# Дозиметрия излучений. Вредное воздействиеизлучений. Излучения в медицине

Дозиметрия излучений

Для определения интенсивности излучений используется дозиметрия, которую производят разными способами. Основными дозами, используемыми в дозиметрии, являются: поглощенная доза, экспозиционная доза и биологическая доза (эквивалентная).

Поглощенная доза излучения - это энергия ионизирующего излучения, поглощенная единицей массы поглощающего вещества. Поглощенная доза определяется для всех видов ионизирующего излучения. Она зависит от природы излучения и свойств вещества. Поглощенная доза измеряется в Греях (Гр). 1 Грей – доза, которая характеризует поглощение 1 килограммом вещества 1 Джоуля энергии.

Эффект ионизации вещества излучением зависит не только от величины поглощенной дозы, но также от периода времени, в течение которого излучение воздействовало на объект. Следовательно, чтобы оценить эффект излучения, необходимо также определить мощность поглощенной дозы – величину, равную отношению поглощенной дозы излучения к периоду его действия, или поглощенной дозе за единицу времени. Измеряется в [гр/с] .

Экспозиционная доза – это общее количество радиоактивного излучения, достигающего вещества. Эта доза не зависит от характеристик вещества, а определяется только характеристиками излучения. Экспозиционная доза определяется для гамма- и рентгеновского излучения как общее количество ионов, образуемых в единице массы сухого воздуха в стандартных условиях (00C, 760 мм.рт.ст.) при действии на него указанных видов излучения. Единицей измерения экспозиционной дозы является кулон на килограмм [кл/кг] . Но более удобной единицей измерения экспозиционной дозы является рентген (Р). 1 Рентген равен 2, 58\*10-4 Кл/кг, что составляет приблизительно 2 миллиона пар ионов на 1 см3 воздуха.

Один рентген экспозиционной дозы равен приблизительно 0, 01 Грей поглощенной дозы в мягких тканях человека.

Мощность экспозиционной дозы - величина экспозиционной дозы, приходящаяся на единицу времени. Измеряется в [Р/с], [Р/ч].

Биологическая доза (эквивалентная). Вышеупомянутые поглощенная и экспозиционная дозы характеризуют только физический эффект излучения. Биологическая доза используется для оценки биологического эффекта излучения, который сильно зависит от вида излучения.

Чтобы охарактеризовать зависимость биологического эффекта ионизирующих излучений от вида излучения используют коэффициент относительной биологической эффективности (ОБЭ) излучения. Величина указанного коэффициента для различных видов излучения определялась экспериментально путем сравнения производимых ими эффектов с эффектами, вызываемыми действием на биологические объекты определенных стандартных доз рентгеновского излучения. Одним из тестируемых объектов был глаз животного, в котором вызывали катаракту действием различных видов излучения. Было установлено, что при ОБЭ = 1 для γ-частиц и рентгеновских лучей, значение ОБЭ составляет 2-10 для нейтронов, 10 для протонов и 20 для α-частиц.

Положительные ионы вызывают большую ионизацию при прохождении через единицу длины вещества, чем электромагнитные волны при одной и тойже поглощенной дозе излучения. Однако их эффекты более ограничены, поскольку они задерживаются поверхностными тканями из-за малого коэффициента поглощения.

Биологическая доза (эквивалентная) излучения рассчитывается умножением поглощенной дозы на коэффициент ОБЭ. Единицей измерения биологической дозы является Зиверт (Зв), который равен 1 Грею поглощенной (и эквивалентной) дозы рентгеновского и гамма излучений.

Вредное действие излучения

Энергия ионизирующих излучений значительно отличается от тепловой энергии. Смертельная экспозиционная доза гамма-лучей очень незначительно изменяет температуру тела. Излучения, проходя через живые клетки, изменяют структуру важных биологических молекул. При этом длительное действие небольшой дозы излучения является более благоприятным, чем быстрое действие той же дозы, поскольку при длительном действии происходят исправления (репарация) некоторых повреждений.

Большие дозы ионизирующего излучения вызывают характерные повреждения в организме человека или животных и приводят к возникновению лучевой болезни.

Патогенез лучевой болезни изучен в деталях. Главным образом, первичным эффектом излучения в живых клетках является ионизация молекул воды, концентрация которых больше, чем других молекул в цитоплазме. Получая энергию излучения, молекулы воды теряют электроны и образуют положительные ионы. Свободные электроны присоединяются другими молекулами воды с образованием отрицательные ионов.

H2O → H20+ + e-; H2O + e-→ H20- ;

Такие ионы воды неустойчивы и быстро распадаются, образуя свободные радикалы (водород и гидроксил).

H20- → H• + OH- ; H20+ → H+ + OH•

Как известно, свободные радикалы характеризуются очень большой химической активностью. Они вступают в реакцию с другими химическими веществами, образуя все большее число свободных радикалов.

Также образуется перекись водорода. Это вещество известно как сильный окислитель:

OH• + OH• →H2O2

Свободные радикалы воздействуют на белки, нуклеиновые кислоты и другие биологические молекулы. Это действие может состоять в разрыве цепей белков и нуклеиновых кислот или образовании в их молекулах связей с неправильной валентностью. В результате, функция этих важных биологических молекул нарушается.

В живой клетке более чувствительно к ионизирующему излучению ядро, чем цитоплазма. Это было доказано в экспериментах на амебах. Первую группу животных подвергли действию летальной дозы излучения. Впоследствии их ядра были извлечены и заменены ядрами здоровых амеб, составлявших вторую экспериментальную группу. Последние, наоборот, получили ядра клеток облученных амеб. Амебы первой группы остались живыми, тогда как амебы второй группы погибли.

Действие излучения является наиболее вредным в период деления клетки. Как правило, наиболее чувствительны к облучению клетки, которые растут и делятся. Это касается незрелых клеток крови, кишечного эпителия, половых клеток и т.п. Зародыши и младенцы больше подвержены вредному действию излучений, чем взрослые люди.

Немедленные эффекты, вызываемые в организме человека большими дозами излучения, исследованы на жертвах взрывов атомных бомб и аварий на

атомных электростанциях. Общая доза облучения тела менее 0, 25Зв не имеет заметного действия. Суммарная доза более 1Зв вызывает нарушения кроветворения, а более 8 Зв - серьезные желудочно-кишечные нарушения. Смерть обычно наступает через несколько дней (недель), если доза составляет более чем 5 Зв, и пациент не получил никакой медицинской помощи.

Высокая чувствительность к ионизирующим излучениям присуща людям и таким животным как обезьяны, лошади, собаки и т.п. Грызуны менее чувствительные и могут оставаться в живых после получения ими дозы 7-8Зв. Рыбы и амфибии могут выдерживать дозы излучения, равные нескольким десяткам зивертов, а насекомые - сотням зивертов.

Существует опасные отдаленные эффекты действия излучения. Краткосрочные сублетальные дозы и дозы, приобретенные постепенно в течение длинного периода времени, могут привести к раку после латентного периода, составляющего многие годы. При облучении дозой от 1Зв до 5Зв шанс смерти от рака удваивается. В разнообразных исследованиях, включающих эксперименты на животных и данные, полученные на людях, увеличение в показателе заболеваемости раком прямо пропорционально общей дозе облучения.

Другие отдаленные последствия действия излучения - генетические дефекты, или мутации. Известно, что частота мутаций повышается под действием ионизирующих излучений, некоторых химических веществ и т.п. Мутации, вызванные излучением, подобны естественно происходящим. Увеличение частоты мутации приводит к повышению уровня предродовой смертности и увеличению числа детей, родившиеся с серьезными дефектами. Показано, что показатель числа мутаций пропорционален дозе, независимо от ее величины.

Хроническое действие небольших доз излучения

Все люди подвержены хроническому действию низких доз ионизирующего излучения, которое возникает от космических лучей и от радионуклидов, содержащихся в окружающей среде. Космические лучи включают почти все типы ионизирующих излучений и характеризуются большой проникающей способностью. Доза, получаемая организмами вследствие действия космических лучей, составляет почти 0, 4 мЗв за год на уровне моря (в горах больше).

Естественный фон излучения зависит также от концентрации радионуклидов в почве и скалах (U, Th, Ra и т.п.) Средняя доза излучения от естественных радионуклидов в США составляет 0, 4 мЗв за год. Но в некоторых местах, например в Бразилии и Индии, почва имеет высокое содержимое тория, и дозы излучения в этих местах в несколько десятков раз превышают нормальные средние значения. Большое внимание уделяют радиоактивному газу радону, который растворен в подземной воде.

Средняя доза излучения США от космических лучей и всех внешних радионуклидов составляет почти 0, 7 мЗв за год.

К естественному радиоактивному фону добавляется излучение искусственного происхождения, доза которого почти равна дозе, получаемой от излучений естественного происхождения. Наиболее существенным источником искусственного излучения является медицинская рентгенодиагностика.

Действие даже малых доз излучений связано с небольшим, но реальным риском для здоровья человека. Национальный Совет США установил максимальную допустимую дозу (MДД) для рабочих, трудовая деятельность которых связана с использованием источников излучения, и широких масс населения от всего искусственного излучения (кроме используемого в медицинской диагностике и лечении). MДД для персонала, работающего с источниками излучений – 50 мЗв за год. Средняя величина MДД для населения - 1, 7 мЗв за год. Излучение производственных приборов (например, ТВ, дисплеи компьютеров и т.п.) не должно подвергать население действию доз, больших, чем небольшая доля МДД. Оценено также, что медицинское облучение, используемое в рентгенологической диагностике, может быть уменьшено путем применения современных, хорошо экранированных приборов.

Излучение в медицине

Медицинская радиология является разделом медицинской науки, в котором используются излучения в диагностике и лечении болезней. Несмотря на риск, использование ионизирующих излучений в медицинских исследованиях, диагностике и терапии неоценимо. Радионуклиды, используемые в медицинской радиологии, получают в реакторах и акселераторах.

Радионуклиды в медицинских исследованиях

В настоящее время синтезируется большое число различных биологических смесей, которые содержат радионуклиды водорода, углерода, фосфора, серы и т.п. Их вводят в организм экспериментальных животных для того, чтобы исследовать биохимические и физиологические процессы. Радиоактивные изотопы, применяемые для изучения метаболизма нерадиоактивных веществ, называются следящими устройствами. Радиоактивный препарат готовится нейтронной бомбардировкой стабильного элемента, который захватывает нейтроны с образованием тяжелых радиоактивных нестабильных изотопов.

Радиоактивность этих следящих устройств делает возможным проследить их магистрали и метаболизм очень точно качественно и количественно. Активный и пассивный транспорт натрия и калия, метаболизм сахаров и липидов, синтез белков и нуклеиновых кислот являются примерами фундаментальных биологических процессов, которые изучены с помощью радиоактивных следящих устройств.

Радионуклиды в диагностике

Радиоактивные следящие устройства поглощаются исследуемым органом. Детектор излучения находится за пределами органа на протяжение какого-то времени и в различных положениях. Для того чтобы минимизировать дозу, выбирают недолговечные радионуклиды. Эти радионуклиды испускают гамма-лучи с энергией, которую обнаруживают с помощью детектора. Для этого часто пригоден недолговечный радиоактивный технеций, который разрушается до стабильного состояния, испуская гамма-лучи с периодом полураспада, равным шесть часов. В составе соответствующих химических смесей радиоактивный технеций может быть направлен в различные органы.

Введение радиоактивных следящих устройств позволяет изучать скорость поглощения и выведения определенных веществ сердцем, почками, печенью, мозгом, щитовидной железой и другими органами. Например, когда мочегонные средства, содержащие следящее устройство, поступают в почки, о возможных аномалиях почек могут сигнализировать изменения стандартных количеств поглощения и выделения.

Сканирование щитовидной железы проводят с помощью следящего устройства сложного состава. Поскольку нефункционирующая ткань щитовидной железы не поглощает такое вещество, она образует менее радиоактивную область в щитовидной железе, что регистрируют с помощью поверхностно расположенных детекторов излучения.

Для формирования изображения гамма-лучей при сканировании различных органов необходимо устройство, обнаруживающее радиоактивность поглощенного следящего устройства. Излучение из небольших областей обнаруживают специальными счетчиками. Счетчик медленно перемещают или располагают неподвижно над исследуемой областью тела, и генерирующиеся импульсы записывают на дисплее или листе бумаги.

Эмиссионная позитронная томография - один из наиболее ценных методов диагностики, в котором используют радионуклиды. Этот метод основан на феномене аннигиляции, возникающем при взаимодействии позитрона с электроном, в результате чего образуются фотоны гамма излучения. Короткоживущие радионуклиды производят посредством циклотрона или другого типа акселераторов. Чаще всего используют радиоактивные изотопы кислорода, углерода или азота. Все он способны к позитронному β - распаду.

Определенные химические составы, содержащие радионуклиды, вводят в интересующий орган, например, в мозг. Здесь они подвергаются метаболизму и испускают позитроны. При взаимодействии позитронов и атомных электронов происходит их взаимоуничтожение, сопровождающееся гамма излучением. Этот метод дает возможность получать точную информацию относительно метаболизма клетки в нормальном и патологическом состояниях.

Терапевтическая радиология

Делящиеся клетки наиболее чувствительны к действию ионизирующего излучения. Клетки злокачественных опухолей делятся более часто, чем клетки нормальных тканей. Быстро делящиеся раковые клетки и клетки саркомы очень чувствительны к ионизирующим излучениям. Нормальные ткани имеют большую способность восстанавливаться от эффектов ионизирующих излучений, чем клетки злокачественных опухолей. Таким образом, доза излучения достаточная, чтобы уничтожить раковые клетки, только незначительно и временно повреждает смежные нормальные клетки.

Наиболее часто излучение применяют для лечения раковых пациентов совместно с хирургическим вмешательством и лечением противораковыми препаратами. Используют внешнее облучение с помощью специальных приборов – рентгеновских аппаратов; устройств, содержащих радиоактивный кобальт, или электронных акселераторов. Поверхностное облучение (по большей части посредством рентгеновских лучей) используют при лечении злокачественных болезней кожи и глаз. Гамма-лучи, испускаемые радиоактивным кобальтом, обеспечивают большую эффективную дозу облучения опухолей глубоких тканей тела. Кроме того, в опухоль могут быть имплантированы заполненные радием иглы, небольшие семена, содержащие газ радон, или провода, содержащие искусственные радионуклиды. Также используют лучи акселератора, представляющие собой поток высокоэнергетических электронов, которые депонируют большинство своей энергии в небольшую область около места их воздействия.