при онкологических заболеваниях изотопы вводят непосредственно в организм, где они локализуются в больных тканях. Фотоны или заряженные частицы, испускаемые изотопами, передают большую часть своей энергии опухоли, в результате такого воздействия достигается гибель клеток опухоли. В брахитерапии в процессе ее развития применялись около полутора десятков радионуклидов. В настоящее время активно используются только шесть. При этом методе терапии тонкие стержни с изотопами вводятся в ткань или размещаются вблизи нее. Для создания дозового поля, описывающего форму опухоли, происходит перемещение стержней с разной скоростью, которая задается системой планирования.

Заключение

Сегодня достижения современной физики широко используются в медицинской технике. Общее число единиц высокотехнологичной медицинской техники составляет более 110 тысяч ядерно-физических устройств, не включая электронные микроскопы и рентгеновские аппараты.

В настоящее время совместными усилиями физиков, инженеров и медиков введены совмещенные модели томографов: ПЭТ+КТ, МРТ+КТ и другие. Эта отрасль мировой промышленности развивается очень быстро.

Список использованной литературы

1. Черняев А.П. Ионизирующие излучения. М., 2014.
2. Статус и перспективы развития ядерной медицины и лучевой терапии в России на фоне мировых тенденций. Доклад общественной палаты РФ. М., 2008.
3. Черняев А.П. Введение в физику ускорителей. М., 2010.
4. Коновалов П. Нейтрон-захватная терапия лечения онкологических заболеваний. Томск: Изд-во ТПУ, 2015. С. 495.
5. Белоусов А.В., Варзарь С.М., Колыванова М.А. и др. // Роль радионуклидных технологий в медицине: Сб. VII съезда по радиационным исследованиям. М.: РУДН, 2014. С. 409.