

КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ АЛЬ-ФАРАБИ



Зарипова Ю.А.

ОСНОВЫ ПРОИЗВОДСТВА РАДИОАКТИВНЫХ ИЗОТОПОВ

Сборник лекций для студентов по направлению подготовки
«Физические и химические науки»

Алматы 2025

СОДЕРЖАНИЕ

- Лекция 1. Основные ядерно-физические термины и определения.
- Лекция 2. Общие физико-химические свойства радиоактивных соединений.
- Лекция 3. Радиоактивность и закон радиоактивного распада.
- Лекция 4. Основы ядерных реакций.
- Лекция 5. Радиоактивное мечение химических соединений.
- Лекция 6. Производство радионуклидов на циклотроне.
- Лекция 7. Производство радионуклидов на реакторе.
- Лекция 8. Применение медицинских генераторов радионуклидов.
- Лекция 9. Контроль качества радиоактивных изотопов.
- Лекция 10. Применение радиоактивных изотопов.
- Лекция 11. Радиационная безопасность и обращение с радиоактивными материалами.***

Лекция 11. Радиационная безопасность и обращение с радиоактивными материалами.

Цель лекции: Изучить основные принципы, нормативные требования и практические меры обеспечения радиационной безопасности в медицине, направленные на защиту пациентов, персонала и населения от вредного воздействия ионизирующего излучения при диагностических и терапевтических процедурах.

Введение: При воздействии радиации на организм может возникать детерминированные (ожоги кожи, катаракта, бесплодие, смерть) и(или) стохастические (генетические эффекты, мутации, рак) эффекты. Целью радиационной защиты является предотвращение детерминированных эффектов и ограничение вероятности стохастических эффектов. Субъектами воздействия радиоактивного излучения в медицине могут являться пациенты, персонал, члены семьи пациента, население. Радиационная безопасность – это совокупность мер, направленных на защиту человека и окружающей среды от вредного воздействия ионизирующих излучений. В ядерной медицине радионуклиды используются для диагностики (например, технеций-99m, фтор-18) и терапии (йод-131, самарий-153). При их производстве персонал работает с открытыми источниками радиации, поэтому важно соблюдать строгие правила безопасности.



Основная часть:

На современном этапе развития медицины использование ионизирующего излучения (ИИ) получило большое распространение, как в области диагностики, так и в области терапии различного спектра патологий. С использованием ИИ проводятся десятки диагностических и, в случае необходимости, терапевтических процедур. Эти процедуры чаще всего являются плановыми, назначаются врачом и проводятся в специальных медицинских учреждениях.

Санитарные правила распространяются на всех физических и юридических лиц, осуществляющих:

- 1) проектирование, строительство, реконструкцию, капитальный ремонт, ввод в эксплуатацию, эксплуатацию и вывод из эксплуатации радиационных объектов, добычу, производство, хранение, использование, транспортирование радиоактивных веществ и других источников ионизирующего излучения;

- 2) сбор, хранение, переработку, транспортирование и захоронение радиоактивных отходов;

- 3) монтаж, ремонт и наладку приборов, установок и аппаратов, действие которых основано на использовании источников ионизирующего излучения, и устройств (источник), генерирующих ионизирующее излучение;

- 4) радиационный контроль техногенных источников ионизирующего излучения.

Санитарные правила также распространяются на физических и юридических лиц, от деятельности которых зависит уровень облучения людей природными источниками ионизирующего излучения, и организации, выполняющие работы на территории, загрязненной радиоактивными веществами.

Радиационная безопасность на радиационном объекте и вокруг него обеспечивается:

- 1) соблюдением требований нормативных правовых актов при подготовке проектной документации радиационного объекта, включающей обоснование выбора района и площадки для размещения радиационного объекта, уровня физической защиты источников излучения, зонирование территории вокруг и внутри объектов 1 и 2 категории;

- 2) созданием безопасных условий эксплуатации технологических систем;

- 3) санитарно-эпидемиологической оценкой деятельности с источниками облучения;

- 4) организацией и проведением радиационного контроля;

- 5) планированием и проведением мероприятий по обеспечению радиационной безопасности персонала и населения при нормальной работе объекта, его реконструкции и выводе из эксплуатации, а также при радиационных авариях;

- 6) повышением квалификации и знания правил работы с источниками излучения персонала группы "А".

Радиационная безопасность персонала обеспечивается:

- 1) организацией радиационного контроля;
- 2) знанием и соблюдением правил работы с источниками излучения;
- 3) организацией учета и контроля источников излучения;
- 4) применением индивидуальных средств защиты;
- 5) ограничениями допуска к работе с источниками излучения по возрасту, полу, состоянию здоровья, уровню предыдущего облучения и другим показателям;
- 6) созданием условий труда, отвечающих требованиям;
- 7) переводом беременной женщины на работу, не связанную с источниками излучения, со дня получения информации о факте беременности, на период беременности и грудного вскармливания ребенка;
- 8) достаточностью защитных барьеров, экранов и расстояния от источников излучения, а также ограничением времени работы с источниками излучения;
- 9) соблюдением контрольных уровней радиационных факторов на радиационном объекте;
- 10) организацией системы информации о радиационной обстановке;
- 11) проведением эффективных мероприятий по защите персонала при планировании повышенного облучения в случае угрозы и возникновении аварии.

При разработке мероприятий по снижению доз облучения персонала и населения исходят из следующих основных положений:

- 1) поддержание на низком и достижимом уровне, с учетом экономических и социальных факторов индивидуальных доз облучения и числа обучаемых лиц при использовании любого источника излучения;
- 2) мероприятия по коллективной защите людей осуществляются в отношении источников излучения, где возможно достичь наибольшего снижения коллективной дозы облучения при минимальных затратах;
- 3) снижение доз от каждого источника излучения достигается за счет уменьшения облучения критических групп для этого источника излучения.

Радиационный контроль является частью производственного контроля и должен охватывать все основные виды воздействия ионизирующего излучения на человека. Целью радиационного контроля является получение информации об индивидуальных и коллективных дозах облучения персонала, пациентов и населения во всех условиях жизнедеятельности человека, а также сведений о всех регламентируемых величинах, характеризующих радиационную обстановку. Результаты радиационного контроля

используются для оценки радиационной обстановки, установления контрольных уровней, разработки мероприятий по снижению доз облучения и оценки их эффективности. Объектами радиационного контроля являются:

- персонал групп "А" и "Б" при воздействии на них ионизирующего излучения в производственных условиях;
- пациенты при выполнении медицинских рентгенорадиологических процедур;
- население при воздействии на него природных и техногенных источников излучения;
- среда обитания человека.

Радиационный контроль радиационного объекта предусматривает проведение контроля и учета индивидуальных доз облучения работников (персонала). В зависимости от объема и характера работ радиационный контроль осуществляется службой радиационной безопасности или лицом, ответственным за радиационный контроль, прошедшим специальную подготовку. Радиационная безопасность персонала, населения и окружающей среды считается обеспеченной, если соблюдаются основные принципы радиационной безопасности (обоснование, оптимизация, нормирование) и требования, установленные Законом Республики Казахстан "О радиационной безопасности населения", Приказом № ҚР ДСМ-71 и Санитарными правилами.

Принципы радиационной защиты пациента:

1. Обоснование применения ИИ. Применение ИИ в медицине приносит пользу пациентам, которая намного превосходит затраты и потери здоровья от облучения.
2. Оптимизация защиты от ИИ. Дозы у облучаемых лиц и их число нужно снижать настолько, насколько это возможно.
3. Ограничение дозы (нормирование) к пациенту не применяется.

Принцип обоснования: В зарубежной практике разработаны, утверждены и внедрены различные системы критериев обоснования назначений: iR²f² (Великобритания), рекомендации Американского колледжа радиологов (США), Европейские критерии обоснования назначений (Евросоюз) и др.

Особенностями данных критериев являются:

- выбор методов лучевой диагностики в соответствии с их доказанной диагностической эффективностью (по данным мета-анализа публикаций за последние 5 лет);
- постоянная актуализация критериев по мере внедрения новых методов лучевой диагностики;
- дополнение критериев типовыми протоколами проведения РРИ;

- наличие сведений о радиационном риске для пациента или значений стандартных (типичных) эффективных доз пациентов для каждого из рекомендованных РРИ;

- внедрение критериев в систему электронного документооборота медицинских организаций (больничные информационные системы, системы поддержки принятия клинических решений).

Опыт внедрения крупными зарубежными медицинскими центрами радиологических информационных систем, включающих в себя критерии обоснования назначений, позволяет судить о существенном снижении (на 20–30%) числа необоснованных или неоптимальных РРИ.

Принцип оптимизации. Общепринятым в мировой практике является комплексный процесс оптимизации защиты, реализуемый на двух уровнях: общем, на уровне государства или отдельного региона, посредством установления референтных диагностических уровней (РДУ); и частном, на уровне отдельной медицинской организации или отделения лучевой диагностики, посредством управления дозами пациентов и обеспечения качества проведения РРИ.

Как правило, используется следующая последовательность этапов проведения оптимизации выбранного РРИ:

- определение стандартных (типичных) доз облучения пациентов от данного РРИ в репрезентативном количестве МО;

- установление РДУ для данного РРИ как 75% перцентиля распределения стандартных доз облучения пациентов;

- определение рентгеновских кабинетов с аномально высокими или низкими дозами путем сравнения стандартных доз пациентов для данного РРИ с соответствующими значениями РДУ;

- проведение расследования причин аномально высоких или низких доз пациентов в отдельных рентгеновских кабинетах, выявление факторов, обуславливающих аномально высокие или низкие дозы, и их коррекция с установкой новых методик работы медицинского персонала;

- оценка возможности использования предложенных методик на практике;

- повторное определение стандартных доз, установление новых РДУ.

Референтный диагностический уровень (РДУ) - установленное значение стандартной дозы или стандартного произведения дозы на площадь пучка рентгеновского излучения при типовых рентгенодиагностических процедурах в регионе или стране. Значение РДУ обычно устанавливают равным 75 %-му квантилю распределения стандартной дозы или

стандартного произведения дозы на площадь при проведении данной процедуры в различных МО региона или страны. Установленные РДУ используют в МО региона или страны для оценки того, не является ли уровень облучения пациента в данной МО нетипично большим или малым для рассматриваемой процедуры.

Стандартная доза – средняя доза у взрослых пациентов обоего пола с массой тела 70 ± 10 кг при проведении выбранного РРИ в типовом режиме работы данного аппарата для рентгеновской или радионуклидной диагностики с типовым протоколом его выполнения.

75 %-й квантиль (75 %-й процентиль или верхний квартиль) - значение исследуемой величины, ниже которого расположено 75 % результатов наблюдений, измерений.

Принцип нормирования. В современных международных рекомендациях принцип ограничения доз при использовании ИИИ в медицине не применяется, так как его использование может негативно сказаться на качестве оказания медицинской помощи пациентам. Так, Публикации МКРЗ 103 и 105 констатируют, что медицинское облучение носит намеренный и добровольный характер при условии, что оно принесет прямую пользу здоровью пациента.

В Нормах безопасности МАГАТЭ GSR part 3 и в Стандарте безопасности SSG-46 предложен новый подход. Для РРИ, которые проводятся для профессиональных и юридических целей, лицам, участвующим в биомедицинских исследованиях, рекомендовано использование граничных доз. Граничные дозы не являются пределами дозы, и превышение граничной дозы не означает несоответствия установленным требованиям, однако в случае каждого такого превышения необходимо проводить расследование.

Заключение:

Радиационная безопасность является неотъемлемой частью современной медицинской практики, особенно в условиях широкого применения ионизирующего излучения для диагностики и лечения заболеваний. Основу системы радиационной защиты составляют три принципа: обоснование, оптимизация и нормирование.

- Обоснование – применение излучения только при доказанной необходимости и пользе для пациента.

- Оптимизация – минимизация доз облучения при сохранении диагностической и терапевтической эффективности, в том числе через установление референтных диагностических уровней (РДУ).

- Нормирование – контроль доз для персонала и населения, предотвращение их превышения.

Радиационная безопасность обеспечивается организацией радиационного контроля, использованием средств защиты, соблюдением санитарных норм, контролем источников излучения и повышением квалификации персонала. В целом, система радиационной безопасности направлена на безопасное использование ионизирующего излучения, защиту здоровья человека и окружающей среды при одновременном обеспечении эффективности медицинской помощи.

Контрольные вопросы:

1. Что понимается под радиационной безопасностью и какова её основная цель?
2. Какие различают виды эффектов воздействия ионизирующего излучения на организм человека?
3. Кто относится к субъектам воздействия ионизирующего излучения в медицинской практике?
4. В чём заключается принцип обоснования применения ионизирующего излучения в медицине?
5. Что означает принцип оптимизации радиационной защиты и как он реализуется на практике?
6. Почему принцип нормирования доз не применяется к пациентам в медицинской радиологии?
7. Что такое референтный диагностический уровень (РДУ) и как он используется?
8. Какие нормативные документы регулируют вопросы радиационной безопасности в Республике Казахстан?