

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
МИНИСТЕРСТВА ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Кафедра мобилизационной подготовки
здравоохранения и медицины катастроф**

ТЕМА № 10: «Поражения в результате внутреннего радиоактивного заражения»

Л е к ц и я
по Медицине катастроф
раздел 2

Обсуждено на заседании кафедры
мобилизационной подготовки
здравоохранения и медицины
катастроф
26 мая 2017 г.
Протокол № 23

Краснодар, 2017

Учебные цели:

1. Довести до студентов патологию, клинику и лечение лучевых поражений от внутреннего радиоактивного заражения.
2. Ознакомить с оказанием первой медицинской, доврачебной и первой врачебной помощи пораженному населению в военное время и чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера.

Учебные вопросы:

1. Поражения радиоактивными веществами при их попадании внутрь организма. Оценка поражающего действия радиоактивных продуктов ядерных взрывов и аварий на атомных энергетических установках при внутреннем заражении.
2. Кинетика радионуклидов в организме. Поступление радионуклидов в организм. Судьба радионуклидов, проникших в кровь. Выведение радионуклидов из организма.
3. Профилактика поражения радионуклидами. Медицинские средства защиты и раннего лечения.

Время: 1 час.

Литература

Наименование	Автор(ы)	Год, место издания
Военная токсикология, радиобиология и медицинская защита: учебник	Куценко С.А., Бутомо Н.В., Гребенюк А.Н.	СПб.: Фолиант, 2004
Медицина катастроф. Курс лекций: учебное пособие	Левчук И.П., Третьяков Н.В.	М.: ГЭОТАР- Медиа, 2013
Медицина катастроф. Избранные лекции: сборник	Под. ред. В.Б.Бобия, Л.В.Аполлоновой	М.: ГЭОТАР- Медиа, 2012
Медицина катастроф: учебное пособие	Сидоров П.И.	М.: Академия, 2012
Медицина катастроф: учебное пособие	М.М.Мельников	Новосибирск-М.: Арта, 2011
Руководство к практическим занятиям по военной гигиене: учебное пособие	Архангельский В.И., Бабенко О.В.	М.: ГЭОТАР- Медиа, 2007
Руководство к практическим занятиям по военной гигиене: учебное пособие	Архангельский В.И., Бабенко О.В.	М.: ГЭОТАР- Медиа, 2012
Медицина катастроф. Теория и практика: учебное пособие	Кошелев А.А.	СПБ: ЭЛБИ, 2006
Экстремальная токсикология: руководство для врачей	Бадюгин И.С., Каратай М.С., Константинова Т.К.	М.: ГЭОТАР- Медиа, 2006
Руководство к практическим занятиям по военной гигиене: учебное пособие	Архангельский В.И., Бабенко О.В.	М.: ГЭОТАР- Медиа, 2007
Руководство к практическим занятиям по военной гигиене: учебное пособие	Архангельский В.И., Бабенко О.В.	М.: ГЭОТАР- Медиа, 2012
Внутренние болезни. Военно-полевая терапия: учебное пособие	Ракова А.Л., Сосюкина А.Е.	СПБ: ООО «Издательство ФОЛИАНТ», 2006
Военно-полевая хирургия: учебник	Гуманенко Е.К.	СПБ: ООО «Изд-во ФО-ЛИАНТ», 2005
Медицина катастроф (организационные вопросы): учебник	Сахно И.И., Сахно В.И.	М.: ГОУ ВУНМЦ МЗ РФ, 2002

Учебно-материальное обеспечение:

а) наглядные пособия

1) Слайд-шоу к теме № 10.

б) технические средства обучения мультимедийный проектор.

Текст лекции

Введение

Специфика биологического действия отдельных радионуклидов (отличительные черты поражения, основные патогенетические механизмы его развития, причины смерти) определяется, в первую очередь, поражением определенных (критических) органов, нарушение жизнедеятельности которых может проявиться относительно рано, когда общие реакции и изменения в других системах выражены значительно слабее или могут вовсе отсутствовать.

При внутреннем радиоактивном заражении концепция критического органа представляется сложнее, чем при общем внешнем облучении. В этом случае имеют значение, прежде всего, особенности распределения радионуклидов по органам и тканям (**тропность радионуклидов**); важным фактором являются значения пороговых повреждающих доз для разных тканей; весьма существенно значение функционирования органа по отношению к которому имеется повышенная тропность радионуклида, для жизнедеятельности организма.

Учебные вопросы:

1. Поражения радиоактивными веществами при их попадании внутрь организма. Оценка поражающего действия радиоактивных продуктов ядерных взрывов и аварий на атомных энергетических установках при внутреннем заражении.

По способности преимущественно накапливаться в тех или иных органах выделяют следующие основные группы радиоактивных элементов:

- **радионуклиды, избирательно откладывающиеся в костях ("остеотропные").** Это щелочноземельные элементы: *радий, стронций, барий, кальций*. Остеотропность проявляют некоторые *соединения плутония*. Поражения, развивающиеся при поступлении в организм остеотропных радионуклидов, характеризуются изменениями, прежде всего, в кроветворной и костной системах. В начальные сроки после массивных поступлений патологический процесс может напоминать острую лучевую болезнь от внешнего облучения. На более поздние сроки, в том числе и после инкорпорации сравнительно небольших активностей, обнаруживаются костные опухоли, лейкозы;

- **радионуклиды, избирательно накапливающиеся в органах, богатых элементами ретикулоэндотелиальной системы ("гепатотропные").** Это изотопы редкоземельных элементов: *лантана, церия, прометия, празеодима, а также актиний, торий*, некоторые соединения *плутония*. При их поступлении наблюдаются поражения печени, проксимальных отделов кишки (эти элементы, выделяясь с желчью, реабсорбируются в кишечнике и поэтому могут неоднократно контактировать со слизистой тонкой кишки). На более поздние сроки наблюдаются циррозы, опухоли печени. Могут проявиться также опухоли скелета, желез внутренней секреции и другой локализации;

- **радионуклиды, равномерно распределяющиеся по организму.** Это изотопы щелочных металлов: *цезия, калия, натрия, рубидия; изотопы водорода, углерода, азота*, а также некоторых других элементов, в частности, *полония*. При их поступлении поражения носят диффузный характер: атрофия лимфоидной ткани, в том числе селезенки, атрофия семенников, нарушения функции мышц (при поступлении радиоактивного цезия). На поздние сроки наблюдаются опухоли мягких тканей: молочных желез, кишечника, почек и т.п.;

- **в отдельную группу выделяют радиоактивные изотопы йода**, избирательно накапливающиеся в щитовидной железе. При их поступлении в большом количестве вначале наблюдается стимуляция, а позже угнетение функции щитовидной железы. На поздние сроки развиваются опухоли этого **органа**;

- **плохо резорбирующиеся радионуклиды** являются причиной возникновения местных процессов, локализующихся в зависимости от путей поступления РВ.

В зависимости от физико-химической формы соединения, в состав которого входит радионуклид, особенно от его растворимости, в роли критических могут выступать разные органы. Так, при ингаляционном поступлении нерастворимых соединений элементов из группы остеотропных или равномерно распределяющихся по телу критическим органом оказываются легкие. В разные сроки после поступления радионуклида в организм распределение его по органам может быть различным, т.е. роль критических могут выполнять различные органы.

Влияние на развитие поражения активности инкорпорированных радионуклидов и продолжительности их пребывания в организме

Характер патологического процесса при внутреннем заражении РВ существенно зависит от количества поступившей активности и времени пребывания ее в организме. Темп накопления поглощенной дозы определяется как режимом поступления радионуклида (однократное, длительное), так и периодом эффективного полувыведения.

Основная доля суммарной дозы облучения от таких сравнительно короткоживущих нуклидов как ^{131}I , ^{32}P , ^{198}Au накапливается за сравнительно короткий срок, что определяет в случае попадания в организм поражающих количеств острый или подострый характер патологического процесса. При поступлении ^{226}Ra , ^{239}Pu , и других радиоактивных элементов, характеризующихся очень длительными периодами полураспада и медленным выведением из организма имеет место длительное облучение с постоянной мощностью дозы и, соответственно, хроническое течение.

Если инкорпорация радионуклидов произошла в количествах, обеспечивающих накопление в течение короткого срока (несколько дней) среднетканевой дозы, эквивалентной 1 Гр гамма облучения и выше развивается острое лучевое поражение. При этом в значительной степени утрачивается специфичность действия различных радионуклидов, и поражение во многих чертах напоминает острую лучевую болезнь от внешнего облучения.

Более вероятны ситуации, в которых количество инкорпорированного РВ не может обеспечить накопление достаточно высокой дозы в течение короткого времени и следствием внутреннего радиоактивного заражения является развитие хронической лучевой болезни или злокачественного новообразования.

Последствия поступления в организм отдельных радионуклидов

Патологические процессы, развивающиеся в результате инкорпорации различных радионуклидов, отличаются большим своеобразием, зависящим от ряда факторов, из которых главными являются вид испускаемого излучения, особенности кинетики в организме, скорости распада и выведения, органотропность. Ниже будут приведены примеры, характеризующие специфику действия отдельных радионуклидов, имеющих наибольшую биологическую значимость при загрязнении внешней среды продуктами ядерных взрывов и аварий ядерных энергетических установок- радиоактивных цезия, стронция, йода, плутония.

Цезий -137, 134

^{137}Cs - смешанный β, γ - излучатель с периодом полураспада около 30 лет. Максимальная энергия β -частиц составляет 0,51 МэВ; энергия γ -квантов- 0,662 МэВ. Основное количество ^{137}Cs поступает в организм человека с пищей, до 25%- через органы дыхания.

Большинство солей цезия хорошо растворимы, и поэтому всасывание их из легких и желудочно-кишечного тракта осуществляется быстро и практически полностью.

Распределение в организме ^{137}Cs сравнительно равномерное. До 50 % этого радионуклида концентрируется в мышечной ткани, причем, чем интенсивнее работает мышца, тем больше в ней откладывается радиоцезия. Наибольшее содержание ^{137}Cs обнаруживается в миокарде. В более поздние сроки довольно большое количество ^{137}Cs содержится в печени и почках. В скелете задерживается не более 5 % поступившего в организм изотопа.

Выведение цезия, независимо от пути его поступления, на 3/5 происходит с мочой, и на 2/5 с калом. Выводимый через кишечник цезий в значительной мере подвергается реабсорбции. Эффективный период полувыведения ^{137}Cs у человека составляет от **50** до **150**, в среднем, **110 сут.**

При длительном поступлении ^{137}Cs в организм происходит его накопление. Через плаценту радиоактивный цезий легко проникает в организм плода. У лактирующих животных около 10 % ^{137}Cs поступает в молоко.

Характер распределения радиоцезия в организме во многом определяет клиническую симптоматику при его поступлении. При достижении определенной дозы вначале обнаруживаются общие реакции со стороны системы крови, нервной системы. Позже присоединяются нарушения функций критических органов: мышц, печени. Они проявляются нарушениями некоторых ферментных систем в клетках этих органов, изменениями ЭКГ, электромиограммы,

При одновременном поступлении в организм цезия и калия калий накапливается в 3 раза быстрее и может вытеснять цезий. В связи с этим при лечении поражений радиоактивным цезием рекомендуется и с успехом применяется метод изотопного разбавления. Повышение содержания калия в пище и интенсификация водного обмена способствуют выведению цезия из организма.

Изотопы цезия включаются в биологический круговорот и свободно мигрируют по биологическим цепочкам. Сейчас (как следствие ядерных испытаний и радиационных аварий) ^{137}Cs повсеместно обнаруживают в организмах разных животных и у человека.

Содержание ^{137}Cs в организме может быть измерено как прямыми (измерение мощности дозы γ -излучения от тела), так и косвенными (измерение β - и γ - излучений от выделений) методами. С помощью стационарных СИЧ с защитной камерой удастся зарегистрировать присутствие в организме 1,0 нКи ^{137}Cs (40 Бк). В пробах мочи определяются концентрации порядка 15 пКи/л (0,6 Бк/л).

Изотоп ^{134}Cs имеет период полураспада около 2 лет, что и определяет его меньшую опасность по сравнению с ^{137}Cs . Мощность дозы от ^{134}Cs на зараженной территории снижается значительно быстрее. По проявлениям биологического действия оба изотопа существенно не различаются.

Стронций-90

^{90}Sr - β -излучатель с периодом полураспада **28,6 лет**. Энергия испускаемых при его распаде β -частиц составляет 0,54 МэВ. В результате распада ^{90}Sr образуется ^{90}Y , тоже β -излучатель с максимальной энергией β -частиц 2,18 МэВ. Период полураспада ^{90}Y составляет 64,2 ч.

Выпадающие на поверхность Земли изотопы стронция мигрируют по биологическим цепочкам и, в конце концов, могут поступить в организм человека.

Степень и скорость всасывания радиостронция из желудочно-кишечного тракта зависит от того, в состав какого химического соединения он входит, от возраста человека и функционального состояния организма, от состава пищевого рациона. Так, у лиц молодого возраста стронций всасывается быстрее и полнее. Увеличение содержания в диете солей кальция снижает всасываемость соединений стронция. При потреблении молока всасываемость стронция повышается. В разных условиях всасываемость стронция из желудочно-кишечного тракта человека колеблется от **11** до **99 %**.

Всосавшийся стронций активно включается в минеральный обмен. Являясь аналогом кальция, радиоактивный стронций депонируется преимущественно в костях и в костном мозге, которые и оказываются критическими органами.

Выводится стронций с калом и мочой, а, как установлено в эксперименте, у лактирующих самок и с молоком. Эффективный период полувыведения составляет ~ 17,5 лет.

В ранние сроки после поступления ^{90}Sr в большом количестве наблюдаются изменения в органах, через которые он поступает или выводится: слизистые рта, верхних дыхательных путей, кишечник. Позднее нарушаются функции печени. При ингаляционном поступлении мало растворимых соединений стронция изотоп может достаточно прочно фиксироваться в легких, которые в этих случаях вместе с дыхательными путями являются критическими органами. Однако, в отдаленные сроки и после ингаляционного поступления критическими органами становятся кости и костный мозг, в которых депонируются до 90 % всей активности.

В процессе реакции кроветворной ткани на радиостронций в течение длительного времени морфологический состав крови меняется мало. Лишь при поступлении больших количеств развивается и прогрессирует цитопения. Тяжелых случаев поражения с острым или подострым течением у человека не наблюдали. По аналогии с данными, полученными на животных, можно полагать, что такие случаи будут напоминать клинику острой лучевой болезни после внешнего облучения в дозах, при которых преимущественно поражается костный мозг.

При длительном поступлении радиостронция и подостром течении болезни постепенно развивается анемия, наблюдается угнетение спермато- и овогенеза, нарушения иммунитета, функции печени и почек, нейроэндокринной системы, сокращается продолжительность жизни.

В отдаленные сроки развиваются гипер- или гипопластические процессы в костном мозге, лейкозы, саркомы кости. Реже наблюдаются новообразования в гипофизе и других эндокринных органах, в яичниках, молочной железе.

Большой период полураспада ^{90}Sr определяет длительное сохранение высоких уровней загрязнения территорий и объектов среды после загрязнения этим радионуклидом.

Среди продуктов ядерного деления присутствует и ^{89}Sr , который также является β -излучателем; энергия β -частиц у него составляет 1,5 МэВ. Однако период полураспада ^{89}Sr короче - 53 сут, поэтому степень радиоактивного загрязнения объектов в этом случае снижается гораздо быстрее.

Йод-131

^{131}I - β - γ -излучатель с периодом полураспада 8,05 сут. Энергия β -частиц составляет 0,25-0,812 МэВ, энергия γ - квантов - 0,08-0,722 МэВ. Соединения йода хорошо растворимы, и при алиментарном поступлении практически полностью всасываются в кровь. Большая часть йода всасывается и при ингаляционном поступлении.

30 % поступившего в кровь йода откладывается в щитовидной железе и выводится из нее с биологическим периодом полувыведения **120 сут**. Эффективный период полувыведения из щитовидной железы равен **7,5 сут**. Остальные 70% всосавшегося йода равномерно распределяются по остальным органам и тканям. Биологический период полувыведения этой фракции составляет 12 сут; эффективный- 4,8 сут. 10 % от этой органически связанной формы йода выводится с калом. Основное же количество радиоактивного йода выводится с мочой. Незначительное количество - через легкие, а также с потом, слюной, молоком.

У взрослого человека при алиментарном поступлении 1 мкКи ^{131}I ожидаемая эквивалентная доза облучения щитовидной железы составляет 1,8 бэр ($4,8 \cdot 10^{-7}$ Зв/Бк). При ингаляционном поступлении соотношение составляет 1,1 бэр/мкКи ($2,9 \cdot 10^{-7}$ Зв/Бк). Доза облучения щитовидной железы детей и подростков при поступлении такого же количества

^{131}I больше из-за меньшей массы щитовидной железы. После однократного поступления ^{131}I доза облучения щитовидной железы накапливается очень быстро: 50% дозы за 7,5 дней, а 90% - уже за 25.

Биологическую активность ^{131}I характеризуют следующие экспериментальные данные.

У крыс при однократном введении в желудок $\text{СД}_{50/120}$ ^{131}I составила 88,8 Бк/г. При введении изотопа в дозе в 10 раз меньшей наблюдали развитие деструктивных процессов в щитовидной и паращитовидной железах, реактивные изменения в гипофизе. Развивалось расстройство функций половых желез, нарушался эстральный цикл, снижалась плодовитость вплоть до полной стерильности. При длительном введении животным радиоактивного йода развивались изменения в передней доле гипофиза, нарушались функции всех желез внутренней секреции. В поздней стадии хронического поражения развивался нефросклероз. В отдаленные сроки после введения радиоактивного йода у животных развивались опухоли щитовидной, паращитовидной и молочной желез.

Пороговой дозой для развития гипотиреоза у человека называют 45 Гр. Эта доза соответствует результату однократного поступления в организм примерно 3 мКи ^{131}I . Наибольшая опасность при поступлении в организм радиоактивного йода связана с возможностью возникновения рака щитовидной железы. Коэффициент риска его развития после радиационного воздействия составляет $5 \cdot 10^{-4} \text{Зв}^{-1}$.

Плутоний-239

^{239}Pu - трансурановый элемент, обладающий высокой радиотоксичностью. Это смешанный α - и γ - излучатель. Энергия α - частиц составляет 5,5 МэВ, а γ - квантов - 0,01-0,4 МэВ. Период полураспада ^{239}Pu - 24360 лет.

Среди продуктов, участвующих в формировании зон радиоактивного заражения после ядерных взрывов или аварий ЯЭУ присутствует часть нераспавшегося ядерного горючего или заряда, в частности, плутоний. Обычно его количества мало значимы, однако в случаях механического разрушения ядерных боеприпасов заражение плутонием может быть достаточно существенно.

Плутоний легко гидратируется и склонен к комплексообразованию. Образующиеся в результате соединения в большинстве очень плохо растворимы.

Внешнее облучение ^{239}Pu не опасно для человека. Поступление же этого изотопа внутрь организма, которое может произойти алиментарным, ингаляционным путем или через поврежденную и даже неповрежденную кожу требует проведения немедленных и весьма активных лечебных мероприятий.

Абсорбция плутония из ЖКТ в кровь очень мала. Для наиболее "хорошо растворимых" соединений (нитрат плутония) она составляет $3 \cdot 10^{-5}$, а для "сравнительно плохо растворимых", например, PuO_2 - $1 \cdot 10^{-6}$. Иногда могут быть и более высокие значения резорбции. На абсорбцию существенно влияет состав пищевого рациона.

При ингаляционном поступлении значительное количество плутония надолго оседает в легких, позднее частично перемещается в бронхолегочные лимфатические узлы, а затем и в кровь.

Всасывание плутония через кожу зависит от ее состояния. Наличие ссадин и царапин, воздействие растворителей, кислот резко повышают резорбцию плутония через кожу. Если кожа не повреждена, плутоний поступает, в основном, через волосяные фолликулы.

Поступивший в кровь плутоний откладывается в печени (45%), в скелете (45%), остальное его количество - в других органах и тканях и выводится с экскретами в ранние сроки после поступления.

Доля плутония, отложившегося в гонадах у мужчин, составляет, примерно, $3,5 \cdot 10^{-4}$ у мужчин и $1 \cdot 10^{-4}$ у женщин.

Биологический период полувыведения плутония из скелета составляет 100 лет, а из печени - 40 лет. Эффективный период полувыведения для ^{239}Pu практически равен биологическому.

В экспериментах после энтерального введения больших количеств плутония в клинической картине преобладали проявления поражения функций кроветворения и кровообращения. Животные погибали в течение 2-3 недель от апластической анемии и кровоизлияний. При подостром поражении нарушения кроветворной функции сопровождались развитием регенераторных процессов в системе крови. Происходило рассасывание костного вещества. Животные погибали от цирроза печени, проявлявшегося асцитом, желтухой, истощением.

После введения малых доз ^{239}Pu крысам развивалась хроническая форма поражения, проявлявшаяся возникновением гипо- и гиперпластических процессов в системе крови, развитием цирроза печени, нефросклероза, злокачественными новообразованиями в различных органах, наиболее часто в костях.

При поступлении плутония через органы дыхания критическим органом оказываются легкие. Острые поражения плутонием при ингаляционных затравках характеризовались развитием фибринозной пневмонии с пневмосклерозом, от которой при введении высоких доз (порядка $8,1 \cdot 10^4$ Бк/кг) собаки погибали через 4 месяца. Наблюдалось истощение животных, постепенно развивались умеренные лимфопения и лейкопения. Развитие пневмосклероза наблюдалось и при введении в легкие и меньших количеств плутония, однако, в этих случаях процесс протекал медленнее. Для поздних сроков характерно возникновение опухолей легких.

Время накопления дозы медленное - 50% дозы в скелете и печени реализуются в течение 27-100 лет. Прижизненное определение плутония в организме возможно с помощью СИЧ или по активности проб мочи.

Лучевые поражения в результате алиментарного и ингаляционного поступления продуктов
ядерного деления

Представления о патогенезе и клинике поражений большими количествами продуктов ядерного деления (ПЯД) основываются на экспериментальных данных. В реальных условиях собственно ПЯД могут оказаться смешанными в разных соотношениях с продуктами наведенной радиоактивности и нераспавшейся частью урана или плутония.

Радиоактивность поступивших в организм молодых ПЯД быстро снижается в первое время за счет распада короткоживущих изотопов, и интенсивность облучения организма со временем падает. Во всех органах кроме костей 30-50 % всей накопленной дозы формируется в течение 1 сут после поступления ПЯД в организм, в течение недели - практически вся доза.

При распаде ПЯД испускают β -, а во многих случаях и γ -излучение. Характерна резкая неравномерность в распределении поглощенных доз (до 3 порядков) между различными органами и тканями, что зависит, прежде всего, от тропности отдельных радионуклидов к различным органам и низкой проникающей способности β -частиц. γ -излучение более равномерно поглощается различными участками тела. В экспериментах И.Я. Василенко после введения собакам ПЯД возрастом 36 часов соотношение поглощенных доз в щитовидной железе, кишечнике, печени и скелете составляло 1000:100:10:1 соответственно. Радионуклиды накапливались неравномерно и в пределах одного органа.

Вначале наиболее интенсивно облучаются органы дыхания и пищеварения, через которые ПЯД поступают в организм. Далее следуют органы преимущественного депонирования: щитовидная железа, печень, почки. В этих органах основная часть дозы

формируется в ближайшие дни после заражения. В костях доза формируется гораздо медленнее по причине накопления в них таких долгоживущих радионуклидов как стронций.

О количестве ПЯД, приводящих к развитию острых проявлений поражения можно судить на основании следующих экспериментальных данных. При введении собакам через рот 111 МБк (3 мКи) на 1 кг массы ПЯД суточного возраста развивалась ОЛБ легкой степени, после 222 МБк/кг – болезнь средней степени тяжести, а большие дозы приводили к развитию тяжелого лучевого поражения. Дозы облучения кишечника при этом составили 10, 20 и более 20 Гр соответственно; дозы облучения щитовидной железы были примерно на порядок больше, а печени - на порядок меньше.

В клинике лучевой болезни при алиментарном поступлении больших количеств ПЯД доминируют проявления поражения кишечника, вызванные контактным бета-облучением. Повреждения кишки часто имеют очаговый характер, особенно при поступлении плохо растворимых радионуклидов, длительно задерживающихся в криптах и регионарных лимфатических узлах, в результате чего местно формируются высокие дозы. Нарушается баланс жидкостей и электролитов, развиваются интоксикация, бактериемия, страдают секреция и ферментобразование в желудке, кишечнике. Клинически для тяжелой степени поражения характерны рвота, понос, тенезмы, слизь и кровь в кале, обезвоживание организма, общее угнетение животных, снижение количества поедаемого корма. Патологический процесс можно обозначить как острый геморрагический гастроэнтероколит. Состояние тонкой кишки при этом напоминает поражение при кишечной форме острой лучевой болезни от внешнего облучения. В связи с очаговым характером поражения, а также с большей длительностью облучения равноэффективные дозы для кишки при внутреннем заражении ПЯД оказываются в 2-2,5 раза выше, чем при внешнем облучении.

Ингаляционное поступление ПЯД опаснее, чем алиментарное. Это связано, в первую очередь с облучением легких за счет продуктов, задержавшихся в них и попавших в лимфатические узлы.

В результате высоких местных доз, формирующихся вокруг задержавшихся в легких радиоактивных частиц, развиваются очаги кровоизлияний, переходящие в фибринозно-геморрагическую пневмонию со слабо выраженной клеточной реакцией. Наблюдаются проявления радиационного ожога верхних дыхательных путей. Наряду с органами дыхания при ингаляционном поступлении ПЯД поражается и кишечник. В остром периоде болезнь можно определить как бронхопневмонию с гастроэнтероколитом.

Гематологические изменения при поступлении ПЯД внутрь организма зависят от их количества, изотопного состава (который меняется в зависимости от "возраста" осколков) и растворимости. Если поступление невелико, а продукты мало растворимы, обычно наблюдают умеренный лейкоцитоз, моноцитоз, сдвиг лейкоцитарной формулы влево, иногда лейкомоидную реакцию костного мозга. При поступлении больших количеств радионуклидов появляются признаки угнетения лейко- и эритропоэза. В числе причин изменений кроветворения кроме прямого облучения гемопоэтических органов могут быть названы и отраженные реакции. Так, начальный лейкоцитоз выражен сильнее, чем при общем облучении, что связано с β -поражениями слизистых дыхательных путей и пищеварительного тракта. Значимость гематологических изменений для прогноза тяжести лучевой болезни в случае внутреннего поступления ПЯД значительно меньше, чем при внешнем облучении.

Из органов депонирования ПЯД на первом месте стоит щитовидная железа, в которой концентрируется до 30 % всех всосавшихся молодых ПЯД.

До 15 % всосавшихся ПЯД депонируются в печени (^{99}Mo , ^{132}Te , $^{131-135}\text{I}$, ^{140}Ba и др.). Выделяющиеся с желчью изотопы могут повторно всасываться в кишке и вновь служить причиной облучения печени.

Так же как и при ОЛБ от внешнего облучения, при внутреннем заражении ПЯД развиваются существенные расстройства иммунологической реактивности: повышается чувствительность к инфекции, развиваются аутоимунные реакции. Поражения кишечника,

печени, щитовидной железы при внутреннем заражении ПЯД обуславливают нарушения углеводного, липидного и белкового обмена, активности ферментов, накопление токсичных метаболитов.

Причиной смерти при острых поражениях ПЯД чаще всего являются повреждения желудочно-кишечного тракта и органов дыхания, развивающиеся на фоне глубоких нарушений кроветворной функции и приводящие к обезвоживанию, потере электролитов, интоксикации, генерализации инфекции.

Для восстановительных процессов при внутреннем заражении продуктами ядерного деления характерно все то, что отмечают и при общем внешнем облучении: репарация молекулярных повреждений, клеточная регенерация, восстановление функций на органном и организменном уровнях. К этому следует добавить процессы, направленные на удаление ПЯД из организма. Мешает течению восстановительных процессов после внутреннего заражения продолжающееся облучение инкорпорированными радионуклидами, а также изменения гормональной регуляции, связанные, в первую очередь, с повреждением щитовидной железы радиоактивным йодом.

Течение ОЛБ от внутреннего поступления ПЯД отличают слабая выраженность первичной реакции и гематологического синдрома, отсутствие четких границ между периодами течения, рано появляющиеся признаки поражения критических органов (кишечника, легких), замедление восстановительных процессов.

Длительное присутствие в организме радионуклидов, отличающихся низкими константами распада и выведения, такими как ^{90}Sr , нередко обуславливает возникновение хронических форм заболевания, многообразных опухолевых и неопухолевых отдаленных последствий.

Уже после воздействия активностями порядка единиц мКи возможно развитие лучевых реакций в результате радиационного ожога слизистых. Реакции эти проявляются лейкоцитозом, переходящим в лейкопению, некоторыми нарушениями обмена веществ, иммунитета.

При поступлении молодых ПЯД в количествах, не приводящих к развитию острой лучевой болезни, наиболее значимым радионуклидом является радиоактивный йод. При поступлении в организм 1 мКи молодых ПЯД доза на щитовидную железу взрослых может достигнуть 0,4-1 Гр, а у детей в 2-10 раз больших величин. После распада радиоактивного йода на первое место по биологической значимости перемещаются радионуклиды цезия и стронция, а при поражении ПЯД возрастом 1 месяц - 1 год относительная доза в щитовидной железе оказывается значительно меньше, а в других органах, особенно в скелете, значительно больше.

Отдаленные последствия при внутреннем заражении ПЯД принципиально такие же, как и при внешнем облучении, однако существенно большая доля приходится на опухоли желез внутренней секреции, в возникновении которых ведущее значение принадлежит повреждению щитовидной железы, которую рассматривают как критический орган в формировании отдаленной патологии при поступлении в организм ПЯД.

2. Кинетика радионуклидов в организме. Поступление радионуклидов в организм. Судьба радионуклидов, проникших в кровь. Выведение радионуклидов из организма.

Поступление радионуклидов в организм

Во внутреннюю среду РВ могут попасть *ингаляционно*, через стенки *желудочно-кишечного тракта*, через *травматические и ожоговые повреждения*, через *неповрежденную кожу*. Всосавшиеся РВ через лимфу и кровь могут попасть в ткани и органы, фиксироваться в них, проникнуть внутрь клеток и связаться с внутриклеточными структурами.

Знание пути поступления радионуклида в организм весьма важно в практическом отношении. У ряда РВ характер всасывания, распределение по органам и тканям, выведение и биологическое действие существенно зависят от пути поступления.

Ингаляционное поступление радиоактивных веществ

При контакте, особенно профессиональном, с аэрозолями РВ, радиоактивными газами и парами ингаляционный путь заражения является основным.

Около 25 % попавших в органы дыхания частиц радионуклидов в чистом виде, а также входящих в состав определенных химических соединений, выдыхается. Если оставшиеся после выдоха РВ принять за 100%, то 50% из них подвергаются ретроградному выносу со слизью в результате деятельности мерцательного эпителия в глотку с последующим заглатыванием (отчасти, отхаркиванием). Около 25% резорбируются в кровь через альвеолярные мембраны. Резорбции подвергаются по преимуществу растворимые частицы. Степень резорбции одного и того же радионуклида в значительной степени зависит от химической формулы соединения, в состав которого он входит. Приблизительно 25% частиц фагоцитируются макрофагами. Это нерастворимые частицы и коллоидные формы радионуклидов. Часть захвативших их фагоцитов возвращается в глотку и заглатывается или отхаркивается. Таким путем удаляется около 15% РВ. Фагоциты, захватившие оставшиеся 10 % РВ, перемещаются через альвеолярную мембрану.

Небольшая часть РВ задерживается в паренхиме легких, эпителиальных клетках с периодом полувыведения из них около 600 суток. Еще прочнее фиксация РВ в бронхолегочных лимфатических узлах, куда они попадают с фагоцитами. Наибольшее практическое значение этот вид отложения имеет при ингаляционном поступлении нерастворимых или слабо растворимых соединений плутония, тория и некоторых других элементов.

В случае ингаляции продуктов наземных или подземных ядерных взрывов, которые, в основном, прочно связаны с крупными частицами носителей, доля радионуклидов, удаляемых из органов дыхания и поступающих в желудочно-кишечный тракт, существенно выше. По некоторым данным до 80 - 90 % таких РВ при ингаляционном поступлении уже через несколько часов оказываются в желудке.

При оценке опасности ингаляционного поступления РВ учитывают лучевую нагрузку на легкие, эпителий бронхов, регионарные лимфатические узлы, на стенку желудочно-кишечного тракта, последствия резорбции, а в случае ингаляции γ -излучающих радионуклидов некоторое значение может иметь и облучение других органов грудной полости.

Поступление радиоактивных веществ через желудочно-кишечный тракт

Желудочно-кишечный тракт - второй основной путь поступления РВ в организм. Поражающее действие связано в этом варианте заражения как с лучевой нагрузкой на стенку пищеварительного тракта, так и с всасыванием РВ в кровь и лимфу. Резорбция РВ зависит от химических свойств вещества (главным образом, растворимости), физиологического состояния желудочно-кишечного тракта (рН среды, моторная функция), состава пищевого рациона. Резорбция радионуклидов снижается при увеличении содержания в пище стабильных изотопов этих же элементов и наоборот.

Всасывание хорошо растворимых радионуклидов происходит, в основном, в тонкой кишке. Значительно меньше РВ всасывается в желудке. Всасывание в толстой кишке практического значения не имеет. Наиболее интенсивно и полно резорбируются растворимые радионуклиды, находящиеся в ионной форме. Радионуклиды щелочных металлов и галоидов после попадания в желудочно-кишечный тракт практически полностью всасываются в кровь. Изотопы редкоземельных элементов, плутония, трансураниевых элементов вследствие склонности их солей к гидролизу и образованию труднорастворимых и нерастворимых соединений резорбируются в кишке в пределах нескольких сотых-

десятитысячных долей процента от поступившего количества. Величины коэффициентов резорбции РВ в желудочно-кишечном тракте можно найти в справочных таблицах.

Нерастворимые и мало растворимые гамма-излучатели облучают кишечник и другие органы брюшной полости, а бета-излучатели - только слизистую кишки, в основном, до выведения их с калом, в течение, примерно, 30 часов. Однако, в криптах кишечника РВ могут задерживаться в течение длительного времени, формируя высокие локальные дозы.

Все сказанное относится и к радионуклидам, вторично попавшим в органы пищеварения после ингаляции.

Поступление радиоактивных веществ через неповрежденную кожу, раневые и ожоговые поверхности

Большинство радиоактивных веществ практически не проникают через неповрежденную кожу. Исключение составляют *окись трития, йод, нитрат и фторид уранила а также полоний*. Коэффициенты резорбции в этих случаях составляют сотые и тысячные доли единицы.

Проникновение РВ через кожные покровы зависит от плотности загрязнения, от площади загрязненного участка, от физико-химических свойств самого элемента или соединения, в состав которого он входит, растворимости в воде и липидах, рН среды, от физиологического состояния кожи. Всасывание радионуклидов повышается при повышении температуры среды вследствие расширения кровеносных и лимфатических сосудов, раскрытия сальных и потовых желез.

Всасывание с поверхности раны труднорастворимых РВ (это, в частности, относится и к продуктам наземного ядерного взрыва) происходит медленнее и в значительно меньшем количестве, но все же в сотни раз интенсивнее, чем через интактную кожу. С поверхности ожогов 1-2-ой степеней продукты ядерного взрыва всасываются всего в 2 - 10 раз быстрее, чем через здоровую кожу. Проявление общего действия резорбированных с раневых и ожоговых поверхностей продуктов ядерного взрыва мало вероятно. Лишь в редких случаях возможно поступление через раны значительных количеств редкоземельных элементов.

Следует считаться с воздействием испускаемого радиоактивными веществами излучения на течение раневого процесса. При поступлении в рану большого количества плохо резорбирующихся радионуклидов под влиянием облучения в клетках тканей раневой поверхности развиваются дегенеративные и некротические процессы, снижается способность клеток к размножению. В ранах часто развиваются гнойные, иногда анаэробные процессы. Медленно отторгаются некротизированные ткани, замедляется регенерация.

Большое практическое значение имеет радиоактивное загрязнение ран в производственных и лабораторных условиях. Основную опасность в случае производственного заражения представляет резорбция высокотоксичных радионуклидов, таких, как, например, полоний, которая у растворимых РВ может достигать десятков процентов от общего количества, поступившего в рану. Опасные количества РВ могут поступить не только через колотые или резаные раны, но и через небольшие царапины и ссадины. Всасывание через них щелочных, щелочноземельных элементов и галоидов в 100-200 раз превышает резорбцию через неповрежденную кожу.

Резорбция плохо растворимых соединений РВ происходит, в основном по лимфатическим путям, в результате чего радионуклиды накапливаются в лимфатических узлах. Некоторая часть радионуклидов из лимфатических узлов поступает с фагоцитами в органы ретикуло-эндотелиальной системы.

В месте нахождения радионуклида в плохо растворимой форме могут возникнуть опухоли (чаще остеогенные саркомы).

В крови радионуклиды могут находиться в свободном состоянии или в составе различного рода химических соединений и комплексов. Многие радионуклиды связываются протеинами. Часть РВ, попавших в кровь, сразу выводится из организма, другие проникают в различные органы и депонируются в них. Многие радионуклиды обладают определенным сродством к некоторым тканям и органам, преимущественно откладываются в них, обеспечивая преимущественное их облучение. Органы, в которых преимущественно накапливается тот или иной радионуклид получили наименование "критических" при заражении этим радионуклидом. Знание характера распределения, особенностей обмена и депонирования РВ, возможного перераспределения со временем необходимо для предвидения преимущественного поражения того или другого органа, дозы облучения этого критического органа, предсказания клинических проявлений и исхода поражения.

Концентрация РВ в органе после однократного поступления постепенно снижается, что зависит от радиоактивного распада изотопа и его биологического выведения. Время, за которое из органа выводится половина содержащегося в нем количества радионуклида, получило наименование периода биологического полувыведения, $T_{\text{биол}}$.

Выведение радионуклидов из организма

Попавшие в организм РВ могут выводиться через *почки, желудочно-кишечный тракт (в т.ч. с желчью), со слюной, молоком, потом, через легкие*. В большинстве случаев основные количества радиоактивных веществ *экскретируются с калом и мочой*.

С калом преимущественно выводятся РВ, поступившие алиментарным путем, а также при ингаляционном заражении и вторичном заглатывании частиц, вынесенных ретроградно в глотку. Некоторые растворимые радионуклиды могут выделяться с желчью и другими пищеварительными соками и также выводиться с калом. В желудочно-кишечном тракте процессы экскреции РВ постоянно сопровождаются процессами их реабсорбции.

При выведении радионуклидов преимущественно с мочой, высокая доза облучения может быть получена почками.

Выведение с выдыхаемым воздухом имеет существенное значение для *третия, паров окиси третия, радона и торона*, образующихся при распаде поступивших в организм *радия и тория*.

Динамика выведения РВ из организма описывается таким же образом, как и при характеристике скорости уменьшения концентрации радионуклидов в отдельных органах. По содержанию РВ в выделениях можно судить о количестве их в организме, как на момент определения, так и на момент поступления.

Таким образом, в кинетике поступивших в организм радионуклидов можно выделить **4 этапа**:

- 1) образование на месте поступления первичного депо (кожа, раны, слизистые желудочно-кишечного тракта, верхних дыхательных путей);
- 2) всасывание с мест поступления в кровь или лимфу;
- 3) инкорпорирование в критическом органе (образование вторичных депо);
- 4) выведение различными путями, в том числе и с явлениями рециркуляции.

Продолжительность перечисленных этапов существенно различается для различных радионуклидов, их соединений, путей поступления.

3. Профилактика поражения радионуклидами. Медицинские средства защиты и раннего лечения.

Для предупреждения радиоактивного поражения при нахождении на РЗМ необходимо проведение ряда **профилактических мероприятий**:

1. Для снижения ингаляционного поступления РВ могут быть применены респираторы, достаточно эффективные при загрязнении воздуха продуктами наземного ядерного взрыва. При нахождении на РЗМ также необходимо использовать средства защиты кожи.

2. При авариях ядерных энергетических установок укрытие в помещениях с закрытыми, а еще лучше законопаченными, окнами и дверями, выключенной вентиляцией во время прохождения факела выброса будет способствовать не только снижению дозы внешнего облучения, но и ограничению ингаляционного поступления РВ.

3. Для предупреждения алиментарного поступления продуктов ядерного взрыва необходимо не допускать потребления воды и пищевых продуктов, уровень заражения которых превышает безопасный. Обязательными являются и следующие рекомендации: приготовление пищи на открытой местности допускается при уровне радиации не более 1 Р/ч; при 1 - 5 Р/ч кухни следует развешивать в палатках. Если уровень радиации еще выше, приготовление пищи допускается лишь в дезактивированных закрытых помещениях, территория вокруг которых должна быть также дезактивирована или, хотя бы, увлажнена. Прием пищи на открытой местности при уровне радиации более 5 Р/ч допускается лишь после дезактивации и увлажнения территории.

4. Контроль уровня радиоактивного загрязнения воды и продовольствия. Наиболее точным способом выражения радиоактивной зараженности являются величины удельной активности (МБк/л, МБк/кг, Ки/л и т.п.). Эти единицы и применяются при анализах, проводимых в радиометрических лабораториях. Когда прямая оценка зараженности затруднительна, используется зависимость между степенью заражения и мощностью дозы гамма-излучения, исходящего от загрязненного объекта. В соответствующих единицах (мР/ч) и отградуированы современные полевые радиометрические приборы, и представлены в таблицах нормативные значения радиоактивной зараженности, не приводящие к развитию поражения, или чреватые определенными последствиями.

При действиях на радиоактивно загрязненной местности очень часто высокие значения гамма-фона не позволяют определить степень зараженности и по мощности дозы. В этих случаях радиоактивная зараженность воды и пищевых продуктов может быть определена расчетным методом, по мощности дозы на местности. Применяемые при этом формулы учитывают зависимость между плотностью радиоактивного загрязнения местности продуктами ядерного взрыва и мощностью дозы на местности (ориентировочно мощность дозы 1 Р/ч соответствует плотности загрязнения местности $0,01 \text{ мКи/см}^2$), растворимость в воде продуктов ядерных взрывов на карбонатных, силикатных и смешанных грунтах, глубину водоема, а для расчета загрязнения пищевых продуктов - отношение площади незащищенной поверхности продовольствия к его массе. Расчетный метод применяется всеми звеньями медицинской службы для получения предварительных данных о степени загрязнения воды и продовольствия, а в случаях, когда применение других методов невозможно, - также и для окончательной оценки. В сомнительных случаях пробы воды и продовольствия направляют для заключения в специальные лаборатории.

5. Мероприятия, направленные на удаление радионуклидов с мест первичного поступления. Это проведение санитарной обработки, удаление РВ из желудочно-кишечного тракта и т.д. При установлении факта внутреннего радиоактивного заражения или только предположении об его наличии в процессе частичной санитарной обработки прополаскивают полость рта 1% раствором соды или просто водой, промывают такими же жидкостями конъюнктивы, слизистые носа, принимают меры к удалению РВ из желудочно-кишечного тракта (промывание желудка, назначение рвотных средств, механическое раздражение задней стенки глотки, солевые слабительные, клизмы). Проведение этих мероприятий

следует начинать на возможно ранних этапах эвакуации пораженных и завершать в специализированном стационаре. Все проведенные мероприятия должны быть зафиксированы в первичной медицинской карте, передаваемой в стационар.

Медицинские средства защиты и раннего (догоспитального)

лечения при внутреннем заражении радиоактивными веществами

Медицинские средства защиты от поражающего действия РВ и специальные средства раннего (догоспитального) лечения пострадавших представлены препаратами трех групп. Это *а) сорбенты, б) препараты, затрудняющие связывание РВ тканями, в) препараты, ускоряющие выведение РВ.*

Сорбенты.

Сорбентами называют вещества, предназначенные для связывания РВ в желудочно-кишечном тракте. Такие препараты должны быстро и прочно связывать РВ в среде желудка и кишки, причем образовавшиеся соединения или комплексы не должны всасываться.

Применение в качестве сорбентов таких неспецифических средств как животный уголь, каолин, крахмал, агар-агар, соли висмута, карбонаты при поступлении РВ в желудочно-кишечный тракт очень мало эффективно.

Лучшие результаты дает применение средств селективного действия. Механизм действия препаратов этой группы может быть основан на явлениях молекулярной сорбции, на ионообменном поглощении или на образовании комплексных недиссоциирующих и нерастворимых соединений.

Сульфат бария, применяемый в рентгенодиагностике как контрастное средство, при приеме внутрь активно адсорбирует ионы радиоактивных стронция, бария, радия. Более эффективной лекарственной формой является **адсобар** - активированный сернокислый барий со значительно увеличенной адсорбционной поверхностью. Применение адсобара снижает всасывание радиоактивного стронция в 10 - 30 раз. При введении обычного сернокислого бария всасывание этого радионуклида снижается всего в 2 - 3 раза.

Альгинат кальция - слабокислый природный ионообменник. В его составе имеются соли Д-маннуриновой и Д-галактуроновой кислот, с которыми стронций, помимо ионного обмена, образует более устойчивые, чем кальций комплексные соединения. Альгинаты несколько менее эффективны, но лучше переносятся, чем препараты сернокислого бария, и могут применяться в течение длительного времени.

Вокацит - препарат высокоокисленной целлюлозы. В процессе окисления целлюлозы в ней образуются карбоксильные группы, и происходит размыкание колец в отдельных мономерах. Свободные концы разомкнутых колец представляют собой карбоксильные остатки, с которыми связываются ионы стронция. При этом кольца замыкаются и образуются соединения клешневидного типа. Катионы большей валентности образуют комплексы в виде внутри- или межмолекулярных циклических форм.

Существенным недостатком перечисленных средств является необходимость приема больших количеств препарата: разовые дозы и альгината, и вокацита, и адсобара составляют по 25,0- 30,0 г (в 1/2 - 3/4 стакана воды). В меньших дозах (4,0 - 5,0) применяют

полисурьмин - натриевую соль неорганического ионообменника - кремний-сурьмянокислого катионита.

Адсобар, альгинат, вокацит, полисурьмин при профилактическом применении или введении в течение ближайших 10 - 15 мин после заражения снижают всасывание радиоизотопов стронция и бария в 10 и более раз. Они мало эффективны по отношению к одновалентным катионам, в частности, к цезию.

Берлинская лазурь и другие соли переходных металлов и ферроцианида обладают хорошей способностью связывать цезий. Относящийся к этой группе препарат **ферроцин** рекомендуется принимать по 1,0 г 2 - 3 раза в день. При раннем применении ферроцина резорбция ^{137}Cs из желудочно-кишечного тракта снижается на 92-99%. При уже состоявшейся инкорпорации этого радионуклида период его полувыведения у человека при лечении ферроцином снижается вдвое.

Возможность длительного применения сорбентов ограничивают их часто неудовлетворительная переносимость и недостаточная изученность хронического воздействия на организм.

Препараты, применяемые с целью предупреждения связывания тканями и ускорения выведения радионуклидов, проникших во внутреннюю среду организма

Калия йодид. В основе применения калия йодида при инкорпорации радиоактивного йода лежит принцип так называемого изотопного разбавления. Если радиоактивное вещество уже попало во внутреннюю среду, препятствовать процессу связывания его тканями, а иногда и способствовать освобождению уже связанного радионуклида может введение в организм стабильного изотопа того же элемента или другого элемента той же группы таблицы Менделеева, которые химически замещают попавшие в организм РВ.

Препарат выпускается в таблетках по 0,125 для приема по 1 табл. в сутки. При профилактическом применении поглощение щитовидной железой радиоактивного йода удается снизить на 95-97 %. Прием стабильного йода после окончания поступления в организм радиоактивного изотопа этого элемента значительно менее эффективен, а через четыре часа уже практически бесполезен. Однако, при длительном поступлении радиоактивного йода существенный эффект достигается даже если прием стабильного йода начат с запозданием.

При отсутствии йодистого калия показан прием внутрь йодной настойки в молоке или даже воде (44 капли 1 раз в день или по 22 капли 2 раза в день после еды в 1/2 стакана жидкости), раствора Люголя (22 капли 1 раз в день после еды в 1/2 стакана молока или воды), а также смазыванием кожи предплечья, голени настойкой йода. Защитный эффект наружного применения йода сопоставим с эффектом приема такого же его количества внутрь.

При идиосинкразии к йоду, калия йодид может быть заменен перхлоратом калия, ионы которого конкурируют с ионами йода. Таблетки калия перхлората в сочетании с калия йодидом рекомендуется при необходимости принимать также беременным женщинам.

Другими примерами возможности применения метода изотопного разбавления является введение глюконата стабильного стронция в ранние сроки после инкорпорации радиоактивного изотопа. Менее эффективен в этом случае глюконат кальция.

Пентацин - тринатрийкальциевая соль диэтилентриаминпентауксусной кислоты (ДТПА) представляет собой препарат, относящийся к группе комплексонов или хелатов. Это органические вещества, которые, благодаря своей молекулярной конфигурации и наличию электроннодонорных атомов в молекуле способны образовывать прочные комплексы с 2- и 3-валентными металлами. Для связывания РВ в организме пригодны хелатные препараты, комплекс которых с металлом не разрушается в организме и быстро выводится из него.

Пентацин образует очень прочные комплексы со Sc, Cr, Vn, Fe, Zn, Y, Zr, Ru, Cd, In, Pb, Th, лантанидами, U и трансурановыми элементами. Препарат в организме человека стабилен и очень быстро (в течение 6 часов) выводится, в основном, с мочой. Пентацин связывает РВ не только в крови, но частично и проникшие в органы. Рекомендуемая доза пентацина составляет до 1 г в сутки. Введение проводится либо путем внутривенного вливания в течение от 1/2 до 3 часов, либо очень медленно струйно. При поступлении радионуклидов, особенно, плутония, через органы дыхания применяют ингаляции аэрозолей растворов пентацина. При этом рассчитывают на связывание попавшего в органы дыхания плутония пентацином, образование недиссоциирующих комплексов, которые переходят через альвеолярные мембраны в кровь и выводятся с мочой. Возможно введение препарата через рот. Эффективность препарата в значительной мере зависит и от времени, прошедшего с момента инкорпорации до введения пентацина. Особенно это относится к остеотропным радионуклидам.

Выпускается препарат в форме 5%-го раствора и в таблетках по 0,5 г. На курсе лечения, в среднем, идет 30-40 г препарата.

Если пентацин ввести в липосомах, то они, проникая через клеточные мембраны, облегчают препарату доступ к радионуклидам, связанным с клеточными структурами, что повышает выведение РВ.

Соли этилендиаминтетрауксусной кислоты (ЭДТА): кальций-динатриевая соль (тетацин-кальций) и динатриевая соль (трилон Б) действуют во многом аналогично пентацину, но менее эффективны и несколько хуже переносятся.

Унитиол (для внутривенного введения по 10 мл 10% раствора 1-2 раза в сут). Этот препарат применяют при инкорпорации полония-210, выведение которого не удастся ускорить с помощью пентацина. Полоний связывается сульфгидрильными группами препаратов. Образовавшиеся комплексы выводятся с мочой. Применение комплексонов, содержащих сульфгидрильные группы, значительно эффективнее по сравнению с пентацином также при связывании ионов кобальта, меди, ртути.

Триметацин рекомендуется в качестве средства первой помощи при отравлениях ураном и бериллием. После введения препарата ускоряется также выведение плутония, иттрия, церия, циркония, ниобия. Разовая доза триметацина содержится в виде лиофилизированного порошка во флаконах и разводится перед внутривенным введением 2,5% раствором кальция хлорида для инъекций.

После проведения неотложных мероприятий пострадавший должен быть транспортирован в стационар, желательно, специализированный.

Ранняя диагностика и эвакуационные мероприятия при внутреннем заражении радиоактивными веществами

Диагностика при внутреннем радиоактивном заражении основывается на индикации и оценке количества инкорпорированных радиоактивных веществ. Сам факт наличия внутреннего радиоактивного заражения можно установить уже в процессе радиометрического обследования человека. Если обнаруженное излучение от тела не устраняется в процессе санитарной обработки, проводят измерения в двух вариантах: при открытом окне зонда (приборы типа ДП-5), когда определяется суммарная мощность дозы гамма- и бета излучения, и при закрытом окне, когда бета-излучение отфильтровывается и определяется только гамма. В случае внутреннего заражения существенных различий показаний прибора при открытом и закрытом окне зонда не будет. В случае наружного заражения отклонение стрелки радиометра при открытом окне окажутся значительно больше, чем при закрытом.

Для количественного определения содержания РВ в организме применяют прямые и косвенные методы измерения.

Прямые методы основаны на измерении мощности дозы гамма-излучения от тела (или от отдельного органа при избирательном накоплении в нем радионуклида). В последующем с помощью имеющихся в таблицах эмпирически установленных коэффициентов рассчитывают содержание радионуклида в организме (или органе) и поглощенную дозу внутреннего облучения. Наиболее точные результаты дает применение прямых методов при измерениях с помощью счетчиков излучения человека СИЧ. Возможно также применение приборов радиационного контроля (СРП-69-01, ДП-5В и др.)

Косвенные методы основаны на радиометрических исследованиях активности биосред и выделений. Для наиболее важных радионуклидов установлены зависимости между количеством инкорпорированных РВ и их суточным выведением с мочой и калом на разные сроки после заражения. Эти данные, имеющиеся в справочных таблицах, позволяют произвести расчет поступившей в организм активности.

Заключение

При поражениях в результате ядерных взрывов или аварий на ядерных энергетических установках внутреннее радиоактивное заражение не играет ведущей роли, и необходимость и сроки эвакуации будут определяться преимущественно другими факторами (тяжесть сопутствующей хирургической травмы, доза внешнего облучения).

В случае радиационных инцидентов, при которых имеется вероятность внутреннего заражения РВ, правильная оценка состояния пострадавшего и определение рациональных лечебных вмешательств в большой мере зависят от полноты информации. Поэтому, с самых ранних этапов оказания медицинской помощи следует уточнить и зарегистрировать точное время инцидента, наименование радионуклида и пути его поступления в организм, в состав какого химического соединения входил радионуклид, в каком он был агрегатном состоянии (раствор, порошок и т.п.), сколько всего находилось радионуклида на рабочем месте.

Необходимо зафиксировать результаты первичного определения загрязненности кожных покровов. Следует собрать возможные пробы биосубстратов: рвотные массы, первые порции кала, мочи, промывные воды и пр. с целью последующей их радиометрии.

При инкорпорации высокотоксичных радионуклидов, таких как плутоний, полоний, америций, радий и др. требуется срочная эвакуация в специализированное учреждение, где могут быть проведены эффективные мероприятия по выведению РВ из организма (бронхопульмональный лаваж, форсированный диурез, повторные введения комплексонов и т.п.).

**ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПОДГОТОВКИ ПО ЛЕКЦИЯМ К РАЗДЕЛУ:
«МЕДИКО-САНИТАРНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАСЕЛЕНИЯ ПРИ ЧС ХИМИЧЕСКОЙ
И РАДИАЦИОННОЙ ПРИРОДЫ**

Тема №10

1. Назовите «остеотропные» радионуклиды.
2. Перечислите «гепатотропные» радионуклиды.
3. Назовите радионуклиды, равномерно распределяющиеся в организме.
4. Назовите этапы токсикокинетики поступивших в организм радионуклидов.
5. При каком уровне радиации допускается приготовление пищи на открытом воздухе в полевых условиях?
6. При каких условиях допускается прием пищи на открытой местности в зоне радиационной аварии?
7. Классификация медицинских средств защиты от поражающего действия РВ.
8. Назовите сорбенты, применяемые при энтеральном поступлении радионуклидов.
9. Назовите средства, предупреждающие связывание тканями и ускоряющие элиминацию радионуклидов, проникших во внутреннюю среду организма.
10. Назовите наиболее распространенные формы местных радиационных поражений.