



**Дисциплина**  
**«Ветеринарная  
радиобиология»**

**Лектор: к.б.н., доцент Рязанцева Лариса  
Тихоновна**

# «Ветеринарная радиобиология»

Тема лекции:

**Закономерности обмена радионуклидов в организме животных. Пути поступления, распределения, накопления и выведения их из организма**



**Радиотоксикология** - наука, изучающая **пути поступления** радионуклидов в организм, их **распределения** в органах и тканях, **депонирование** в «критических» органах и **пути выведения** из организма. Она изучает биологические эффекты при внутреннем облучении, разрабатывает приемы и способы ускоренного выведения радионуклидов из организма.

Пути **поступления** радионуклидов: алиментарный, аэрогенный и кожный. Если принять загрязнение организма через кожу за одну условную единицу, то при аэрогенном оно будет в тысячу, а при алиментарном - в миллион раз больше! При поступлении с кормом и водой в пищеварительный тракт водорастворимые изотопы ( $I^{131}$ ,  $Cs^{137}$ ,  $Sr^{90}$ ) легко всасываются в начальных отделах желудочно-кишечного тракта и через 15-20 минут их можно зарегистрировать в крови.

Тип распределения радионуклидов, поступивших в кровь, зависит от их **валентности**. Являясь, по сути, нестабильными изотопами, они участвуют в обменных процессах так же, как и их изотопные и неизотопные химические аналоги, то есть элементы, обладающие той же валентностью.

Депонирование радионуклида в том или ином органе определяется участием их стабильного химического аналога в метаболизме в органе.

«Критический» орган (ткань) – орган (ткань), в котором наиболее всего аккумулируется определенный радионуклид ввиду его высокой **тропности** (от греч. tropos – «направление»), то есть его предпочтительности данным органом (тканью) и, следовательно, испытывающий наибольшую лучевую нагрузку.

По тропности к определенным органам и тканям радионуклиды распределяются на следующие группы:

- 1) *диффузные* (равномерные) – одновалентные радиоизотопы;
- 2) *остеотропные* («костные») – двухвалентные радионуклиды;
- 3) *ретикулоэндотелиальные* и *гепатотропные* («печеночные») – трех-, четырехвалентные радиоизотопы;
- 4) *нефротропные* («почечные») – пяти-, шестивалентные радионуклиды;
- 5) *тиреотропные* - все изотопы йода.

## «Критические» органы и ткани человека для радиоактивных изотопов ряда элементов

Элемент		Распределение в организме	Масса органа или ткани, кг	Доля полной дозы
Водород	H	Все тело	70	1,0
Углерод	C	Все тело	70	1,0
Натрий	Na	Все тело	70	1,0
Калий	K	Мышечная ткань	30	0,92
Стронций	Sr	Кости	7	0,7
Йод	I	Щитовидная железа	0,2	0,2
Цезий	Cs	Мышечная ткань	30	0,45
Барий	Ba	Кости	7	0,96
Радий	Ra	Кости	7	0,99
Торий	Th	Кости	7	0,82
Уран	U	Почки	0,3	0,065
Плутоний	Pu	Кости	7	0,75

Для некоторых радионуклидов нет четко выраженной тропности их распределения и депонирования. Так, изотопы цинка, циркония и иттрия могут депонироваться не только в костях, но и мягких тканях, включая скелетные мышцы. Поэтому группу остеотропных радионуклидов подразделяют на *чисто остеотропные* (стронций, барий, радий) и *преимущественно остеотропные* (итрий, цинк, церий).

Время, в течение которого организм выводит половину однократно поступившего радионуклида, называется **периодом биологического полувыведения**. Суммируясь с независимым от него периодом полураспада, оно составляет величину **периода эффективного полувыведения**. Это время, в течение которого из организма выводится половина депонированного в нем радионуклида.

Пути **выведения** радионуклидов: для легкорастворимых, быстро всасывающихся из ЖКТ в кровь и участвующих в обмене веществ – через почки. Труднорастворимые задерживаются в петлях толстого кишечника и выводятся в основном с калом. Моча и кал при этом становятся радиоактивными. Кроме этого радионуклиды выводятся через кожу, лёгкие и с животноводческой продукцией (молоко, яйцо, шерсть, мех, пух, перо).

Под **токсичностью** радионуклида, как источника внутреннего облучения, понимают его **поражающее** действие на организм.

Радионуклиды по их токсичности классифицируют на следующие группы с учетом степени выраженности их биологического действия:

**Группа А** – радионуклиды с **особо высокой** степенью радиотоксичности:  $Po^{210}$ ,  $Ra^{226}$ ,  $Th^{230}$  и др.

**Группа Б** – радионуклиды с **высокой** степенью радиотоксичности:  $I^{131}$ ,  $Sr^{90}$ ,  $Th^{234}$ ,  $U^{235}$ .

**Группа В** – радионуклиды со **средней** степенью радиотоксичности:  $P^{32}$ ,  $S^{35}$ ,  $Cl^{36}$ ,  $Ca^{45}$ ,  $Sr^{89}$ ,  $Cs^{137}$ ,  $Fe^{59}$  и др.

**Группа Г** – радионуклиды с **наименьшей** степенью радиотоксичности:  $C^{14}$ ,  $Cr^{57}$ ,  $Fe^{55}$ ,  $Cu^{64}$ ,  $Hg^{197}$  и др.

**Группа Д** – в эту группу входит  $H^3$  (тритий) и его химические соединения (окись трития и сверхтяжелая вода).

Поражающее действие (токсичность) радионуклида зависит от следующих факторов:

– **физических**: мощности дозы, периода полураспада (пространственно-временные характеристики), вида лучей (альфа, бета, гамма) и их энергии, ионизирующей и проникающей способности, схемы радиоактивного распада, а также физико-химического состояния соединения, в состав которого входит радионуклид;

– **биологических**: типа распределения в организме, «критического» органа или ткани, пути и скорости полувыведения из организма.

## ***Токсикология молодых продуктов деления***

Молодые продукты деления - это смесь короткоживущих радионуклидов. Спад их активности происходит очень быстро.

Наибольшее биологическое значение в составе смеси имеют радиоактивные изотопы йода (йод -131,132,133,135), а также короткоживущие изотопы стронция-89, 91, молибдена-99, теллура-132, бария-140, церия-143-они быстро выделяется из организма, несмотря на то, что эффективный их период короткий.

Биологическое действие короткоживущих радионуклидов происходит в основном за счет бета-излучения, доза которого значительно превышает дозу от гамма- излучения.

Токсикологическое действие смеси короткоживущих радионуклидов у сельскохозяйственных животных еще изучено мало.

## ***Метаболизм, токсикология радиоактивного стронция.***

**Стронций** - щелочноземельный элемент второй аналитической группы периодической системы элементов таблицы Д. И. Менделеева. Поэтому по химическим свойствам сходен с другими представителями этой группы - кальцием, барием. Он имеет более 10 радиоактивных изотопа - от стронция-81 до стронция-97, наиболее важными из которых являются стронций-89 (период полураспада 51 сутки). Максимальная энергия бета-излучения 1,46 МэВ, стронций-90 (период полураспада 28 лет, максимальная энергия бета-излучения 0,54 МэВ). Образуются они при делении урана в реакторах, а так же при взрывах атомных бомб, как продукты ядерного деления.

Стронций-90 претерпевает бета-распад и превращается в дочерний радиоактивный элемент иттрий-90. Который находится с ним в равновесном состоянии по радиоактивности. Период полураспада иттрия составляет 64,2 ч, максимальная энергия бета-частиц 2,18 МэВ.

Как и другие радионуклиды, стронций-90 выпадает на поверхность земли в виде твердых частиц или с дождем в растворимом или нерастворимом коллоидном состоянии и попадает на растительный покров или непосредственно на поверхность почвы.

Основной источник поступления радионуклида в организм сельскохозяйственных животных - корм, в меньшей степени - вода (2%) и воздух. Поступление в организм через органы дыхания с воздухом может иметь практическое значение.

Поступивший в организм с кормом и водой стронций-90 (как и Ca) хорошо всасывается в желудочно-кишечный тракт, уровень всасывания зависит от многих факторов (состава рациона, физико-химических свойств соединения, возраста животных, функционального состояния организма) и колеблется то 5 до 100%.

Большинство стронция всасывается у молодых животных - это связано с большой высокой потребностью их организма в щелочноземельных элементах, необходимых для построения скелета.

Добавки Ca к рациону с целью уменьшить усвоения стронция-90 эффективна только для молодых животных, а для взрослых и старых существенного влияния не имеет.

У изотопов стронция скелетный тип распределения. При любом поступлении в организм они более чем на 90% избирательно откладываются в костях. Содержание его в мышцах обычно не превышает 10% суточного поступления.

Отмечена высокая скорость обмена радиоизотопа в звене **кровь - органы - ткани**. Быстрое снижение концентрации его в крови после поступления в нее объясняется интенсивным включением радиоизотопа в органы и ткани и выведением через экскреторные органы и молочную железу (у лактирующих животных).

Стронций-90 накапливается в участках костей, обладающих наибольшей зоной роста (в диафизе больше, чем в эпифизе). В компактном веществе кости имеется всегда большая его концентрация, чем в губчатом. С возрастом животных эта разница сглаживается. Накопление стронция-90 в костях приводит к радиоактивному облучению не только костей и костного мозга, но и окружающих тканей.

При пероральном поступлении стронция-90 в организм главным каналом выведения является желудочно-кишечный тракт, а при ингаляционном - мочевыделительная система. Стронций-90 выделяется и с молоком, но в меньшем количестве. При увеличении содержания кальция в рационе переход стронция в молоко снижается. После прекращения поступления в организм, концентрация его в молоке также быстро снижается.

Период полувыведения стронция-90 из мягких тканей составляет 2,5-8,5 сут, а из костей. 90-154 сут.

Реальные возможности снижения перехода радиоизотопов в животную продукцию проявляется в организации рационов кормления и содержания животных.

Например, содержание животных на естественных пастбищах способствует повышению перехода радиоизотопов в продукты животноводства. А при переводе их на культурные пастбища или на стойловое содержание в 10-15 раз снижается поступление радиоизотопов в организм животных, следовательно, и в продукты животноводства. Поступивший в организм стронций-90 действует неблагоприятно.

Наиболее выраженные патологические изменения возникают в костях и в костном мозге в связи с преимущественной концентрацией его в костной ткани.

В разные сроки после поражения, как при однократном, так и при длительном поступлении стронция-90 у животных развиваются лейкозы, остеосаркомы, новообразования желез внутренней секреции и молочных, гипофиза, яичников и др.

Существенно изменяются спермо- и овогенез, функции печени и почек, иммунологическая реактивность организма.

## Токсикология радиоактивного цезия

**Цезий** - элемент первой аналитической группы в периодической системе элементов.

Многие химические соединения его (нитраты, хлориды, карбонаты) растворимы в воде, поэтому хорошо всасываются в желудочно-кишечный тракт, разносятся по всему организму и выводятся из него.

Из радиоактивных изотопов цезия наиболее биологически опасны цезий-134 и цезий-137. При распаде ядер атома цезия-137 излучаются бета- частицы с максимальной энергией - 1,46 МэВ и гамма-кванты. Период полураспада равен 30 годам (долгоживущий).

Период полураспада дочернего радиоактивного изотопа бария-137 равен 2,57 мин.

Радиоактивный цезий- продукт деления ядер тяжелых элементов (урана, плутония) по степени радиотоксичности относится к группе В.

Продукты ядерного деления, в том числе и цезий-137, от места образования распространяются в виде радиоактивного облака, состоящего из летучих веществ и частиц разного размера (от нескольких микрон до видимых глазом). Выпадающих вместе с осадками (дождь, снег, сухие осадки) в течении многих лет после ядерного взрыва, загрязняющих воздух, почву, растительность.

Один из основных источников попадания цезия-137 в растения - почва. Переработка и подготовка кормов к скармливанию могут значительно изменить в них концентрацию радионуклидов.

В естественных условиях цезий-137, как и другие радионуклиды, в организм животных, в том числе птиц, поступает через желудочно-кишечный тракт, органы дыхания, поврежденные и неповрежденные кожные покровы. Оральный путь основной. Поступление радионуклида через органы дыхания имеет намного меньшее значение, поскольку не все радиоактивные частицы задерживаются в дыхательных путях, часть их удаляется при выдохе, часть - со слюной, при кашле, которая животным заглатывается.

Усвоение цезия-137 осуществляется в основном в тонком кишечнике. Степень всасывания его в желудочно-кишечный тракт достигает 100%, так как он образует хорошо растворимые соединения. У молодых животных цезий усваивается больше, чем у старых. У животных с однокамерным желудком он всасывается быстрее, чем у животных с многокамерным. Это, очевидно, обусловлено более быстрой эвакуацией химуса из однокамерного желудка в кишечник. Отмечена исключительно высокая скорость обмена радиоизотопа в звене **кровь - органы- ткани**.

Характер метаболизма цезия-137 своеобразен, сходен обменом калия и определяется физико-химическими свойствами.

Накапливается цезий-137 в основном в мышцах и паренхиматозных органах, меньше - в крови, жировой ткани и коже. В условиях длительного непрерывного поступления с кормами и водой накопление его в организме происходит постепенно, а затем наступает состояние равновесия, (поступление = выведение). В мышцах овец накопление цезия-137 продолжается более 105 дней, а во внутренних органах- 8-18. Величина перехода его в мясо у травоядных выше, чем у всеядных. Концентрация цезия-137 в белке яйца в 2-3 раза выше, чем в желтке, а в скорлупе- лишь 1 -2% от общего содержания в яйце.

Цезий-137, как и другие радиоизотопы, выводится из организма с калом, мочой, а у продуктивных животных - с молоком, яйцами и другими путями. Скорость выведения зависит от уровня продуктивности животных. У высокопродуктивных изотоп выводится быстрее. Так, при суточном удое 20 л выводится до 13% суточного поступления радиоцезия, а при 14 л - 8,8%. Чем больше в рационе грубых кормов, тем меньше выводится с 1 л молока цезия-137.

Эффективный период полувыведения (Т эфф) по цезию-137 лактирующих коров составляет от 20 до 50 дней.

Важный объект исследования при радиохимическом анализе на содержания цезия-137 - мясо разных животных, в том числе птиц. При исследовании трех видов мяса (говядины, баранины и свинины) наибольшая концентрация этого радиоизотопа установлена в баранине; в говядине в 2 раза, а в свинине в 3 раза его меньше, в оленине в 10 раз выше, чем в мясе других животных. Зависит это от поедаемой животными растительности.

Оленина - олени в зимний период питаются мхами и лишайниками, в которых большая концентрация радиоцезия. В летний период концентрация цезия-137 в оленине снижается, т. к. животные едят в основном траву, активность которой по данному радиоизотопу меньше, чем у лишайников. Кроме того при пастбищном содержании увеличивается содержание цезия-137 в молоке.

Радиоационно-гигиенические нормативы, которыми руководствуются радиологи, исходят из предельно допустимых суточных доз (ПДС) поступлений радионуклидов в пищевом рационе людей. Отсюда можно определить допустимое суточное попадание радионуклидов с кормами сельскохозяйственных животных.

Такие нормы окончательно не установлены, но приблизительно в суточном рационе молочного скота цезия-137 не должно быть более 1,3 мкКи, для мясного скота - 0,33, а для овец - 0,175. Как исключение, можно допустить трехкратное превышение этих норм. Разумеется, что любые изменения норм ПДС для человека должны повлечь за собой изменения ПДС для животных.

## Токсикология радиоактивного йода

ЙОД- элемент седьмой группы периодической системы элементов, относится к подгруппе галогенов. В химических соединениях проявляет переменную валентность: -1 (йодиды), +5 (йодаты), +7 (перйодаты) В объектах внешней среды йод находится в виде этих анионов в элементарном состоянии. Для выделения йода используют труднорастворимый йодид серебра.

Известны 24 радиоактивных изотопа йода с массовыми числами в интервалах 117-126 и 128-139. Все они искусственные и являются продуктами ядерных реакций. Образуются при делении тяжелых ядер (урана, плутония). Наиболее важные: йод-125 (период полураспада 60 сут., максимальная энергия бета-излучения 0,61 МэВ), йод-129 ( $1,7 \cdot 10^7$  лет, 0,12 МэВ), йод-131 (8,06 сут., 0,26-0,81 МэВ), йод-133 (21ч, 0,4-1,2 МэВ)

В «свежих» выпадениях радиоактивных осадков, после проведенных атомных испытаний или в результате аварий на атомных предприятиях вначале биологически опасны йод-131, -132, -133 и 135, через неделю - йод-131 и 132, через две недели- только йод-131.

ЙОД-131 является смешанным бета и гамма-излучателем, высокотоксичным радиоизотопом (группа Б), среднегодовая допустимая концентрация его в воде равна ( $x^{-7}-10^{-9}$  Ки/л).

При аварийном радиоактивном выбросе из ядерного реактора в атмосферу радионуклида йода (особенно йод-131) является критическим компонентом загрязнения внешней среды и по сравнению с другими радионуклидами представляют наибольшую опасность инкорпорированного облучения населения в первые месяцы после аварии. Изотопы йода в смеси короткоживущих продуктов ядерного деления составляют около 20%.

Радиоактивный йод-131 обладает высокой летучестью химически активный элемент, имеет большую способность миграции по звеньям биологической цепи и высокий коэффициент концентрации. Он включается в компоненты биосферы **почва-вода-флора-фауна** и участвует в биологическом цикле обмена веществ. Хорошо растворимые в воде соединения йода усваиваются растениями и животными. В растениях йод-131 прочно задерживается и практически не удаляется с их поверхности при промывании водой. Корневое усвоение йода-131 при произрастании растений на гумусной почве превосходит усвоение стронция-90 в 14 раз, а на песчаной почве - в 2 раза.

Радиоактивные изотопы йода в организм животных поступают преимущественно через пищеварительный тракт с кормом и водой и могут попадать и через органы дыхания, кожу, конъюнктиву, раны и другими путями. Йод - активный биогенный элемент и, попадая в организм, в результате хорошей растворимости на 100% всасываются в кровь.

Через 13-14 часов концентрация его в крови уменьшается в 2 раза, т. к. он быстро перераспределяется по органам и тканям.

От 20 до 60% изотопов йода откладывается в щитовидной железе, которая является критическим органом для йода.

Радиотоксикологическое действие радиоактивного йода проявляется, прежде всего, в поражении щитовидной железы. Малые дозы не вызывают заметных нарушений в тиреоидной ткани. Большие дозы йода-131 у всех животных приводят к разрушению щитовидной железы и замещению паренхимы соединительной ткани.

Существенные изменения возникают в нервной и эндокринной системах. Атрофия щитовидной железы сопровождается слизистым перерождением мышцы сердца, подкожной клетчатки, ожирением печени. Отмечаются глубокие изменения в кроветворных органах, которые приводят к анемии, лимфопении, нейтропении и тромбоцитопении.

Из организма животных и птиц радиоактивный йод, как и стабильный, выводится преимущественно почками с мочой, через желудочно-кишечный тракт с калом, а у продуктивных животных - с молоком, у птиц - с яйцами.

При длительном поступлении йода-131 курам-несушкам с кормом в желток переходит до 16%, а в белок - около 1% от суточного количества.

В местностях с недостаточным содержанием йода у коров, потребляющих загрязненные корма и воду, выделение йода-131 с молоком больше, чем в местностях с нормальным содержанием йода. Выведение йода-131 с молоком в определенной мере уменьшает накопление его в щитовидной железе, так как установлено, что у лактирующих коров концентрация йода-131 в щитовидной железе ниже, чем у сухостойных.

На уровень усвоения животным йода-131 влияет содержание в кормах изотопных (стабильный йод) и неизотопных (хлор) носителей. Например, введение в организм стабильного йодида калия на 50% снижает включение радиоактивного йода в щитовидную железу овец и телят. Дача йодида калия курам (80 мг на курицу) снижает включение йода-131 в яйцо на 70%, а неизотопного носителя йода в виде хлористого калия - даже на 90%. Таким образом, эти препараты могут использоваться в качестве профилактики накопления радионуклидов йода в организме.

Для снижения поступления радиоактивных элементов животных в период йодной опасности переводят на стойловое содержание. Для кормления используют запасы кормов, не загрязненных радионуклидами, а при их отсутствии скармливают скошенную зеленую массу, используют пастбища рационально.

При выпасе коров на удобренных пастбищах с хорошим травостоем содержание йода-131 в молоке снижается до 50%. Это связано с понижением концентрации радионуклидов в растениях на единицу массы вследствие увеличения урожайности на удобренных почвах.