



Кафедра медицины труда, авиационной, космической и водолазной медицины

Радиационные поражения при радиоактивном заражении

Лекция по дисциплине «Общая и медицинская радиобиология»
для специальностей

30.05.01 Медицинская биохимия

30.05.02 Медицинская биофизика

Исполнитель:

студентка 5-го курса медико-профилактического
факультета (медицинская биохимия)

Сухова Ольга

Содержание

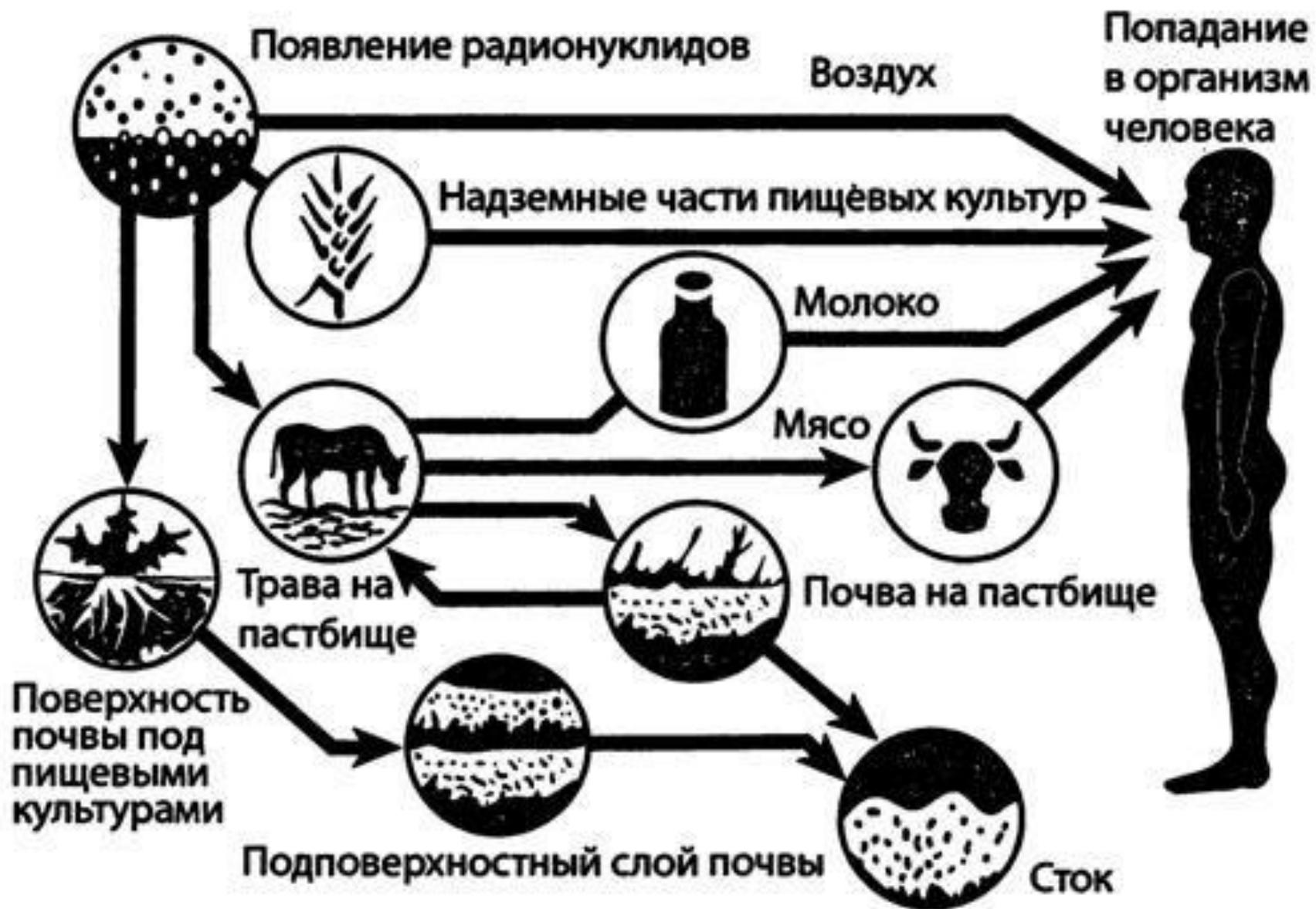
1. Введение;
2. Факторы, определяющие дозу облучения, поглощенную при радиоактивном заражении;
3. Факторы, влияющие на биологический эффект поглощенной при радиоактивном заражении дозы облучения;
4. Радиоактивное заражение кожных покровов;
5. Внутреннее радиоактивное заражение:
 - a. ингаляционное поступление радиоактивных веществ;
 - b. заражение радиоактивными веществами через ЖКТ;
 - c. поступление РВ через неповрежденные кожные покровы, раневые и ожоговые поверхности;
 - d. метаболизм радиоактивных веществ, всосавшихся в кровь;
 - e. выведение радиоактивных веществ из организма;
 - f. обмен поступивших в организм радионуклидов.
6. Заключение

1. Введение

Наружное и внутреннее радиоактивное заражение играют важную роль.

Внутреннее заражение продуктами аварийных выбросов может представлять значительно большую опасность, чем при воздействии продуктов ядерного взрыва.

При сочетании внешнего облучения и внутреннего радиоактивного заражения обычно преобладает действие внешнего облучения. Особенно это касается острых эффектов.



2. Факторы, определяющие дозу облучения, поглощенную при радиоактивном заражении

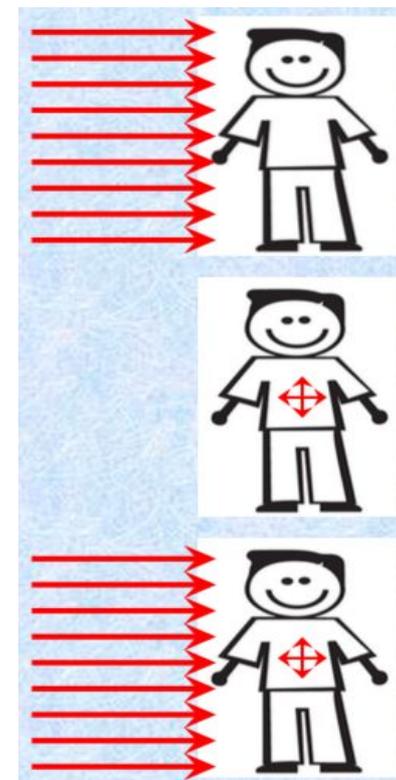
Поражающее действие РВ при непосредственном контакте с организмом практически полностью определяется испускаемым при их распаде излучением: α , β или γ . Лишь при поступлении в организм урана вредные эффекты возможны, в основном за счет токсического воздействия этого элемента, как тяжелого металла, на почки.

Основные факторы, определяющие радиобиологические эффекты:

- место расположения источника излучения по отношению к облучаемому организму;
- вид ионизирующего излучения;
- пространственное распределение дозы ионизирующего излучения в организме;
- временное распределение дозы ионизирующего излучения;
- доза облучения.

Место расположения источника излучения по отношению к облучаемому организму:

1. внешнее — источник излучения находится во внешней среде вне облучаемого организма;
2. внутреннее — облучение происходит в результате воздействия излучения от попавших в организм радиоактивных веществ (радионуклидов);
3. комбинированное — в реальной экологической обстановке встречается наиболее часто.



При радиоактивном заражении биологический фактор — количество энергии излучения, поглощенное в единице массы облучаемого объекта — **поглощенная доза**.

В случае радиоактивного заражения поглощенная доза не может быть измерена. Она будет нарастать в течение всего времени контакта с радиоактивным веществом. Поэтому величину радиоактивного заражения характеризуют **активностью**.

Величина поглощенной дозы зависит от:

- активности;
- вида излучения;
- энергии испускаемых частиц или квантов;
- периода полураспада $PВ$, который у разных изотопов может колебаться от долей секунды до сотен тысяч лет.
- скорости выведения $PВ$ из организма и скорость освобождения от них кожных покровов.

Активность

Мера количества РВ, выражаемая числом радиоактивных превращений в единицу времени, т.е. число атомов, распадающихся в единицу времени.

Чем выше активность, тем мощнее поток испускаемой энергии, тем сильнее ионизация, тем выше поглощенная за определенный промежуток времени доза.

Эти величины взаимно пропорциональны.

Для каждого отдельно взятого радионуклида во сколько раз выше его активность, во столько же раз выше поглощенная при контакте с ним при прочих одинаковых условиях доза.

Чем выше энергия частиц или квантов, тем больше актов ионизации может быть ими вызвано.

При каждом распаде частица (квант) реализует только часть своей энергии в пределах облучаемого объекта, и именно эта часть формирует поглощенную дозу. Другая часть, а ее относительная доля тем больше, чем выше энергия, уходит за пределы облучаемого объема.

При поступлении в организм короткоживущего изотопа его активность, а с нею и мощность дозы испускаемого излучения быстро снижаются; при поступлении долгоживущего – эти показатели уменьшаются гораздо медленнее. Если исходные активности одинаковы, поглощенная доза во втором случае оказывается гораздо выше.

При заражении осколками ядерного деления **с увеличением их возраста возрастает относительное содержание в смеси долгоживущих изотопов.**

Поэтому в случае поступления в организм одинаковых активностей «молодых» и «старых» продуктов ядерного взрыва **во втором случае («старых» продуктов) поглощенная доза и вредное действие окажутся выше.**

Возможность вызвать облучение тканей и органов и тем самым оказать повреждающее действие на биосубстрат в значительной степени определяется **путями поступления радионуклида в организм.**

На биодоступность радионуклида влияют **физико-химические свойства радионуклида**, в частности:

- степень дисперсности;
- растворимость в средах организма, а отсюда и всасываемость.

Продукты наземных или подземных ядерных взрывов в силу условий их образования оказываются связанными с частицами грунта, песка, шлака, и вредное их действие при поступлении в организм существенно ограничивается прочностью этой связи. Вымываемость радионуклидов из таких частиц не превышает 3%.

Карбонаты щелочно-земельных элементов, хорошо растворимые в биосредах организма.

Прочность связи радионуклидов с носителями, размеры частиц определяют и количество РВ, проникших во внутреннюю среду организма.

При ингаляционном поступлении эти факторы определяют долю РВ, оседающих на стенках дыхательной трубки, а затем отхаркивающихся, при алиментарном пути заражения — долю РВ, проходящую «транзитом».

3. Факторы, влияющие на биологический эффект поглощенной при радиоактивном заражении дозы облучения.

Основные факторы:

- продолжительность облучения;
- свойства излучения;
- распределение РВ в организме.

Продолжительность облучения зависит от:

- длительности поступления;
- периода полураспада;
- интенсивности выведения радионуклида

Внутреннее радиоактивное заражение обычно растянуто во времени, поэтому наибольшее значение для развития поражения, как и при внешнем продолжительном облучении, имеет мощность дозы. Чем она выше, тем раньше появляются и быстрее прогрессируют патологические проявления, тем на более глубоком уровне поражения происходят компенсация и стабилизация состояния.

Так же как и для внешнего облучения опасность радиоактивного заражения сильно зависит от свойств излучения и, прежде всего, его относительной биологической эффективности. В частности, при поступлении внутрь организма особенно опасны α -излучатели, а при заражении кожных покровов — β -излучатели.

Вид ионизирующего излучения	Опасность (эффективность)	
	при <u>внешнем</u> облучении	при <u>внутреннем</u> облучении
γ -излучение	+	+
β -излучение	+/-	+

α -Излучение из-за низкой проникающей способности практически **не представляет опасности при внешнем облучении** биологических объектов.

При внутреннем облучении, когда процесс α -распада радионуклидов, попавших в организм, осуществляется в непосредственной близости от жизненно важных клеток организма, **α -излучение является чрезвычайно опасным**. В внутреннем облучении α -излучение при одинаковой поглощенной дозе гораздо опаснее γ -излучения — в среднем способность α -излучения повреждать клетки в 20 раз выше, чем у γ -излучения.

Известный за последние годы случай внутреннего облучения α -излучением — отравление Александра Литвиненко полонием-210.

Полиция Великобритании считает, что Литвиненко был отравлен полонием-210, поступившим в организм, по-видимому, с пищей.



Инкорпорированные в организм радионуклиды в зависимости от своих химических и физико-химических свойств могут распределяться в организме либо равномерно, либо неравномерно — органотропно, т.е. преимущественно в определенных органах и тканях. Для большинства радионуклидов характерна органотропность, т.е. неравномерность распределения в организме.

«Тропность» отдельных радионуклидов к определенным органам и тканям и свойства химических соединений, в состав которых входят радионуклиды, определяют неравномерность облучения, которая в силу особенностей распределения РВ и малой проникающей способности β - и особенно α -частиц может достигать нескольких порядков.

В зависимости от типа распределения в организме радионуклиды подразделяют на 5 основных групп:

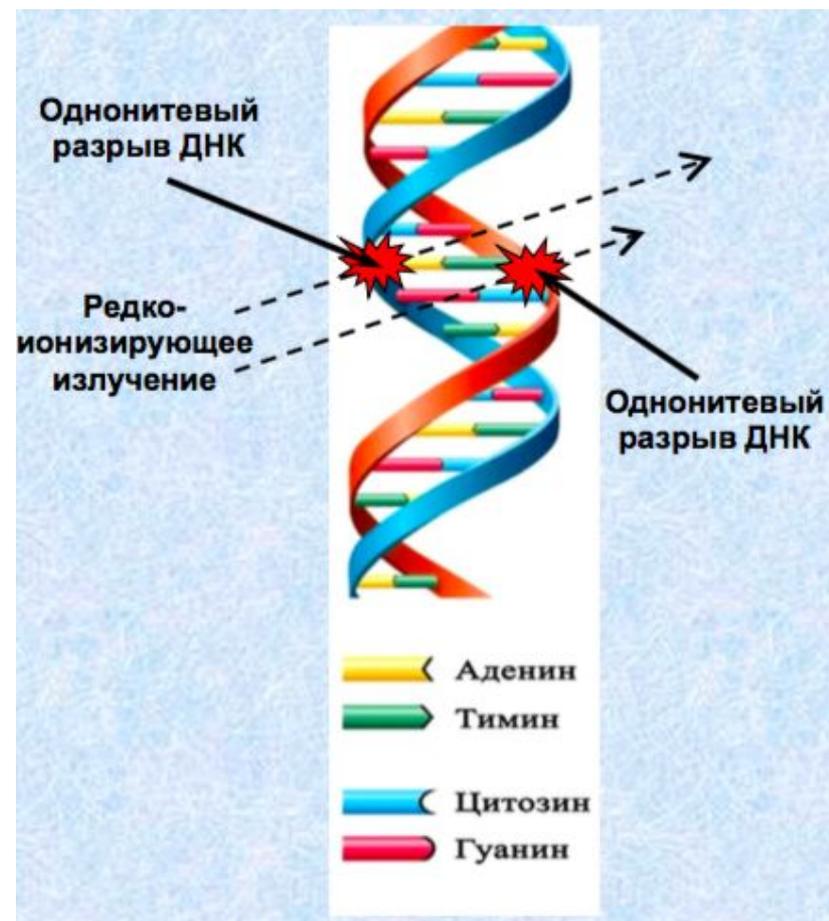
<i>Тип распределения</i>	<i>Характерные примеры</i>
Равномерный	Цезий (^{137}Cs)
Остеотропный, или скелетный	Стронций (^{90}Sr), радий (^{226}Ra)
Гепатотропный, или печеночный	Плутоний (^{239}Pu)
Нефротропный, или почечный	Уран (^{238}U)
Тиреотропный (накопление в щитовидной железе)	Йод (^{131}I)

Органы и ткани, в которых накапливается радионуклиды, подвергаются бóльшему радиационному поражению.

Действие зависит от вхождения в состав радионуклидов химических соединений, избирательно связывающихся определенными биологически важными микроструктурами клеток. Так, при одной и той же активности тритий в составе молекулы воды в 30 раз менее опасен, чем тот же тритий, входящий в молекулу тимидина, способную включаться в ядерную ДНК.

Если между появлением повреждений ДНК в комплементарных участках ОБЕИХ нитей ДНК проходит достаточное время, чтобы произошла репарация 1-го повреждения, то 2-е повреждение (в комплементарном участке второй нити ДНК) не приведет к образованию двунитевого разрыва и будет легко репарировано. Если репарация 1-го повреждения не успевает произойти до появления 2-го повреждения (в комплементарном участке второй нити ДНК), то возникает двунитевый разрыв – т.е. нерепарируемое повреждение ДНК, приводящее клетку к гибели.

Успеет или не успеет произойти репарация 1-го повреждения до появления 2-го повреждения в комплементарном участке другой нити ДНК, зависит от частоты, с которой ионизирующие частицы пролетают через молекулу ДНК, т.е. от **МОЩНОСТИ ДОЗЫ** облучения.



4. Радиоактивное заражение кожных покровов

Опасность радиоактивного заражения кожных покровов связана как с возможностью развития поражения самой кожи (лучевого дерматита, рака кожи), так и с возможностью попадания РВ внутрь организма (через рот, ингаляционно, путем всасывания через микротравмы и даже неповрежденную кожу).

Через 10 мин после попадания на кожу радионуклиды могут быть обнаружены во всей ее толще. Значительную роль в проникновении РВ в дерму и последующей их резорбции играют волосяные фолликулы. Прочность фиксации радионуклидов кожей зависит от свойств элемента, рН раствора, состояния водно-жировой пленки на поверхности кожи.

Активность радиоактивных продуктов со временем спадает вследствие их естественного распада. Поэтому наиболее быстро доза в коже накапливается в ближайшие сроки после радиоактивного заражения, и эффективность санитарной обработки тем выше, чем раньше после заражения она производится. Особенно это относится к продуктам ядерного взрыва при первичном заражении ими в ранние сроки после их образования.

При наружном радиоактивном заражении кожных покровов основная роль в возникновении поражения (лучевого дерматита) принадлежит β -излучению. γ -излучение лишь в незначительной мере реализует свою энергию в пределах кожи, а α -излучение (если оно присутствует) поглощается роговым слоем эпидермиса и не повреждает более глубоко расположенные слои.

РВ распределяются на 3 фракции или слоя:

- верхний «рыхлый» слой (около 90 % попавших на кожу РВ). Верхний слой легко удаляется при любой жидкостной обработке;
- средний слой (около 10 % от общего числа попавших на кожу радионуклидов);
- третий (глубокий) слой образуется в результате ионного обмена между структурами поверхности кожи и радионуклидами.

5. Внутреннее радиоактивное заражение

Труднорастворимые соединения радионуклидов в малых количествах часто оказываются в растворе в виде ионов, что значительно облегчает их проникновение через биологические барьеры, всасывание и распространение по организму.

Способы поступления РВ во внутреннюю среду организма:

- ингаляционно;
- алиментарным, или пероральным путем (т.е. через рот – с пищей и водой);
- через слизистые оболочки глаза;
- 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.

5а. Ингаляционное поступление радиоактивных веществ

Поверхность альвеол составляет около 100 м^2 , что в 50 раз превышает поверхность кожи, и при контакте с аэрозолями с радиоактивными газами и парами ингаляционный путь заражения — основной.

Откладываются в легких, преимущественно, частицы диаметром от 0,01 до 1 мкм. Имеют значение и анатомо-физиологические особенности дыхательной системы.

Метаболизм радионуклидов, оставшихся после выдоха в органах дыхания определяется процессами:

- ретроградный вынос частиц со слизью в результате деятельности мерцательного эпителия в глотку с последующим их заглатыванием (отчасти, отхаркиванием);
- резорбцией РВ в кровь через альвеолярные мембраны с последующим отложением в органах или выведением;
- фагоцитозом макрофагами нерастворимых частиц и коллоидных форм радионуклидов.

Значения допустимых уровней определены для стандартных условий, которые характеризуются величиной объема воздуха (V), с которым радионуклид поступает в организм на протяжении календарного года. Для лиц из персонала (V перс.) он составляет $2,5 * 10^6$ л/год, для лиц из населения (V нас.) – $7,3 * 10^6$ л/год.

Классификация радионуклидов по длительности периода полувыведения:

1. «М» — медленный отнесены соединения с Тэфф. более 100 сут, к классу
2. «П» — промежуточный — с Тэфф. от 10 до 100 сут и к классу
3. «Б» (быстрый) — с Тэфф. менее 10 сут.

5b. Заражение радиоактивными веществами через ЖКТ

Продвижение радионуклидов по ЖКТ не имеет каких-то особенностей по сравнению с нерадиоактивными веществами, содержащимися в пище. Резорбция РВ зависит от химических свойств вещества (главным образом, растворимости), физиологического состояния ЖКТ (рН среды, моторная функция), состава пищевого рациона. Молоко, например, способствует усилению всасывания радиоактивного стронция.

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. Меньше РВ всасывается в желудке. Всасывание в толстой кишке значения не имеет.

Нерастворимые и малорастворимые γ -излучатели облучают кишечник и другие органы брюшной полости, а β -излучатели – только слизистую оболочку кишки, в основном до выведения их с калом, в течение, примерно, 30 ч. Однако в криптах кишечника РВ могут задерживаться в течение длительного времени, формируя высокие локальные дозы.

5с. Поступление РВ через неповрежденные кожные покровы, раневые и ожоговые поверхности

Проникновение РВ через кожу зависит от площади загрязненного участка, ф/х свойств соединения, в состав которого они входят, растворимости в воде и липидах, рН среды, физиологического состояния кожи. Всасывание радионуклидов повышается при повышении температуры среды вследствие расширения кровеносных и лимфатических сосудов, раскрытия сальных и потовых желез.

Практическое значение имеет 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.

5d.Метаболизм радиоактивных веществ, всосавшихся в кровь

В крови радионуклиды могут находиться в свободном состоянии или в составе различных соединений и комплексов. Значительная часть радионуклидов связываются протеинами. Часть радионуклидов, попавших в кровь, выводятся из организма, другая часть проникают в органы и депонируются в них.

Знание характера распределения, особенностей обмена и депонирования РВ, возможного их перераспределения со временем необходимо для предсказания преимущественного поражения того или другого органа, дозы облучения этого критического органа, предсказания клинических проявлений и исхода поражения.

Понятия «концентрация» и «содержание» радионуклида в органе не синонимы. Под концентрацией понимают удельную активность радионуклида, выражаемую в Бк/г, а содержание — это абсолютное значение активности в целом органе.

Концентрация РВ в органе после однократного поступления постепенно снижается, что зависит от радиоактивного распада изотопа и его биологического выведения. Эти процессы независимы, но однонаправлены и могут быть описаны экспоненциальной функцией:

$$C_t = C_0 e^{-\lambda t},$$

где λ – константа уменьшения;

C_0 – начальная концентрация РВ в органе;

t – время после поступления РВ в орган;

C_t – концентрация РВ на время t .

Уменьшение количества радионуклидов в организме происходит в результате двух процессов:

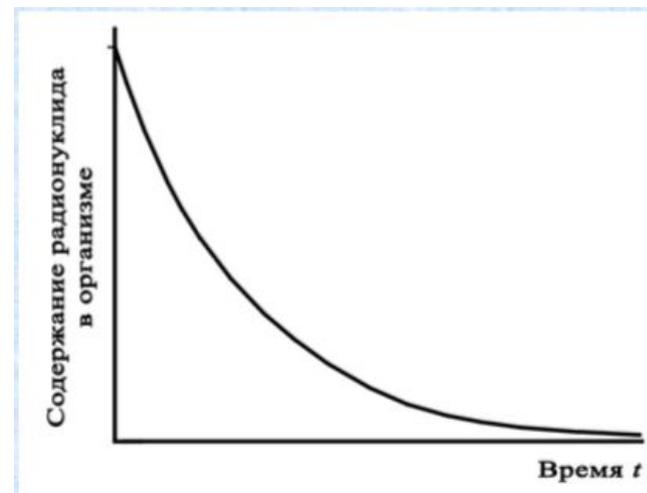
- биологического выведения;
- радиоактивного распада.

5е. Выведение радиоактивных веществ из организма

Осуществляется во времени по экспоненциальному закону:

$$C_t = C_0 \cdot e^{-\lambda_{\text{эфф}} t} = C_0 \cdot e^{-(\lambda_{\text{биол}} + \lambda_{\text{расп}}) t}$$

t – это время после поступления радионуклидов в организм, а $\lambda_{\text{эфф}}$ – константа эффективного выведения, равная сумме константы биологического выведения $\lambda_{\text{биол}}$ и константы радиоактивного распада $\lambda_{\text{расп}}$.



Вместо константы эффективного выведения $\lambda_{эфф}$ часто используют величину эффективного периода полувыведения $T_{эфф}$.

$T_{эфф}$ — время, в течение которого содержание радионуклида в организме (или в органе) снижается вдвое. Константа эффективного выведения $\lambda_{эфф}$ и эффективный период полувыведения $T_{эфф}$ связаны следующими соотношениями:

$$T_{эфф} = \frac{0,693}{\lambda_{эфф}} \quad \text{или} \quad \lambda_{эфф} = \frac{0,693}{T_{эфф}}$$

Способы выведения:

- почки;
- ЖКТ (в том числе с желчью);
- легкие;
- слюна;
- молоко;
- пот.

С калом выводятся РВ, поступившие алиментарным путем, а также и при ингаляционном заражении и вторичном заглатывании частиц, вынесенных ретроградно в глотку. В ЖКТ 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 трития, паров окиси трития, радона и торона, образующихся при распаде поступивших в организм радия и тория.

5f. Обмен поступивших в организм радионуклидов

1. Образование на месте поступления первичного депо (кожа, раны, слизистые оболочки ЖКТ, верхних дыхательных путей);
2. Всасывание с мест поступления в кровь или лимфу;
3. Депонирование в критическом органе (образование вторичных депо);
4. Выведение различными путями, в том числе и с явлениями рециркуляции.

6. Заключение

Указанные положения должны учитываться при оценке клинической картины поражения и планировании лечебно-профилактических мероприятий. Особенности пространственного и временного распределения дозы определяют характер течения поражения отдельными радионуклидами, различающийся как по особенностям проявления, так и по срокам формирования эффектов. В зависимости от этого меняются и конкретные диагностические и лечебные мероприятия в различные сроки с момента заражения, и прогностическая оценка данных радиометрических определений.

Источники литературы:

1. Ушаков И. Б. «Основы медицинской радиобиологии», 2004. – С. 148 – 160.
2. http://www.bio.msu.ru/res/DictionaryAttachment/207/DOC_FILENAME/MFK_2015_vesna_Izlucheniya_3.pdf.

Спасибо за внимание!