

Лекция № 10

Тема: Источник ионизирующего излучения и обеспечение радиационной безопасности в медицинской практике.

Рентгенорадиологические методы исследования относятся к наиболее распространенным при диагностике заболеваний. С помощью рентгенорадиологических методов устанавливаются 60-80% клинических диагнозов, а при отдельных нозологических формах до 100%.

В последнее время значительное развитие получила клиническая диагностика заболеваний человека с помощью введения в его организм радиоизотопов в индикаторных количествах. Эта область медицины называется ядерной медициной.

Радиофармпрепараты вещества предназначенные для наблюдения и оценки физиологических функций отдельных внутренних органов. Характер распределения РФП в организме определяется способами его введения, а также такими факторами, как величина кровотока, объема циркулирующей крови и наличием того или иного метаболического процесса.

Итак, радионуклидная диагностика заключается в анализе информации, полученной после введения в организм пациента определенного химического или биохимического соединения, меченого гамма-излучающим радионуклеидом, с последующей регистрацией пространственно-временного распределения этого соединения в организме с помощью позиционно-чувствительного детектора гамма-излучения. Полученные в лаборатории статические изображения изучаемого органа свидетельствуют о наличии и размере патологической области с аномальным распределением радиофармпрепарата. Изображение органов, избирательно концентрирующих препарат, получают методом сцинтиграфии.

Пространственно-временная картина распределения радионуклида дает представление о топографии, форме, размерах органа, а также о наличии в нем патологических очагов.

Методы ядерной медицины являются альтернативой таким методам как функциональная диагностика (ЭКГ, ЭЭГ). Прямое отображение кровотока, микроциркуляция и метаболизма (в том числе объемное) миокарда и головного мозга методами ядерной медицины обеспечило стремительный прогресс кардиологии и неврологии. Радиофармпрепараты дают возможность получать изображения аномальным метаболизмом, что позволяет визуализировать опухоли, воспаления или места тромбоза.

Радионуклидная диагностика решает следующие задачи, как определение показаний к проведению хирургической операции резекции печени у больных первичным раком; своевременная корректировка курсов лучевой терапии больных с метастазами опухолей различных локализаций; оптимизация плана прицельного лечения на клеточном уровне в послеоперационном периоде; точная локализация границ оперативного вмешательства при саркомах нижних конечностей;

В 2005г. в России было проведено более 190 млн. рентгенологических исследований, при этом средняя индивидуальная доза на 1 жителя составила

0,92 мЗв, это значительно превышает дозу других искусственных источников облучения. Исходя из интересов пациентов необходимо стремиться к максимальному снижению уровней облучения, так как воздействие ионизирующего излучения в любой дозе, отличной от нуля, это риск возникновения отдалённых стохастических эффектов. В настоящее время в России и других странах в целях снижения индивидуальных и коллективных доз облучения населения за счет диагностических исследований применяют:

1. Организационные (исключение необоснованных, без показаний исследований) и технические мероприятия;
2. Изменение структуры исследований в пользу дающих меньшую дозовую нагрузку (замена рентгеноскопии рентгенографией);
3. Замену исследований с применением I^{131} процедурами с введением Tc^{99});
4. Внедрение новой аппаратуры, оснащенной современной электронной техникой усиления визуального изображения;
5. Применение экранов для защиты неисследуемых участков тела.

Все вышеперечисленные меры недостаточны для обеспечения максимальной безопасности пациентов и оптимального использования этих диагностических методов. До сих пор система обеспечения радиационной безопасности пациентов считается неэффективной, так как не дополнена гигиеническими регламентами допустимых доз облучения. Поэтому в целях конкретизации отдельных положений закона РФ «О радиационной безопасности населения» в настоящее время введена в действие 2 основополагающих нормативных документа федерального уровня: «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99)» и «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99)».

Начиная с 50-х годов прошлого века были разработаны и предложены общие методологические основы ограничения облучения пациентов и населения при диагностических процедурах, исходящие из того, что польза диагностической информации от исследования должна превышать риск от сопряженного с исследованием облучения. На основе оценки соотношения польза:вред, были разработаны принципы регламентированная допустимых доз облучения при диагностических процедурах. Всех обследуемых делят на 3 категории в зависимости от степени жизненной значимости информации от данного обследования для их здоровья с учетом дозовой нагрузки. На основе этих принципов созданы первые в мире «Нормы радиационной безопасности для пациентов при использовании радиоактивных веществ с диагностической целью N 990-72», утвержденные Министерством Здравоохранения СССР 31.08.1972 г. применявшиеся на практике до 1983 г., когда они были заменены созданными на тех же методологических основах и в развитие в развитие указанных норм «Правилами и нормами применения открытых радиофармацевтических препаратов в диагностических целях N 2813-83», утвержденными Главным государственным санитарным врачом СССР 25.05.1983 г. Этот документ содержит не только регламенты, но и правила

использования радиофармацевтических препаратов. В этом документе, например, запрещено обследований женщин репродуктивного возраста в период установленной или возможной беременности. Если обследование у женщин проводится с целью уточнения диагноза или выбора тактики лечения в связи с заболеванием неонкологического характера, то предпочтительнее радионуклидные исследования, так как облучение в ничтожных дозах в десятки раз ниже, чем рентгенодиагностические исследования, а информация, полученная с их помощью, имеет важное значение. Отсутствие нормативов для облучения пациентов при рентгенодиагностике связано с большим разнообразием методик, отсутствием информации об эквивалентных и эффективных дозах при разных видах рентгенологических исследований.

В публикациях МКРЗ указывается, что медицинское облучение попадает под большинство требований системы ограничения доз, предлагаемой МКРЗ, то есть следует избегать излишнего неопределенного облучения; облучение должно быть оправдано пользой, которую нельзя получить иным способом; уровни облучения должны быть такими низкими, каких только можно разумно достичь. Если пациент получает пользу от диагностической процедуры в виде необходимой диагностической информации, то риск может быть оправдан. Концепция оправданного риска, отражающая на категоризацию пациентов с учетом того, кому и с какими целями назначается процедура, использованная при создании регламентов облучения в радионуклидной диагностике, является основным принципом, который будет заложен в систему ограничения облучения пациентов при рентгенодиагностике.

Этот принцип получил название – принцип оптимизации. Существуют пределы доз для диагностических исследований, которые будут уточняться по мере накопления сведений о вредности процедур. Принцип оптимизации, согласно рекомендации МКРЗ, осуществляется в области доз ниже установленных пределов. В области медицинского облучения целесообразно установить ту верхнюю границу индивидуальных доз, которая служила бы целям контроля за правильным отвечающим современным требованиям использования рентгеновского излучения, а с другой – ограничивала бы облучение и являлась бы исходным уровнем оптимизации. Необходимо стремиться к обеспечению высокого уровня защиты при рентгенологическом обследовании пациентов.

Дозовые нагрузки и ценность информации от применения рентгенологических исследований для разных пациентов неодинакова и зависит от вида и характера заболевания. Поэтому выделяют три категории пациентов, подвергающихся рентгенологическим исследованиям:

1 категория: АД – лица, которым рентгенологические процедуры проводятся в связи с наличием онкологическим заболевания или подозрением на него с целью уточнения диагноза, а также при urgentных состояниях;

2 категория: БД – лица, которым рентгенодиагностические процедуры проводятся по клиническим показаниям с целью уточнения диагноза и выбора тактики лечения в связи с лечением заболеваниями неонкологического характера;

3 категория: ВД – лица, которым процедуры проводятся с профилактической целью, а также в плане научного исследования.

Рентгенологические обследования не проводятся (за исключением тех, которые назначаются по жизненным показаниям):

- 1) женщинам репродуктивного возраста, относящимся к категориям БД и ВД в период установленной или возможной беременности;
- 1) детям до 15 лет, относящиеся к категории БД.

За последние годы не отмечалось непосредственных лучевых реакций даже после самых сложных и длительных рентгенологических исследований. Радиационные эффекты при рентгенологической диагностике могут появиться в виде отдаленных последствий, которые носят стохастический характер.

Для категории АД дозовый контрольный уровень такой, что облучение не может вызвать лучевые поражения, эквивалентная доза на все органы и ткани не должна превышать 0,5 Зв.

Для категории БД дозовый контрольный уровень в 10 раз ниже, чем для категории АД, в связи с появлением стохастических (соматических и генетических) последствий облучения.

Для категории ВД дозовый контрольный уровень рекомендуется в 10 раз ниже, чем для категории БД.

Категория АД.

При планировании ограничения облучения лиц этой категории следует учесть, что облучение онкологических больных при рентгенографических исследованиях не вызовет отдаленных последствий в связи со значительным возрастом (старше 50 лет), а также длительным латентным периодом отдаленных последствий облучения. Поэтому для лиц категории АД индивидуальная доза не вызывала специфические лучевые эффекты.

Риск стохастических эффектов для онкологических в следствие характера заболевания и их возраста незначителен. В категории АД около 1,3 млн. человек в год составляют лица с urgentными состояниями, эти пациенты обследуются по жизненным показаниям, риск стохастических последствий для них не является ограничивающим фактором.

При проведении рентгенологических обследований лиц категории АД дозы облучения на одного из органов и тканей не должны превышать доз, способных вызвать специфические лучевые нестохастические поражения, то есть 0,5 Зв, за исключением хрусталика глаза, для которого является пределом доза 0,15 Зв.

Категория БД.

Количество рентгенологических исследований лиц этой категории достигает 150 млн. в год, то есть примерно 1 раз в 2 года обследует каждый житель страны. Для этой категории имеют значение ограничение риска

возникновения отдельных последствий, а также предупреждение неспецифического снижения общей резистентности организма. Категорию БД можно рассматривать как группу, для которой оправдан некоторый риск, связанный с медицинским облучением, ввиду важности для этой категории показаний к применению процедур. Важно, чтобы опасность облучения не переоценивалась, так как это может привести к отказу от обоснованного и необходимого обследования.

Категория ВД.

Число рентгенологических исследований лиц этой категории приближается в настоящее время к 150 млн. в год. Учитывая перспективы развития профилактической службы и планы всеобщей диспансеризации, следует исходить из полного охвата населения, поэтому эта категория включает в себя все население страны начиная с 12 лет. Ценность диагностической информации, польза для этой категории значительно ниже, чем для категории БД, поэтому уровень риска установить ниже, чем для категории БД, а эффективную дозу 0,5 мЗВ в год. Этот предел исключает рентгеноскопию и ряд рентгенографических исследований. Предлагаемый предел разрешает проведение одного исследования отдела грудной клетки и несколько дентальных исследований в год.

Желательно, чтобы новые методы рентгенологических исследований не внедрялись в практику без обоснования их полезности, а также оценки их риска.

При проведении каждой процедуры необходимо стремление к максимальному снижению дозовой нагрузки путем использования щадящих режимов обследования, применение защитных экранов и других способов снижения дозовой нагрузки при сохранении необходимой информации.

Активность закрытых источников, используемых в медицинской практике, различна. Это гамма-источники, используемые для дистанционной лучевой терапии, представляют собой нейтронные излучатели различной мощности. Для внутрисполостной и внутритканевой терапии используют закрытые источники кобальта-60, золота-198 в виде бусинок, цилиндров, игл.

Источники периодического действия – рентгенологические аппараты, применяемые в диагностике и терапии, генерируют рентгеновское излучение с энергией от 40 до 250 кэВ. Система защитных мероприятий будет зависеть от активности излучателя, вида излучения, технологией работы с источниками. Надежность защиты персонала определяют дозы облучения, не превышающие уровня, установленного нормами радиационной безопасности (НРБ-99).

Принципы защиты от источников ионизирующего излучения.

Доза внешнего облучения пропорциональна активности источника и времени его действия и обратно пропорциональна расстоянию от источника. Отсюда вытекают основные принципы защиты: «защита количеством», «защита временем», «защита расстоянием», «защита экраном».

«Защита количеством» в медицинской практике не получила большого распространения, так как изменение активности источника неизбежно

приводит к ослаблению лечебного эффекта и вынужденному увеличению времени контакта больного и излучателем.

«Защита временем» возможна при работе с источниками малой активности, при ручных манипуляциях с ними. Высокая квалификация медицинского персонала позволяет сократить время контакта с радиоактивным веществом.

«Защита расстоянием» чаще всего реализуется использованием дистанционных инструментов, что достаточно снижает дозу на руки персонала.

«Защита экраном» – лучшим материалом для ослабления гамма и рентгеновское излучения является материалы с большой атомной массой, в которых создаются благоприятные условия для процессов взаимодействия гамма-излучения и рентгеновского излучения с веществом. На практике используют свинец или уран. Если экранируются соседние помещения, то перекрытия помещения с гамма-излучателем делают из бетона, баритобетона, железобетона. Большая толщина таких строительных конструкций создает надлежащую защиту от излучения. Для защиты от бета-излучения используют более легкие материалы – алюминий, стекло, пластмассу.

Защита от бета-излучения свинцовым экраном опасна, так как в поле ядра атома свинца бета-частицы теряют энергию, способствуя выходу тормозного излучения.

Для защиты от потока быстрых нейтронов применяют экраны из материалов с большим количеством атомов водорода (парафин, вода). Поглощение нейтронов сопровождается излучением квантов энергии, необходимо предусмотреть для их ослабления экран из свинца в качестве второго слоя.

По своему назначению и конструкции защитные экраны могут быть разделены на пять групп:

- 1) Экраны-контейнеры, в которые помещают радиоактивные препараты с целью их транспортировки и хранения.
- 2) Экраны для оборудования. Экранирование оборудования при положении радиоактивного препарата в рабочем состоянии или при включении высокого напряжения.
- 3) Передвижные защитные экраны, которые применяются для защиты рабочего места на различных участках рабочей зоны.
- 4) Строительные конструкции как защитные экраны (стены, перекрытия полов и потолков, специальные двери) предназначены для защиты помещений, в которых постоянно находится персонал.
- 5) Экраны индивидуальных средств защиты (щиток из органического стекла, смотровые стекла пневмокостюмов, просвинцованные фартуки, накидки, воротники, юбки, передники, шапочки, очки, перчатки, пластины).

Радиационная безопасность в рентгенодиагностических кабинетах регламентирована в СанПиН 2.6.1.1192-03 «Гигиенические требования к устройству и эксплуатации рентгеновских кабинетов, аппаратов и проведению рентгенологических исследований». Источниками излучения являются различного типа рентгеновские аппараты, а приемниками изображения - усиливающие рентгеновские экраны или усилители рентгеновского изображения (УРИ), состоящие из электронно-оптического преобразователя, телевизионной системы и фото-, кинокамеры.

Радиационная безопасность при работе в кабинетах общего профиля (диагностические исследования с помощью флюорографии, рентгенографии, рентгеноскопии) обеспечивается планировочными решениями, защитой временем и экранами.

Уровни облучения медицинского персонала рентгенодиагностических кабинетов колеблются в широких пределах. За последние 40 лет эффективная доза снизилась более чем в 30 раз, например, если взять период с 1981-1986 г. то среднегодовая эффективная доза облучения врачей составляла $3,0 \pm 1,0$ мЗв, рентгенолаборанты $2,0 \pm 0,5$ мЗв, а с 1987-2001 г. врачи 3, рентгенолаборанты 1,5 мЗв. За последнее время увеличилось число сложных рентгенологических исследований с участием врачей различных специальностей. К таким исследованиям следует отнести бронхоскопию, бронхографию, ирригоскопию, ангиокардиографию, катетеризацию сердца, травматологические исследования. Эти процедуры вместе с рентгенологами осуществляют хирурги, анестезиологи, операционные медсестры, которые относятся к категории «персонал», группа Б.

Рентгеновские процедуры по характеру участия в них врачей могут быть условно разделены на 3 группы: хирург - пассивный наблюдатель (консультант); хирург - принимающий участие в связи с оперативным вмешательством; анестезиолог и хирург - активные члены операционной бригады.

В первом случае хирурги находятся за спиной рентгенолога у экрана аппарата (при оценке правильности сопоставления костных отломков и т. д.).

Во втором случае хирург может находиться в поле прямого пучка излучения при операциях на шейке бедра, на желчных путях и пузыре. Весь остальной медицинский персонал размещается за передвижной защитной ширмой.

В третьем случае анестезиолог, хирург и медсестра выполняют функциональные обязанности.

Индивидуальные дозы облучения специалистов первой группы зависят от частоты участия в процедурах просвечивания. Так, хирурги отделений общей хирургии, легочной хирургии, травматологии и нейрохирургии получают дозу порядка 1 мЗв/год.

При рентгенологических исследованиях в процессе оперативного вмешательства применяются различные палатные (переносные) рентгеновские аппараты. Уровни облучения анестезиологов, хирургов-травматологов, хирургов-кардиологов колеблются от 3 до 8 мЗв/год.

Метрический контроль за облучением медицинского персонала.

Уровни облучения персонала при проведении компьютерной томографии или использовании ядерно-магнитного резонанса не превышают 1 мЗв/год.

Радиационная безопасность при дистанционной гамма-терапии и терапии с помощью излучения высоких энергий.

Лучевая терапия делится на рентгеновскую, гамма-терапию. Во всех установках используется мощный поток излучения, направленный на патологический очаг. Рентгенотерапевтические установки предназначены для глубокой или поверхностной терапии.

Гамма-терапевтические установки используются для статического облучения, для подвижного облучения применяются ротационные и ротационно-конвергентные установки. При терапии с помощью ускорителей используются ускорители электронов с энергией от 4 до 50 МэВ. Для близкофокусной терапии с помощью рентгеновских аппаратов служат РУМ-7, Siemens, Philips; для длиннофокусных – РУМ-21, Stabilipan, Toshiba.

Основной профессиональной вредностью для персонала при работе с такими установками является внешнее облучение. Радиационная безопасность для персонала определяется в основном качеством стационарной защиты рабочих мест, продолжительностью работы установок в течение смены, надежностью системы по предупреждению аварийных ситуаций.

Активность источников излучения в установках достигает больших величин, поэтому к конструктивным особенностям аппаратов, их размещению и эксплуатации предъявляются повышенные требования.

Рентгеновские терапевтические аппараты должны иметь отдельное помещение для управления и процедурную с защищенным смотровым окном и защитной дверью между комнатой управления и процедурной. Площадь процедурной должна составлять от 24 до 40 м² в зависимости от типа аппарата. Защита рабочих мест должна обеспечить условия, при которых мощность дозы внешнего излучения на любой точке не превышает 6,0 мкЗв/ч. Все ограждения процедурной и комнаты управления (стены, пол, потолок) должны быть усилены свинцом для защиты смежных помещений от излучения. Мощность дозы на наружных поверхностях здания и в проемах не должна превышать 1,2 мкЗв/ч.

Принципы стационарной защиты от излучения ускорителей медицинского назначения те же, но площадь процедурных увеличена до 45 м² и выделяется комната для инженерного пульта управления площадью до 20 м². В связи с большой проникающей способностью излучения ускорителей защита усиливается дополнительными стенами типа лабиринта, за больным наблюдают при помощи телевизионных устройств.

Многолетние исследования отечественных и зарубежных авторов показали, что благодаря планировочным решениям обеспечена надежная защита персонала при эксплуатации радионуклидных терапевтических установок, рентгеновских аппаратов, ускорителей электронов, а уровни облучения не превышают 1 мЗв/год.

Радиационная безопасность при внутримолостной, внутримканевой и аппликационной лучевой терапии с помощью закрытых радиоактивных источников.

В качестве закрытых источников гамма-излучения чаще используются препараты металлического кобальта-60, нейтронного источника калифорний-252, заключенные в оболочку из нержавеющей стали в виде игл, цилиндров, бусин. Внутримолостное облучение проводится для лечения злокачественных образований в полостных органах (матка, мочевого пузыря, пищевод и т.д.).

Основной опасностью при внутримолостной терапии является внешнее гамма-излучение. Несмотря на то что активность источников по сравнению с активностью установок лучевой терапии очень мала, дозы, получаемые персоналом, проводящим внутримолостную терапию, выше, чем у медицинского персонала, обслуживающего гамма-установки.

В настоящее время для полостной терапии стали применять методы последующего введения радиоизотопов. Больному в полость вводят фильтры без препаратов, представляющие собой трубку из металла или полимера. Фильтр фиксируется в полости. Затем в этот фильтр больному в палате с помощью специального препаратоводителя вводят радиоактивный изотоп. При введении препарата врач отделен от больного радиохирургической защитной ширмой.

Такая технология укорачивает транспортировку препарата, исключает многие радиоопасные манипуляции с ним, т.е. сокращает время введения и извлечения препарата, уменьшает число медицинского персонала, занятого в проведении этой процедуры, отпадает нужда в создании защитных стен в процедурной и манипуляционной. Дозы общего облучения врача в 5 раз, а облучения рук – в десятки раз ниже, чем при прежних способах введения препаратов.

Радиационная безопасность при аппликационной лучевой терапии.

В качестве источников излучения используются бета-излучатели фосфор-32, прометий-147, таллий-204. Защитные экраны для бета-излучения изготавливаются из легких материалов - оргстекла, алюминия. Эти экраны обеспечивают защиту от бета-потоков, но при торможении бета-частиц в материале экрана возникает тормозное излучение малоэнергетических квантов. У персонала, занимающегося лечением кожных поражений с помощью бета-аппликаторов, при несоблюдении условий защиты возможны лучевые поражения кожи рук. Использование защитных перчаток, комбинированных защитных экранов, дистанционных инструментов делает эту работу безопасной.

Принципы защиты при работе с открытыми радиоактивными источниками.

Работа с открытыми радиоактивными источниками связана с опасностью воздействия проникающего излучения и попадания внутрь организма радиоактивных веществ, что приводит к возможности как внешнего, так и внутреннего облучения персонала.

При современных методах использования радиоактивных веществ в медицинской практике основную радиационную опасность представляет внешнее облучение. Известную опасность для окружающих могут представлять больные, получившие медицинские процедуры с радиоактивными веществами в поликлинических условиях.

Например, при амбулаторном лечении радиоактивным йодом мощность дозы гамма-излучения от щитовидной железы больного, получившего $3,7 \times 10^7$ Бк йода-131, на 2-е сутки составляет около 5 мкЗв/ч на расстоянии 0,5 м. С начала 2-х суток мощность дозы уменьшается и к 5-м суткам имеет практически незначительную величину. Из этого следует, что опасность внешнего облучения от такого больного может сохраняться лишь в течение первых 2 суток после приема радиоактивного йода.

Амбулаторное лечение радиоактивным йодом возможно при назначении на курс строго регламентированного количества радионуклида, использовании индивидуальной постели и предметов туалета, исключении приготовления пищи для членов семьи и тесного контакта с маленькими детьми.