

ГРОДНЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
КУРС ЛУЧЕВОЙ ДИАГНОСТИКИ И ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ

Обсуждено на заседании кафедры
Протокол № от 2005 г.

ЛЕКЦИЯ

ПО ЛУЧЕВОЙ ДИАГНОСТИКЕ И ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ

Для студентов 4 курса факультета медицинских сестер с высшим образованием.

Тема “Лучевые поражения радионуклидами”

Гродно 2005

Учебные и воспитательные цели:

научить студентов на основании клинических данных, лабораторных и инструментальных исследований методам диагностики, профилактики и терапии лучевых поражений от воздействия радионуклидов.

Литература

1. Борисов В.Н., Журавлев В.Ф., Иванов В.А., Северин С.Ф. Неотложная помощь при острых поражениях радиоактивными веществами. - М.: Атомиздат, 1968.
2. Вредные химические вещества. Радиоактивные вещества: Справ. изд. / Баженов В.А., Булдаков Л.А., Василенко И.Я. и др. Под ред. А.В.Филатова и др. Л. Химия, 1990.
3. Гончарик И.И. О радиоактивности цезии // Здоровоохранение Белоруссии.-1991.- № 8 .-С. 47-50.
4. Москалев Ю.И.Радиобиология инкорпорированных радионуклидов.-М.: Энергоатомиздат, 1989.
5. Руководство по медицинским вопросам противорадиационной защиты //Ильин Л.А., Воробьев А.И., Иванов В.А. и др. М.:1975
6. Сафронов Е.И. Лучевая болезнь от внутреннего облучения.-Л.: Медицина,1972
7. Козлов В.Ф.Справочник по радиационной безопасности, 1987
8. Журавлев В.Ф. Токсикология радиоактивных веществ.- М.: Энергоатомиздат, 1990.
9. Кеирим - Маркус И.Б., Пантелейкин В.П. Радиойод: воздействие на здоровье населения в чрезвычайных ситуациях // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2003.- Т.48.- №. 5- С. 12-15.

Материальное обеспечение

1. Слайды: клиническая радиология часть 1.
2. Таблицы: методы радиометрии «in vivo», методы радиометрии «in vitro».

№ п/п	Перечень учебных вопросов	Время в минутах
1	Введение	5
2	Ситуации возможного поступления радионуклидов	5
3	Метаболизм радиоактивных веществ в организме	15
4	Краткая физическая и токсикологическая характеристика наиболее значимых радионуклидов	15
5	Патогенез и клиническая картина поражений от контактного и внутреннего облучения	10
6	Особенности поражающего действия отдельных радионуклидов	10
7	Особенности получения диагностической информации	5
8	Вопросы профилактики и лечения	10
9	Медико-психологическая реабилитация при поражении радионуклидами	5
10	Заключение	2

Всего

90

Учебные вопросы

Введение

Определение радионуклида: атом химического элемента ядро, которого самопроизвольно распадается с излучением ионизирующей радиации. Поражающее действие радионуклидов обусловлено ионизирующим облучением. Исключение: радионуклиды урана где поражающее действия обусловлено преимущественно нефротоксическим эффектом.

Ситуация возможного поступления.

- а) При производстве ядерного топлива;
- б) ремонт и обслуживание реактора;
- в) при работе с радиоактивными материалами;
- в медицине ;
- в промышленности;
- при радиационных авариях.

Закономерности формирования дозовых нагрузок при действии радионуклидов зависит от многих факторов:

- путем поступления;
- дисперсности, растворимости, транспортабельности

Особенности лучевых поражений радионуклидами

Этиологические факторы. Основные ситуации поступления в организм радионуклидов в повышенных количествах

Внутреннее облучение от поступления радионуклидов в организм в количествах, превышающих допустимое годовое поступление, возможно лишь при аварийных ситуациях, или в результате применения радионуклидов для лечения злокачественных новообразований.

Облучение в повышенной дозе может касаться различных категорий облучаемых лиц.

Поступление радиоактивных веществ в организм лиц из населения возможно при авариях на АЭС, загрязнении источников водоснабжения и питания производственными отходами и продуктами ядерных взрывов, разгерметизации радиоактивных источников, проникновении людей в места захоронения отходов и т.д.

В условиях профессионального контакта подобные ситуации могут возникнуть при нарушениях правил ведения научно-исследовательских работ в лабораториях, при работе в ремонтных зонах атомных электростанций и ядерно-энергетических установок, при получении ядерного топлива, производстве и использовании различных радионуклидов для технических, исследовательских и медицинских целей, при промышленном использовании соединений радия, полония, трития, стронция и др.

Закономерности формирования дозовых нагрузок в организме и отдельных органах (распределение и динамика) зависят от многих факторов: путей поступления, дисперсности, растворимости, транспортабельности поступающих соединений вещества. Существенно отличается их распределение по органам (равномерное или органотропное) и микроструктурам. Различны параметры обмена и кинетики. Периоды полувыведения для одних нуклидов могут составлять доли секунды, для других сотни лет, т.е. превосходить продолжительность жизни человека.

Уровень формирующихся доз зависит, кроме того, от типа излучателя и его энергии, приходящейся на один распад, количества поступившего радионуклида и создающейся при этом концентрации вещества на единицу массы в рассматриваемом органе.

Особенность действия радионуклидов по сравнению с химическими ядами заключается в практически полной обусловленности поражающего эффекта радионуклидов ионизирующим излучением, так как их масса ничтожно мала для реализации химического отравления. Особое место в этом отношении занимают ^{87}Rb , ^{115}In , ^{144}Nb , ^{147}Sm , ^{187}Re , ^{238}U , для которых химическая токсичность выдвигается на первое место.

Часть ситуаций с попаданием радиоактивных веществ в организм может сопровождаться одновременно воздействием на организм внешнего излучения, т.е. происходит сочетанное радиационное воздействие.

В реальных условиях влияние радиации обычно сочетается с воздействием токсических и иных нерадиационных факторов (травма, отравление химическими соединениями).

Пути поступления и метаболизм радиоактивных веществ в организме

Радиоактивные нуклиды могут поступать в организм путем ингаляции, через пищеварительный тракт, поврежденную (ожог, рана) и (для части нуклидов) неповрежденную кожу.

Поступление радионуклидов через органы дыхания очень опасно, так как поверхность альвеол примерно в 50 раз больше поверхности кожи. Ингаляционный путь является основным в условиях профессионального контакта человека с радиоактивными газами, жидкими и твердыми порошкообразными веществами, аэрозолями.

Поведение твердых и жидких радиоактивных веществ, попавших в организм человека в форме аэрозолей, зависит от физического состояния, размера частиц и формы химического соединения нуклида. Часть из них удаляется механически с выдыхаемым воздухом, часть откладывается в легких и в дальнейшем также выводится. Радионуклид, отложившийся в верхних дыхательных путях, включая область носоглотки, движением мерцательного эпителия удаляется в желудочно-кишечный тракт. Доля нуклида, отложившаяся в легких, состоит преимущественно из частиц диаметром от 0,1 до 1 мкм. Эти небольшие по размерам частицы могут быть полностью резорбированы в кровь (если нуклид хорошо растворим) на несколько десятков минут или будут медленно всасываться при слабой растворимости соединения. Характер перемещения нерастворимых частиц в легких до сих пор окончательно не выяснен. Транспортабельность в организме таких частиц зависит от их размера, химической формы соединений и некоторых физиологических особенностей пограничных мембран, в том числе органов дыхания.

При поступлении в легкие нерастворимых соединений основная доля радионуклида переходит в легочные лимфоузлы и длительно задерживается.

В НРБ-2000 для целей нормирования поступления радионуклидов через органы дыхания в форме радиоактивных аэрозолей их химические соединения разделены на три типа в зависимости от скорости перехода радионуклида из легких в кровь:

- Тип «М» (медленно растворимые соединения) – при растворении в легких веществ, отнесенных к этому типу, наблюдается компонента активности радионуклида, поступающего в кровь со скоростью 0,0001 сут⁻¹;
- Тип «П» (соединения, растворимые с промежуточной скоростью) – при растворении в легких веществ, отнесенных к этому типу, основная активность радионуклида поступает в кровь со скоростью 0,005 сут⁻¹;
- Тип «Б» (быстро растворимые соединения) – при растворении в легких веществ, отнесенных к этому типу, основная активность радионуклида поступает в кровь со скоростью 100 сут⁻¹.

Для целей нормирования поступления радионуклидов через органы дыхания в форме радиоактивных газов выделены типы «Г» (Г1-Г3).

При поступлении через пищеварительный тракт нерастворимых соединений нуклида основное облучение стенки кишечника происходит примерно в течение 30-48 ч., а в дальнейшем нуклид выделяется, иногда практически не всасываясь. Всасывание в ЖКТ зависит от химической формы соединений и может значительно отличаться от такового в легких. Основная доля растворимых соединений нуклидов резорбируется в тонкой кишке, меньшая - в желудке и ничтожно малая - в толстой кишке. В справочных таблицах приведена величина коэффициента резорбции. Для таких нуклидов, как йод и цезий, он близок к 1,0, для радия и стронция - не превышает 0,2 - 0,1, для плутония - тысячные и еще меньшие доли от поступившего в организм количества нуклида.

Всасывание через неповрежденную кожу большинства нуклидов практически пренебрежительно мало, так как кожа для них является эффективным барьером. Исключение составляет проникновение таких соединений как уранилнитрат, уранилфторид, окись трития, а также йода, полония. Коэффициент резорбции при этом составляет сотые и тысячные доли.

Через поврежденную кожу (ранение, ссадины, микротравма) растворимые радиоактивные вещества довольно быстро и полно всасываются в тканевые жидкости и кровь. Поступление нуклидов через рану представляет большую опасность. Растворимые радиоактивные вещества разносятся кровью и лимфой по всему организму. При этом часть нуклида поступает в органы вторичного депонирования - почки, печень, мышцы и др., равномерно распределяясь в них или избирательно откладываясь в каком-либо органе (ткани), являющемся критическим (щитовидная железа, костная ткань и т.д.)

Радиоактивные вещества выделяются из организма с мочой, калом, выдыхаемым воздухом, потом.

Нуклиды, выделяющиеся с мочой, могут поступать в нее из крови и тканевой жидкости. Если выделение нуклида с мочой является основным, то почки получают значительную дозу излучения.

С калом выделяются нуклиды, поступающие в организм через желудочно-кишечный тракт, а также при ингаляции слабо растворимых радиоактивных соединений или вследствие выделения растворимых соединений в ЖКТ с пищеварительными соками и желчью.

Выдыхание является важной формой выделения для неотложившейся части ингалированных изотопов: парообразного трития, а также торона и родона, образующихся в результате радиоактивного распада отложившихся в организме радия и тория.

С потом могут выделяться любые изотопы, находящиеся в тканевой жидкости. Так, в случае поступления цезия, выведение его с потом при высокой температуре внешней среды может создавать дополнительные проблемы при дезактивации.

Обмен нуклидов в организме имеет несколько основных стадий, часто существенно различающихся по времени для различных нуклидов, их соединений, путей поступления и т.д.

1-ая стадия - образование первичного депо на месте поступления (кожа, слизистые оболочки, ЖКТ, раны, верхние дыхательные пути);

2 -ая стадия - всасывание с мест поступления в кровь или лимфу;

3 -ая стадия - инкорпорирование в критическом органе;

4-ая стадия - выведение различными путями, в том числе с наличием рециркуляции в крови.

Классификация радионуклидов в зависимости от их распределения в организме

По характеру распределения (тропности) в организме человека радионуклиды можно условно разделить на три группы:

а) скапливающиеся преимущественно в скелете (остеотропные изотопы). К ним относятся кальций, стронций, барий, радий, иттрий, цирконий и цитраты плутония;

б) концентрирующиеся в печени (до 60 %); из остального количества в скелете отлагается до 25 %. Это церий, лантан, прометий, нитрат плутония;

в) равномерно распределяющиеся по органам и системам: тритий, углерод, инертные газы и цезий; с тенденцией к некоторому накоплению в мышцах: калий, рубидий, цезий; с тенденцией к накоплению в ретикулоэндотелиальной системе – селезенке, лимфатических узлах, надпочечниках: ниобий, рутений. Особое место занимает радиоактивный йод. Он селективно накапливается в щитовидной железе, причем удельная активность ткани щитовидной железы может превышать таковую других органов в 100 – 200 раз.

Патогенез и клиническая картина поражений от контактного и внутреннего облучения радионуклидами

Суммарный эффект внутреннего облучения организма альфа, бета-частицами и гамма-квантами (или каждым из них в отдельности) вызывает нарушение естественных структур организма и последующих биохимических реакций и приводит к развитию лучевой болезни.

Поэтому, несмотря на разную физическую природу разных видов излучения, существует определенная общность их биологического действия. В отличие от лучевой болезни, вызванной внешним ионизирующим излучением, или в отличие от отравления, вызванного химическими веществами, ранние симптомы поражения радионуклидами могут полностью отсутствовать. Только воздействие очень больших доз радиоактивных веществ или сочетанное лучевое воздействие (интенсивное внешнее облучение плюс внутреннее облучение) вызывает ранние клинические проявления болезни.

Следует однако учитывать, что окончательная оценка поражающего эффекта радиоактивных веществ не может проводиться без учета поздних последствий и исхода заболевания. Отсутствие внешних признаков заболевания в начальные сроки после внутреннего радиоактивного заражения не исключает возможности появления целого ряда серьезных и опасных отдаленных последствий, включая злокачественные новообразования.

Клиническая картина при поражении смесями радиоактивных веществ отличается от картины поражения изолированными радионуклидами. Различия зависят от агрегатного состояния отдельных компонентов смеси, от путей попадания их в организм, от физической и химической характеристики каждого из них, от дальнейшей судьбы радионуклидов после их попадания в организм, от спектра их излучений, от соотношения компонентов в смеси и т.д.

Реакция организма на воздействие радиации определяется мощностью дозы излучения и продолжительностью его, локализацией воздействия, относительной чувствительностью разных тканей к облучению, функциональным состоянием органов, скоростью и степенью обратимости повреждения и рядом других факторов.

Принципиально важна также неравномерность облучения организма при внутреннем поступлении большинства радионуклидов. Для достижения одинакового биологического эффекта при облучении различных участков тела необходимы различные дозы излучения. Учет радиочувствительности (по критерию стохастических эффектов) производят с помощью взвешивающих коэффициентов (W_T):

гонады	0,20
костный мозг (красный)	0,12
толстый кишечник	0,12
легкие	0,12
желудок	0,12
мочевой пузырь	0,05
грудная железа	0,05
печень	0,05
пищевод	0,05
щитовидная железа	0,05
кожа	0,01
клетки костных поверхностей	0,01
остальное	0,05*

* При расчетах учитывать, что «Остальное» включает надпочечники, головной мозг, экстраторакальный отдел органов дыхания, тонкий кишечник, почки, мышечную ткань, поджелудочную железу, селезенку, вилочковую железу и матку. В тех исключительных случаях, когда один из перечисленных органов или тканей получает эквивалентную дозу, превышающую самую большую дозу, полученную любым из двенадцати органов или тканей, для которых определены взвешивающие коэффициенты, следует приписать этому органу или ткани взвешивающий коэффициент равный 0,025, а оставшимся органам или тканям из рубрики «Остальное» приписать суммарный коэффициент, равный 0,025.

Таким образом, если известно, какие органы и какими дозами облучены можно вычислить эффективную дозу.

Как и при внешнем облучении, различают лучевую болезнь от внутреннего облучения легких (I), средний (II) и тяжелый (III) степени. Считают целесообразным выделить также осложненные формы заболевания, которые отличаются в прогностическом отношении. Лучевая болезнь от внутреннего облучения как в случаях острого, так и хронического течения может проявляться: а) развернутой полисиндромной клинической картиной; б) весьма односторонним, суженным синдромом с избирательным поражением отдаленных органов и систем.

Первый вариант возникает при резорбции радионуклида с быстрым всасыванием и равномерным распределением в организме или в случаях сочетанного облучения с преобладающим внешним компонентом. Второй вариант бывает следствием избирательного депонирования радионуклидов с высокой органотропностью.

При хронической лучевой болезни от внутреннего облучения выделяют: а) период формирования патологического процесса; б) период клинических проявлений и исходов заболевания. Фаза восстановления не выделяется, поскольку репаративные процессы идут параллельно с прогрессирующим развитием повреждения тканей критических органов, наслаиваются на основные фазы.

Течение лучевой болезни от внутреннего облучения специально изучалось в эксперименте. Клиническая картина складывается из симптомов общего и избирательного (местного) поражения радиоактивными веществами в местах их преимущественного поступления в организм, отложения и выведения.

После однократного введения относительно небольших количеств долгоживущих изотопов первоначально развиваются функциональные нарушения в различных системах (повышение проницаемости сосудов, понижение иммунобиологических свойств организма, нарушение половой функции, извращения реактивности организма на

введение ряда лекарственных средств), весьма сходные с теми, которые отмечаются при повторных введениях радиоактивных изотопов с малыми $T_{эфф}$.

В зависимости от характера и количества попавших в организм изотопов в клинической картине заболевания может доминировать поражение отдельных органов и систем, например, системы крови или печени и селезенки, или щитовидной железы и т.д. При ингаляционных заражениях чаще встречаются бронхиты и бронхопневмонии, сопровождающиеся обычно конъюнктивитами. При заглатывании радиоактивных веществ на первый план могут выступать желудочно-кишечные расстройства.

Инкорпорация долгоживущих изотопов с большими $T_{эфф}$ приводит к медленному постепенному развитию процесса с отсутствием четко выраженной периодичности (фазовости) заболевания.

Для контактного воздействия радиоактивных веществ характерны поражения кожи. Поэтому лучевые дерматиты нередко сопутствуют инкорпорации радиоактивных веществ. Оценивая биологическую опасность, которая возникает в результате загрязнения покровов радиоактивными веществами, необходимо иметь ввиду три аспекта:

1. Местный, определяемый дозой нагрузкой на базальный слой кожи и волосяные сосочки.
2. Резорбтивный, измеряемый уровнем всасываемости с неповрежденных участков кожи.
3. Опосредованный, характеризуемый коэффициентом переноса радиоактивных веществ по пути: загрязненные руки - пища - желудочно-кишечный тракт.

Альфа - излучатели, как правило, не вызывают местного поражения кожи, так как это излучение проникает всего на несколько десятков микрон и задерживается в роговом слое эпидермиса. Длина пробега бета-частиц достигает миллиметров, причем, большая часть излучения поглощается в основном кожей. Рентгеновские лучи, гамма- излучение и нейтронные потоки относятся к высокопроникающим излучениям и пронизывают насквозь тело человека.

Ввиду особенностей выделения энергии бета-излучения (до 1 см в тканях) лучевые поражения кожи чаще обусловлены именно этим видом излучения.

Дозы на базальный слой эпидермиса от бета-излучения и контактные поражения кожи: 12 – 30 Гр – сухой радиодерматит; 30 – 100 Гр – влажный радиодерматит; 100 – 150 Гр – язвенно-некротические поражения кожи. При поражении более 50% кожи в дозе 200 Гр на уровне базального слоя эпидермиса возникает смертельный исход.

При контактном бета - излучении лучевые дерматиты характеризуются своеобразной пестротой поражения, связанной с неравномерностью облучения поверхности кожи. На рядом расположенных участках кожи дозы могут резко отличаться друг от друга. С этим связана и растянутость процесса во времени, появление последовательно возникающих новых очагов поражения в менее облученных участках.

Таким образом, лучевая болезнь от внутреннего облучения имеет определенные особенности по сравнению с лучевой болезнью, возникающей вследствие внешнего облучения. Эти особенности связаны с физическими, хроническими и биологическими свойствами радиоактивных веществ, попадающих в организм. Лучевая болезнь от внутреннего облучения в типичном виде может рассматриваться как преимущественно хроническое заболевание, на фоне которого постепенно формируется локальное избирательное поражение отдельных органов и систем.

Вариабельность клинического течения лучевой болезни от внутреннего облучения связана, в частности, с различиями в местах приложения действия радиации. Возникает

несоответствие между глубиной и тяжестью поражения “критических” органов и нарушениями, обусловленными общим облучением организма.

Осложнения, отдаленные последствия

В процессе развития лучевой болезни от внутреннего облучения нередко возникают осложнения, сходные с теми, которые сопровождают хроническую или острую лучевую болезнь от внешнего облучения. Такими осложнениями могут стать активизация хронических инфекционных заболеваний (туберкулез, дизентерия бруцеллез), а также геморрагические васкулиты, сердечно-сосудистые расстройства и др.

Для осложнений характерна самостоятельная, четко очерченная клиническая картина, моносиндромность проявления.

Все изменения, остающиеся или развивающиеся после клинического выздоровления схематически разделяются на три категории:

1. Изменения, которые полностью исчезают в период выздоровления.
2. Частично ликвидирующиеся расстройства.
3. Нарушения, не поддающиеся восстановлению.

Вариабельности клинических форм лучевой болезни от внутреннего облучения соответствует и многообразие отдаленных последствий заболевания. При этом отдаленные последствия впервые появляются спустя много лет после однократного или многократного внутреннего поступления радионуклидов. В определенных случаях до этого времени заболевание может практически ничем не проявляться.

К числу неопухолевых отдаленных последствий относятся нередко сохраняющиеся после любой формы лучевой болезни функциональная лабильность отдельных систем, астенические состояния с вегетативными дисфункциями, стойкие обменные нарушения, понижение сопротивляемости к инфекционным и другим заболеваниям, склеротические изменения паренхиматозных органов, отрицательное влияние на потомство и т.д.

Особую опасность представляют отдаленные последствия, связанные с развитием вторичных опухолевых процессов и системных заболеваний крови. Бластомогенный эффект радионуклидов, патогенетически сходный с действием внешнего облучения, имеет некоторые особенности. При попадании в организм радионуклидов, опухоли могут возникать в самых различных органах, в том числе в легких, в железах внутренней секреции, в половых органах, в печени в желудочно-кишечном тракте.

Краткие физическая и токсикологическая характеристики наиболее значимых нуклидов представлены ниже.

Приведены динамика формирования дозы во времени и распределение ее в организме и отдельных органах, а также сведения о коэффициентах всасывания и константах выведения.

Краткая физическая и токсикологическая характеристики наиболее значимых радионуклидов

Йод

Несмотря на то, что йод широко распространен в природе, в некоторых географических районах его содержание в объектах внешней среды очень незначительно. Суточная потребность в йоде равна примерно 150 мкг. Однако во многих районах, где не распространен эндемический зоб, суточное поступление йода меньше и составляет в отдельных случаях 50 -75 мкг. Считают, что в организм взрослого человека, который вдыхает $2,3 \times 10^4$ л воздуха в сутки, поступает в среднем 0,05 мкг йода в континентальных районах и около 35 мкг на морском побережье. Выведение йода с мочой практически равно его поступлению в организм. Основным из радионуклидов йода является ^{131}I .

Дозиметрические характеристики ^{131}I

Йод -131 является бета-гамма-излучателем.

Максимальная энергия бета-частиц, Мэв Их выход на распад %

0,250	2,8
0,335	9,3
0,608	87,2
0,812	0,7

Основные энергии гамма-излучения, Мэв Их выход на распад %

0,364	82,4
0,640	6,9
0,284	5,8

Период полураспада 8,05 суток

Период полувыведения Время, сутки

из щитовидной железы:

биологический	120
эффективный	7,5

из остальных тканей:

биологический	12
эффективный	4,8

Метаболизм йода. Размеры щитовидной железы и степень усвоения йода щитовидной железой из крови зависят от суточного поступления стабильного йода. МКРЗ принимает, что масса щитовидной железы взрослого человека равна 20 г, а в щитовидной железе накапливается 30% поступившего в кровь радионуклида.

Поступление в кровь. Содержащийся в пище йод быстро и практически полностью адсорбируется из ЖКТ в кровь. Для всех соединений йода коэффициент f_1 принимают равным 1.

Ингаляционное поступление. МКРЗ рекомендует относить все соединения йода к типу Б.

Распределение и удержание в организме. Удержание йода в теле человека хорошо описывается простой трехмерной моделью. Поступивший в кровь йод (30%) откладывается в щитовидной железе и выводится из нее с биологическим периодом полувыведения 120 суток. Оставшаяся часть йода (70%), преимущественно в форме органически связанного йода, равномерно распределяется во всех органах и тканях (кроме щитовидной железы) и удерживается в организме человека с биологическим периодом полуудержания 12 суток. От этой органически связанной формы йода 10% выводится непосредственно с калом.

Дозы от облучения щитовидной железы. Данные об ожидаемой эквивалентной дозе от облучения щитовидной железы человека, формируемой при поступлении в организм I Бк ^{131}I , выражаются в единицах зиверт.

Доза от облучения щитовидной железы детей и подростков при поступлении такого количества радиоактивного йода будет больше из-за меньшей массы щитовидной железы:

Возрастная группа	Масса щитовидной железы, г
24 -недельный эмбрион	0,2
ребенок в возрасте 1 года	2,0
8 лет	8,0
10 лет	10,0
взрослый человек	20,0

Для оценки дозы от облучения щитовидной железы при поступлении в организм (перорально или ингаляционно) 1 Бк ^{131}I можно использовать дозовые коэффициенты умножая их на отношение масс щитовидной железы взрослого человека и ребенка данной возрастной группы.

Сведения о нормативных величинах ^{131}I для персонала и населения приведены в таблице.

Данные о характере формирования дозы от облучения рассматриваемых органов (% накопленной дозы за определенный отрезок времени) приведены в таблице 2.

Таблица 2

Время (сутки) накопления определенной дозы (суммарной дозы до полного распада и выведения радионуклида из организма) в щитовидной железе и других органах и тканях за счет инкорпорированного ^{131}I .

Доза %	5	10	25	50	80	90
Щитовидная железа	0,6	1,0	3,0	7,5	17,5	25,0
Другие органы и ткани	0,4	0,7	2,0	5,0	11,0	16,0

Методы прижизненного определения ^{131}I в организме человека

Нижние пределы чувствительности (приблизительные):

- а) с помощью счетчика излучения человека (установка СИЧ) - 0,8 нКи (30 Бк) теоретически и 10 нКи (370 Бк) практически;
- б) с помощью счетчика, измеряющего содержание йода непосредственно в щитовидной железе - 3 нКи (110 Бк);
- в) с помощью анализа проб мочи - 0,1 нКи/л (3,7 Бк/л).

Особенности поражающего действия радиойода.

Наиболее частым и быстро развивающимся последствием введения больших доз йода-131 надо считать радиационный тиреоидит и гипотиреозидизм. При дозе в несколько Гр выявлено повышение функции щитовидной железы в ближайший период, которое может смениться состоянием гипофункции. Стойкий гипотиреозидизм развивается иногда при поглощенной дозе около 30 Гр.

Острые радиационные поражения ^{131}I тяжелой, средней и легкой степени можно ожидать при пероральном поступлении в организм следующих количеств:

Тяжесть поражения	Количество ^{131}I , МБк/кг
тяжелая	55
средняя	18
легкая	5

Повреждение железы связывают не только с непосредственным действием радиации на тиреоидный эпителий, но и повреждением сосудов и особенно радиоиммунными нарушениями.

Побочными клиническими симптомами острого поражения большими дозами радиоактивного йода является сухость во рту, боли в горле, тошнота. Сухость во рту

связана с радиационным воздействием на слюнные железы, концентрация йода в которых примерно в 30 раз выше, чем в крови. В области щитовидной железы появляются припухлость, краснота, локальное повышение кожной температуры.

В крови наблюдается нейтрофильный лейкоцитоз. В костном мозгу обнаруживается относительное уменьшение эритробластических элементов (за счет полихроматофильных нормобластов) и некоторое увеличение клеток миелобластического ряда за счет миелоцитов, палочкоядерных и сегментоядерных элементов. Однако эти изменения являются временными, т.к. поглощенная доза от ^{131}I в костном мозгу человека невелика.

Важной стороной биологического действия ^{131}I является его канцерогенный эффект. Рак щитовидной железы у человека индуцируется облучением в дозах более 0,1 -1 Гр. Латентный период колеблется от 5 до 35 лет. Риск возникновения рака щитовидной железы повышается с увеличением дозы и сохраняется > 40 лет.

ЦЕЗИЙ

Цезий -137 является одним из наиболее важных в радиационно гигиеническом плане радионуклидов - осколков деления, образующихся при делении ядер урана, плутония и тория.

При аварийном воздействии свежими продуктами деления его роль становится ведущей через 1,5-2 месяца (после того как уровни содержания изотопов йода в организме человека и во внешней среде станут очень незначительными).

Некоторые дозиметрические характеристики ^{137}Cs .

^{137}Cs и его дочерний нуклид ^{137}Ba являются бета-гамма - излучателями.

Биологический период полувыведения из организма человека:

для взрослых - от 40 до 200 суток (в среднем 110 суток);

для детей (в зависимости от возраста) - от 10 до 40-50 суток.

Максимальная энергия бета-частиц - 0,51 Мэв

Выход фотонного излучения на один акт распада - 0, 84 Мэв

Энергия фотонного излучения - 0, 662 Мэв

Метаболизм цезия. При попадании в организм цезий быстро и почти полностью всасывается из ЖКТ в кровь и относительно равномерно распределяется в организме, преимущественно концентрируясь в мышечной ткани.

При ингаляционном поступлении все соединения цезия следует относить к типу Б. Выводится цезий при ингаляционном поступлении преимущественно (до 80%) с мочой, при поступлении через рот - с калом и мочой. Эффективный период полувыведения у различных людей колеблется от 50 до 150 суток и выше. Если его значение для данного конкретного человека неизвестно, то его следует принимать равным 110 суток.

Данные по нормированию радиационного воздействия ^{137}Cs представлены в табл.1-4.

Ниже приводятся данные о характере формирования дозы за интересующий промежуток времени (% накопления дозы). Приведено время накопления определенной доли ожидаемой эквивалентной дозы (суммарной дозы до полного распада и выведения радионуклида из организма) за счет инкорпорированного ^{137}Cs :

Время, сут.	8	16	45	110	260	320
Доза, %	5	10	25	50	80	90

Для прижизненного определения ^{137}Cs в организме человека применяются как прямые, так и косвенные методы.

Нижний предел чувствительности стационарных счетчиков излучения тела человека с защитной камерой - приблизительно 1,0 нКи (40 Бк). Нижний предел чувствительности метода, использующего исследование проб мочи - приблизительно 15 пКи/ л (0,6 Бк / л).

Особенности поражающего действия радиоцезия. В результате особенностей распределения в организме цезий - ^{137}Cs создает почти равномерную дозу облучения различных органов и тканей. При попадании ^{137}Cs в больших количествах развивается картина острой лучевой болезни. Начальные реакции наблюдаются со стороны наиболее радиочувствительных органов гемопоэза, печени, а также со стороны некоторых ферментных систем. Для поражения цезием-137 характерны поражения лимфоидного аппарата, гонад, атрофические изменения в селезенке. При контактном воздействии развиваются лучевые поражения кожи. Отдаленные последствия проявляются развитием опухолей, главным образом, в мягких тканях.

СТРОНЦИЙ

При делении урана-235 в результате постепенного распада короткоживущих изотопов все больший удельный вес приобретают долгоживущие радионуклиды, в том числе стронций-90 (^{90}Sr). ^{90}Sr является одним из основных дозообразующих радионуклидов при радиационных авариях на АЭС.

Некоторые дозиметрические характеристики ^{90}Sr .

Стронций -90 является бета-излучателем.

Энергия бета-частиц - 5,5 Мэв, средняя энергия 1 Мэв.

Период полураспада 28 лет.

Эффективный период полувыведения $1,8 \cdot 10^5$ суток.

Через 10, 20, 30, 60, 90, 180 суток, 1 год, 5 и 50 лет после разового поступления $3,7 \times 10^4$ Бк радионуклида в костной ткани будет накоплена средняя доза равная соответственно: 0,1; 0,2; 0,3; 0,5; 0,8; 1,5; 2,5; 10,2 и 28 сЗв для стронция-90.

Данные по нормированию радиационного воздействия ^{137}Cs представлены в табл. 1-4.

Метаболизм стронция. После поступления в организм стронций быстро распределяется в межклеточной жидкости. Во всех случаях в отдаленные сроки после поступления нуклида критическим органом являются кости и костный мозг, где депонируется более 90 % стронция-90, содержащегося в поздние сроки во всем организме. Процент резорбции стронция-90 из желудочно-кишечного тракта от 5 до 100% в зависимости от растворимости, из легких - 40-50% . Выведение в зависимости от путей поступления происходит преимущественно с калом или мочой.

Методы прижизненного определения стронция-90 в организме человека

Применяются косвенные методы определения радионуклида (по результатам измерения активности проб биосубстратов).

Нижний предел чувствительности косвенных методов составляет 10 пКи/л (37 мБк/л).

Особенности поражающего действия радиостронция. При хронической, подострой или острой лучевой болезни, вызванной попаданием внутрь организма остеотропных радионуклидов, наибольшим изменениям подвергаются кроветворный костный мозг и костная ткань. Изменения в кроветворных органах и скелете носят дистрофический и диспластический характер. Нарушения процесса костеобразования проявляются как при физиологической, так и репарационной регенерации кости.

Разные остеотропные изотопы вызывают в костях однотипные изменения. При поражении долгоживущими изотопами изменения постоянно прогрессируют по мере

развития заболевания, при поражении короткоживущими изотопами вслед за начальными изменениями наступает восстановление.

Повреждения костной ткани альфа-излучателями при длительном воздействии хуже восстанавливаются, чем соответствующие бета-поражения. Риск развития остеосарком при инкорпорации ^{226}Ra принимают равным 45 случаям на 10^{-6} сГр $^{-1}$, тогда как предел риска развития остеосарком от ^{90}Sr может составить соответственно $4,5 \times 10^{-6}$ сГр $^{-1}$.

Ориентировочно остеотропные изотопы можно расположить по степени их опасности для человеческого организма в следующем порядке: плутоний -239, радий-226, стронций-90, церий-144, иттрий-91, стронций-89, барий-140.

ПЛУТОНИЙ

Плутоний является трансурановым элементом, обладающим высокой радиотоксичностью. Находится в южном пятне радиоактивного загрязнения, связанного с аварией на ЧАЭС (преимущественно в 30 километровой зоне). Среди радиоактивных изотопов плутония наибольшее значение имеют изотопы плутония-238 и плутония-239 (^{238}Pu и ^{239}Pu).

Некоторые дозиметрические характеристики ^{238}Pu и ^{239}Pu .

	^{238}Pu	^{239}Pu
Энергия альфа-частиц и их выход на один распад	5,49 Мэв (72 %) 5,45 Мэв (28 %)	5,11 Мэв (12%) 5,14 Мэв (15 %) 5,16 Мэв (73 %)
Энергия рентгеновского излучения и его выход на один распад	15 кэв (9%)	15 кэв (3%)
Период полураспада	86 лет	24400 лет
Биологический период полувыведения: из печени из скелета	40 лет 100 лет	40 лет 100 лет
Эффективный период полувыведения: из печени из скелета	27,3 года 46, 2 года	39,9 года 99,6 года

Метаболизм плутония. Абсорбция плутония из ЖКТ в кровь очень мала. МКРЗ рекомендует принимать величину коэффициента f_1 – доли элемента, достигающей жидкостей тела после поступления в ЖКТ, равной 3×10^{-5} для наиболее хорошо растворимых соединений (нитрат плутония), 1×10^{-6} для сравнительно плохо растворимых соединений плутония, как, например PuO_2 . Соединения плутония при ингаляции относятся к типу “П”. Наиболее опасный путь поступления плутония в организм человека – ингаляционный. Усвоение и отложение в организме нуклидов, попавших через легкие, как правило, выше, чем при заглатывании. Среди частиц радиоактивных аэрозольных выпадений встречаются частицы с высокой удельной радиоактивностью. Это так называемые “горячие частицы” (масса – $10^{-15} - 10^{-8}$ г, размер от сотых долей до десятка микрон). “Горячая частица” – это аэрозоль с массово-активным отношением 3×10^{11} Бк/г, в состав которого входят нелетучие и малорастворимые в воде радионуклиды, в том числе и плутония. При ингаляции горячих частиц с высокой удельной активностью в ограниченном объеме формируются высокие поглощенные дозы.

Плутоний, поступивший в кровь, в основном откладывается в печени и скелете. Принимают, что 0,45 активности, адсорбированной в кровь, откладывается в печени, 0,45

- в кости, а остальная часть (0,10) - в других органах и тканях и выводится с экскретами из организма в первый период после поступления.

Данные по нормированию радиационного воздействия ^{238}Pu и ^{239}Pu представлены в табл. 1-4.

Методы прижизненного определения плутония

Нижние пределы чувствительности ^{238}Pu ^{239}Pu

С помощью СИЧ 2-30 нКи 5-80 нКи
(75-1100 Бк) (185-3000 Бк)

С помощью метода 0,1 пКи 0,1 пКи
измерения активности (3,7 мБк) (3,7 мБк)
проб мочи

Данные о характере формирования дозы от облучения рассматриваемых органов (% накопления дозы за интересующий отрезок времени) приведены в таблице 8.

Таблица 8

Время накопления определенной доли ожидаемой эквивалентной дозы от облучения рассматриваемых органов (% накопления дозы за определенный отрезок времени) для ^{238}Pu и ^{239}Pu

Изотоп	Орган	Дозы, %					
		5	10	25	50	80	90
^{238}Pu	Скелет	3,5 года	7 лет	19 лет	46 лет	100 лет	-
	Печень	2 года	4 года	11 лет	27 лет	63 года	90 лет
^{239}Pu	Скелет	7,5 года	15 лет	40 лет	100 лет	-	-
	Печень	3 года	6 лет	16 лет	40 лет	90 лет	-

Особенности поражающего действия радиоплутония. Определяется воздействием α -излучения на органы и ткани. Острое воздействие плутония характеризуется сокращением продолжительности жизни, угнетением костно-мозгового кроветворения, развитием геморрагического синдрома.

Для подострого лучевого поражения плутонием характерно сочетание атрофических, дегенеративных и репаративных процессов. Наблюдается существенное снижение продолжительности жизни, изменения со стороны сосудистой системы, умеренное угнетение костно-мозгового кроветворения, сменяющиеся различной степенью восстановления, атрофические и дегенеративные изменения внутренних органов.

Хроническое поражение характеризуется небольшим сокращением продолжительности жизни, полиморфностью симптоматики с развитием в отдаленные периоды гиперпластических и гипопластических процессов в облученных тканях и органах.

Развитие пневмосклероза после ингаляции растворимых и нерастворимых соединений плутония является основной неопухоловой формой отдаленных последствий. При этом частота, тяжесть и распространенность процесса возрастают с увеличением поглощенной дозы, а латентный период уменьшается. При концентрации цитрата ^{239}Pu в легких, равной 8,25 кБк/г, в 100% случаев у животных развивается пневмосклероз к 415

сут (суммарная доза 13,9 Гр). Минимальная пневмосклерозогенная доза на легкие в случае поступления ^{239}Pu находится в диапазоне 0,4–0,6 Гр.

Риск развития рака легкого при ингаляции α – излучателей – $25 \times 10^{-6} \text{ сГр}^{-1}$.

Экспериментальные данные показывают, что по остеосаркомогенному действию ^{239}Pu приблизительно в 70–80 раз эффективнее ^{90}Sr . При воздействии плутония с повышенной частотой развиваются опухоли печени, эндокринных органов и лейкозы.

В табл. представлены определенные сведения о нормировании облучения от основных дозообразующих радионуклидов в соответствии с НРБ-2000.

Таблица 1

Значения дозовых коэффициентов, предела годового поступления с воздухом и допустимой среднегодовой объемной активности в воздухе отдельных радионуклидов для персонала

Радионуклид	Период полураспада	Тип соединения при ингаляции	Дозовый коэффициент возд. сГр/сЗв/Бк	Предел годового поступления ППП перс, Бк в год	Допустимая среднегодовая объемная активность ДОА перс, Бк/м ³
^3H	12,3 лет	Г1	1,8-11	1,1+09	4,4+05
		Г2	1,8-15	1,1+13	4,4+09
		Г3	1,8-13	1,1+11	4,4+07
^{14}C	5,73+03 лет	Г1	5,8-10	3,4+07	1,4+04
		Г2	6,2-12	3,2+09	1,3+06
		Г3	8,0-13	2,5+10	1,0+07
^{32}P	14,3 сут	Б	8,0-10	2,5+07	1,0+04
		П	3,2-09	6,3+06	2,5+03
^{40}K	1,28+09 лет	Б	2,1-09	9,5+06	3,8+03
^{51}Cr	27,7 сут	Б	2,1-11	9,5+08	3,8+05
		П	3,1-11	6,5+08	2,6+05
		М	3,6-11	5,6+08	2,2+05
^{89}Sr	50,5 сут	Б	1,0-09	2,0+07	8,0+03
		М	7,5-09	2,7+06	1,1+03
^{90}Sr	29,1 лет	Б	2,4-08	8,3+05	3,3+02
		М	1,5-07	1,3+05	5,3+01
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	6,02 час	Б	1,2-11	1,7+09	6,7+05
		П	1,9-11	1,1+09	4,2+05
^{131}I	8,04 сут	Б	7,6-09	2,6 +06	1,1+03
		Г1	2,0-08	1,0+06	4,0+02
		Г2	1,5-08	1,3+06	5,3+02
^{134}Cs	2,06 лет	Б	6,8-09	2,9+06	1,2+03
^{137}Cs	30,0 лет	Б	4,8-09	4,2+06	1,7+03
^{198}Au	2,69 сут	Б	2,3-10	8,7+07	3,5+04
		П	7,6-10	2,6+07	1,1+04
		М	8,4-10	2,4+07	9,5+03
^{238}Pu	87,7 лет	П	4,3-05	8,9+ 01	3,7-02
		М	1,5-05	1,3+03	5,3-01
^{238}U	4,47+09 лет	Б	4,9-07	6,0+03	2,4

		П М	2,6-06 7,3-06	6,0+03 2,7+03	2,4 1,1
²³⁹ Pu	2,41+04 лет	П М	4,7-05 1,5-05	7,8+01 1,3+03	3,2-02 5,3-01

Таблица 2

Значения дозовых коэффициентов, величин предельного годового поступления с воздухом и пищей, допустимой объемной активности во вдыхаемом воздухе и уровни вмешательства при поступлении с водой отдельных радионуклидов для населения

Радионуклид, РН	Период полураспада, T _{1/2}	Поступление с воздухом				Поступление с водой и пищей			
		Критическая группа КГ ^[1]	Дозовый коэффициент $\epsilon_{\text{нас,возд}}$ $\epsilon_{\text{нас,Зв/Бк}}$	Предел годового поступления, $\text{ПГП}_{\text{нас}}$ Бк в год	Допустимая средняя объемная активность, $\text{ДОА}_{\text{нас}}$ Бк/м ³	Критическая группа КГ	Дозовый коэффициент, $\epsilon_{\text{нас,Зв/Бк}}$	Предел годов. поступл., $\text{ПГП}_{\text{нас}}$ Бк в год	Уровень вмешательства УВ Бк/кг
³ H ^[2] [3]	12,3 лет	#2	2,7-10	3,7+6	1,9+3	#2 #2	4,8-11 1,2-10	2,1+7 8,3+6	7,7+3 3,3+3
¹⁴ C	5,73+3 лет	#5	2,5-9	4,0+5	5,5+1	#2	1,6-9	6,3+5	2,4+2
³² P	14,3 сут	#5	4,0-9	2,5+5	3,4+1	#2	1,9-8	5,3+4	5,8+1
⁴⁰ K	1,28+9 лет	#2	1,7-8	5,9+4	3,1+1	#2	4,2-8	2,4+4	2,2+1
⁵¹ Cr	27,7 сут	#2	2,1-10	4,8+6	2,5+3	#2	2,3-10	4,3+6	3,7+3
⁸⁹ Sr	50,5 сут	#5	7,3-9	1,4+5	1,9+1	#2	1,8-8	5,6+4	5,3+1
⁹⁰ Sr	29,1 лет	#5	5,0-8	2,0+4	2,7	#5	8,0-8	1,3+4	5,0
¹³¹ I	8,04 сут	#2	7,2-8	1,4+4	7,3	#2	1,8-7	5,6+3	6,3
¹³⁴ Cs	2,06 лет	#6	6,6-9	1,5+5	1,9+1	#6	1,9-8	5,3+4	7,3
¹³⁷ Cs	30,0 лет	#6	4,6-9	2,2+5	2,7+1	#6	1,3-8	7,7+4	1,1+1
¹⁹⁸ Au	2,69 сут	#2	4,4-9	2,3+5	1,2+2	#2	7,2-9	1,4+5	1,4+2
²³⁸ U	4,47+9 лет	#5	3,4-6	2,9+2	4,0-2	#2	1,2-7	8,4+3	3,1
²³⁸ Pu	87,7 лет	#6	4,6-5	2,2+1	2,7-3	#2	4,0-7	2,5+3	6,0-1
²³⁹ Pu	2,41+4 лет	#6	5,0-5	2,0+1	2,5-3	#2	4,2-7	2,4+3	5,6-1

^[1] Обозначение критических групп: #2 - дети в возрасте 1-2 года; #5 - дети в возрасте 12-17 лет;

#6 - взрослые (старше 17 лет).

^[2] неорганические соединения трития.

^[3] органические соединения трития.

Таблица 3

Допустимые уровни радиоактивного загрязнения рабочих поверхностей,

кожи, спецодежды и средств индивидуальной защиты, част/(см²× мин)

Объект загрязнения	Альфа-активные нуклиды*		Бета-активные нуклиды
	Отдельные**	прочие	
Неповрежденная кожа, спецбелье, полотенца, внутренняя поверхность лицевых частей средств индивидуальной защиты	2	2	200***
Основная спецодежда, внутренняя поверхность дополнительных средств индивидуальной защиты, наружная поверхность спецобуви	5	20	2000
Поверхности помещений постоянного пребывания населения и находящегося в них оборудования	5	20	2000
Поверхности помещений периодического пребывания персонала и находящегося в них оборудования	50	200	10000
Наружная поверхность дополнительных средств индивидуальной защиты, снимаемой в саншлюзах	50	200	10000

Примечания:

* Для поверхности рабочих помещений и оборудования, загрязненных альфа-активными радионуклидами, нормируется снимаемое (нефиксированное) загрязнение; для остальных поверхностей – суммарное (снимаемое и неснимаемое) загрязнение.

** К отдельным относятся альфа-активные нуклиды, среднегодовая допустимая объемная активность которых в воздухе рабочих помещений ДООА < 0,3 Бк/м³.

*** Установлены следующие значения допустимых уровней загрязнения кожи, спецбелья и внутренней поверхности лицевых частей средств индивидуальной защиты для отдельных радионуклидов:

- для Sr-90+Y-90- 40 част (см² × мин).

Таблица 4

Распределение соединений элементов по типам при ингаляции

Элемент	Символ	Тип	Химические соединения
третий	T	Г1 Г2 Г3	Пары тритированной воды Газообразный тритий Тритированный метан
углерод	C	Г1 Г2 Г3	Элементарный углерод Диоксид углерода (CO ₂) Оксид углерода (CO)
фосфор	P	П Б	Фосфаты Zn ²⁺ , Sn ²⁺ , Mg ²⁺ , Fe ³⁺ , Bi ³⁺ и лантаноидов Иные соединения
калий	K	Б	Все соединения
хром	Cr	М П Б	Оксиды, гидроксиды Галогениды, нитраты Иные соединения
стронций	Sr	М Б	SrTiO ₃ Иные соединения

технеций	Tc	П Б	Оксиды, гидроксиды, галогениды, нитраты Иные соединения
йод	I	Б Г1 Г2	Все соединения Элементарный йод Метилийод CH_3I
цезий	Cs	Б	Все соединения
золото	Au	М П Б	Оксиды, гидроксиды Галогениды, нитраты Иные соединения
уран	U	Б П М	$\text{UF}_6, \text{UO}_2\text{F}_2, \text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ $\text{UO}_3, \text{UF}_4, \text{UCl}_4$ $\text{UO}_2, \text{U}_3\text{O}_8$
плутоний	Pu	М П	Оксиды, гидроксиды Иные соединения, кроме хелатов

Этапы получения диагностической информации, лечебные и профилактические мероприятия при действии радионуклидов

В случае предположения об одномоментном поступлении в организм радиоактивных веществ (РВ) в количествах, превышающих допустимые, рекомендуются следующая схема и сроки получения информации от службы радиационной безопасности или СЭС, необходимые клиницистам для квалифицированного определения диагноза, прогноза и объема лечебно-профилактической помощи пострадавшим.

В первые 6 ч.:

1. Ф.И.О. пострадавшего
2. Дата (год, месяц, день, час, минуты).
3. Возраст (год рождения).
4. Максимально возможное количество веществ на месте контакта, ситуация, при которой произошло поступление нуклида, загрязнение одежды, перчаток, респиратора.
5. Форма и физико-химическое состояние соединения (раствор соли, порошок оксида металла и т.д.).
6. Путь поступления (кожа, рана, дыхательные пути, пищеварительный тракт и т.д.).
7. Первичная простейшая обработка и сроки ее от момента поступления нуклида. Характер процедуры (орошение, промывание, клизма, введение слабительного изотопа, прием жидкости, адсорбента, комплексообразователя).
8. Первые образцы слизи, мочи, кала, смыва со слизистых оболочек, промывных вод, крови для последующих определений (сроки взятия, количество).
9. Результаты первого прямого измерения содержания нуклида в моче (крови, кале, слюне, смыве из носа), устанавливающие поступления РВ и его ориентировочное количество, для бета-гамма излучающих изотопов - содержание нуклида в теле (легких), альфа-, бета-, гамма-измерителей (СИЧ и другие приборы).

В первые двое суток :

На основании ранее полученной информации и результатов измерений (см. пункты 8-10) определяют количество нуклида, попавшего в рану, на кожу, в тело человека.

Дополнительно проводят:

10. Измерение образцов выдыхаемого воздуха (торон, радон) - в случае поступления тория и радия.

11. Прогноз поглощенной дозы в критическом органе - для определения показаний к этиотропной терапии: а) иссечение раны; б) введение средств, ускоряющих выведение нуклида; при этом предполагается точность оценки $\pm 50\%$.

12. Прогноз формирования дозовой нагрузки в основных органах - для решения вопроса о последующих лечебно-профилактических мероприятиях и ориентировочных экспертно-трудовых рекомендациях на ближайшие сутки.

Главным принципом в случае острых отравлений радиоактивными веществами является неотложный характер медицинской помощи, сочетающей в себе, при наличии соответствующих показаний, симптоматическое лечение и этиотропную терапию.

Анализ имеющихся сведений по медицинским аспектам защиты организма от контактного и внутреннего облучения радионуклидами позволяют прийти к следующим выводам:

1. Своевременная очистка кожных покров от радиоактивного загрязнения с помощью жидкостной обработки является надежным способом профилактики радиационных поражений кожи у пострадавших.

2. Для предотвращения никорпорации радиоактивного йода в организме высокоэффективным, малотоксичным и удобным средством является йод калия.

3. Для снижения резорбции в желудочно-кишечном тракте радионуклидов: изотопов стронция, бария и цезия разработаны эффективные сорбенты.

4. Для стимуляции выведения из организма радионуклидов редкоземельных элементов рекомендован препарат пентацин.

5. При поступлении в организм радиоактивных веществ все лечебные мероприятия следует подразделить на две группы:

- этиотропная терапия (средства, препятствующие отложению нуклида и ускоряющие его выведение);

- патогенетическая и симптоматическая терапия, направленная на улучшение условий функционирования и нормализацию деятельности критических органов и систем.

Прямым показанием для проведения мероприятий по санитарной обработке пострадавших или назначения средств профилактики внутреннего облучения являются данные о фактических или прогнозируемых уровнях радиоактивного воздействия, превышающих установленные допустимые пределы.

При поступлении радионуклидов внутрь рекомендуется:

1. Прием сорбентов.
2. Промывание желудка.
3. Применение слабительного (кроме касторового масла).
4. Сифонные и обычные клизмы.

Среди источников внутреннего облучения наиболее важное значение имеет радиоактивный йод (^{131}I). **Йодная профилактика** является необходимой на протяжении всего опасного периода (2-3 недели после аварии на АЭС, ядерного взрыва). Осуществление этой меры медицинского характера предполагает выполнение и других реально возможных санитарно-гигиенических мероприятий, рассматриваемых в других методических пособиях.

Своевременный прием йода калия перед попаданием в организм ^{131}I обеспечивает снижение дозы облучения щитовидной железы на 97-99% и в десятки раз всего организма. Высокая эффективность йода калия проявляется в условиях его профилактического применения даже за 16-24 часов перед поступлением радиоактивного йода внутрь организма. Из-за специфики механизма действия стабильного йода на йодный обмен в щитовидной железе применение его препаратов после попадания

радиоактивного йода в организме оказывается менее результативным. В Республике Беларусь действует *“Инструкция по профилактическому применению йодистого калия в случае аварии на АЭС”*.

Однократный прием для взрослого человека - 125 мг йодистого калия (1 таблетка, если в ней содержится 125 мг; 1/4 таблетки при содержании в ней 500 мг). Препарат может быть в виде порошков.

Защитный эффект однократного приема йодистого калия длится 24 часа.

Взрослому человеку допускается прием йодистого калия по 125 мг в течение 10 суток, но не более (суммарная доза 1250 мг).

Дети старше 3 лет принимают 60-65 мг йодистого калия 1 раз в сутки. Им допускается принимать препарат в течение 10 суток, но не более (суммарная доза 600-650 мг).

Дети моложе 3 лет принимают 60-65 мг йодистого калия 1 раз в сутки. Им разрешается принимать препарат лишь двукратно в течение 2 суток (суммарная доза 120-130 мг).

Беременные и кормящие новорожденных женщины принимают йодистый калий 125 мг 1 раз в сутки. Им разрешается принимать препарат лишь двукратно в течение 2 суток (суммарная доз 250 мг).

Новорожденным, находящимся на грудном вскармливании, йодистый калий не назначается: они получают необходимое количество йода с молоком матери, которая принимает препарат в дозе 125 мг 1 раз в сутки (но не более 2 раз за 2 суток).

Противопоказаниями для приема йодистого калия являются:

- повышенная чувствительность к йоду;
- тиреотоксикоз (диффузный или узловатый токсический зоб);
- аутоиммунный тиреоидит;
- геморрагический иммунный микротромбоваскулит;
- узелковый периартериит.

Лицам, отмечавшим ранее повышенную чувствительность к йоду, страдающим указанными заболеваниями следует незамедлительно обратиться к врачу-терапевту или врачу-эндокринологу и выяснить возможность профилактического приема йодистого калия. Для лиц, которым профилактический прием препарата противопоказан, должны быть предусмотрены альтернативные меры защиты (временное отселение).

Побочные эффекты от приема йодистого калия могут проявляться в виде металлического вкуса во рту, конъюнктивита, тошноты, поноса, учащения сердцебиения, воспалений околоушной и подчелюстных лимфатических желез, кожных высыпаний. Эти эффекты не представляют опасности для здоровья людей и быстро проходят после окончания приема препарата.

“Концепция защиты населения при радиационных авариях на АЭС“ (утверждена Минздравом Республики Беларусь 28.05.1993 г.) регламентирует начало йодной профилактики при повышении естественного радиационного фона для данной местности на 20 микрорентген в час. При таком повышении мощности экспозиционной дозы, если даже она продержится в течение суток, доза облучения щитовидной железы у ребенка в возрасте 1 года не превысит за этот срок величины в 1 сЗв. В этих условиях при отсутствии йодистого калия существует доступная возможность защитить щитовидную железу приемом внутрь 5-7 капель 5%-й йодной настойки в полстакане молока. Такое количество йодной настойки могут принимать взрослые и дети любого возраста. Новорожденные, находящиеся на грудном вскармливании, получают стабильный йод с молоком матери, которая примет 5-7 капель йодной настойки.

При поступлении нуклидов стронция и бария применяются адсобар, полисурьмин, высоко очищенная целлюлозу, альгинат кальция. Указанные препараты (за исключением полисурьмина) следует применять в количествах 20-25 г на прим (в 0,5-1,0 стакана воды). Полисурьмин 4-5 г на прием.

В условиях быстрого применения (в течение ближайших 10-15 минут или за час с профилактической целью) можно обеспечить снижение всасывания этих радиоактивных веществ в желудочно-кишечном тракте.

Для снижения содержания радиоцезия применяется ферроцин. Показанием для применения ферроцина является наличие в организме радиоцезия в количестве 2 мкКи и более, определяемое на СИЧ, ферроцин назначают взрослым по 1,0 г; детям 6-14 лет - по 0,5 г. На прием 3 раза в день курсами в течение 10 - 30 дней.

Продолжительность курса зависит от эффекта выведения радионуклида цезия из организма. При проведении курса ферроцином можно уменьшать содержание цезия- 137 в организме в 2-3 раза у взрослых; 5-8 раз - у детей, и, соответственно, снизить дозовую нагрузку.

Для ускорения выведения плутония, церия, иттрия, трансплутониевых элементов, радионуклидов редкоземельных элементов применяются комплексообразующие агенты. Наиболее известен из них пентацин (тринатрий кальцевая соль диэтилентриаминпентауксусной кислоты). Пентацин принимается в виде 5% раствора на 5,0 мл (до 30,0) внутривенно (медленно) через 1-2 дня. Курс лечения (10-20 инъекций) при необходимости повторяют через 2-4 месяца.

Основанием для назначения пентацина должны служить данные радиометрического обследования пострадавших.

В связи с тем, что могут поражаться различными радионуклидами те или иные органы, целесообразно остановиться лишь на общих принципах. Потенциально угрожаемому органу должен быть предоставлен физиологический покой и созданы оптимальные условия для его деятельности. Это могут быть соответствующие меры диетического характера (по отношению к органам желудочно-кишечного тракта), создание определенного режима, дозированной мышечной, дыхательной нагрузки, мягкая заместительная и нормализующая регуляторные процессы терапия (прием витаминов, общеукрепляющие мероприятия).

Следует с осторожностью принимать средства, стимулирующие пролиферативные процессы и гормональные препараты, ограничиваясь строгими показаниями, во избежание реализации опухолевых процессов.

При клинических показаниях или сведениях о том, что доза общего облучения превышает 0,5 Зв, а локального 5 Зв (с учетом 100%-й погрешности предварительного расчета), пострадавшего направляют в соответствующее лечебное учреждение, где уточняют диагноз и проводят все лечебные мероприятия. Таким учреждением может быть любой стационар районной или городской больницы.

Сведения о возможном аварийном загрязнении или обнаружении в экскретах человека за срок около 1 месяца такого количества нуклида, которое соответствует облучению в дозе 0,1 ПГП, требуют активных диагностических мероприятий и носят название "уровень действия". Понятием "уровень действия" определяется расширенный объем целенаправленного дозиметрического контроля - на месте, уточнение всеми доступными средствами индивидуальной экспозиции, включая и некоторые диагностические приемы (разовое введение комплексообразователя). Выход за годовую величину ПГП и прогноз 3-5-кратного превышения допустимой дозы обосновывают и

некоторые лечебно-профилактические назначения (иссечение загрязненной раны, системное назначение средств, ускоряющих выведение и т.д.).

Места поступления (кожа, слизистые оболочки), и особенно рана, должны быть как можно скорее обмыты проточной водой либо слабым раствором нейтрального мыла или моющего средства (“Защита”), а все промывные воды собраны в специальные закрытые емкости для последующего радиометрического контроля.

Лечебные и профилактические мероприятия в стационаре включают:

- завершение в полном объеме дозиметрических определений и расчет формирования доз в основных критических органах;
- лечебные манипуляции, в том числе хирургические, по клиническим или дозиметрическим показаниям в сроки, соответствующие возможному периоду формирования заболевания, или по контрольным измерениям в соответствии с характером поступившего нуклида;
- клиническую оценку синдрома, сроков его формирования, дальнейшего течения и прогноза;
- выдачу соответствующих экспертно-трудовых рекомендаций для каждого пострадавшего.

Принципы общей оценки здоровья и трудоустройства пострадавших от действия ионизирующего излучения

Основная задача медицинского наблюдения за людьми, получившим повышенные дозы радиации, заключается в том, чтобы снизить риск дальнейшего облучения путем временного или связанного с воздействием радиации постоянного отстранения от работы. Решение постоянного отстранения от работы должно рассматриваться в каждом конкретном случае индивидуально с учетом следующих обстоятельств: характера аварии и возможности ее повторения в дальнейшем, индивидуальной дозы облучения, возраста, профессионального анамнеза и состояния здоровья - в соответствии с нормами радиационной безопасности.

Стойкая утрата трудоспособности (I-II группы инвалидности) имеет место преимущественно при наличии тяжелых местных радиационных поражений, после локального или крайне неравномерного облучения, приведших к грубым анатомическим дефектам, например, ампутации конечностей.