

Все диагностическое визуализирующее оборудование требует определенного количества испытаний, профилактического обслуживания и замены компонентов. Нет никакого влияния на них со стороны программ КК. Когда компонент выходит из строя, он выходит из строя независимо от того, контролируется ли он программой контроля качества или нет.

Как отмечалось выше, частота также зависит от критичности приложения. В качестве еще одного примера рекомендуется ежедневно проверять порталные лазеры, хотя в течение шести месяцев, возможно, не было никаких проблем с выравниванием лазеров, вероятно, нецелесообразно уменьшать частоту проверки, если данные будут использоваться для применения лучевой терапии. Если произойдет смещение лазерной центровки, это может привести к ошибке в определении объема обработки, когда изображения используются для планирования лучевой терапии. Это критическое приложение, и, следовательно, удовлетворительные результаты при ежедневных проверках гарантированы.

Хотя все тесты КК важны для обеспечения оптимального качества изображения и оптимальной дозы облучения, особого внимания требуют две процедуры: выявление артефактов и тесты КК для оборудования, используемого для лучевой терапии.

Артефакты изображения могут быть созданы несколькими механизмами, в том числе совпадением карты ослабления передачи КТ с данными ПЭТ, состоянием пациента, внешним радиоактивным загрязнением, наличием протезов у пациента и неисправностью детектора. Артефакты создают диагностические изображения низкого качества и могут привести к неправильному диагнозу или постановке, если их не учитывать. Важно во время приемосдаточных испытаний и КК-тестов оценивать на наличие очевидных артефактов. Однородные фантомные изображения часто не демонстрируют артефакты так ясно, как изображения.

Если оборудование ПЭТ / КТ используется для планирования лучевой терапии, то анализы КК становятся критичными для правильного лечения пациента. Наиболее важным в этом отношении является проверка КК лазеров локализации сканирования, то есть лазеров на КТ-портале, которые используются для определения местоположения пациента относительно объема данных. Расположение объема данных изображения должно быть точно известно для передачи в компьютер планирования лучевой терапии. Этот ежедневный тест состоит из простой и быстрой визуальной проверки [3]. Ежегодные тесты медицинского физика важны как часть программы гарантии качества. Кроме того, крайне важно, чтобы медицинский физик проводил ежегодное обследование и обзор программы. В рамках проверки медицинский физик будет искать проблемы, которые приводят к рискам для пациентов и персонала.

В данной работе рассмотрена необходимость внедрения программы гарантии качества ПЭТ/КТ-сканеров, так как сканеры находятся в постоянном техническом развитии, что в свою очередь подчеркивает необходимость непрерывного профессионального образования, а возрастающая сложность работы сканера и его оснащения требует тщательного контроля со стороны медицинского физика для обеспечения наличия надлежащих условий обследования и оптимизации процедур с точки зрения качества диагностики и дозы. Так же были определены роли и обязанности медицинских физиков, задействованных при ПЭТ/КТ-исследованиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. International Atomic Energy Agency. Human Health Series. / No. 11. Planning a Clinical PET Center. Vienna: IAEA, 2010.
2. International Atomic Energy Agency. Quality Assurance Programme for Computed Tomography: Diagnostic and Therapy Applications. Human Health Series. / No. 19. – Vienna, 2012. – 171 p.
3. International Atomic Energy Agency. Human Health Series. / No. 1. Quality Assurance for PET And PET/CT Systems. Vienna: IAEA, 2010.

СИСТЕМА « РАДИАЦИОННАЯ ЗАЩИТА » В ОТДЕЛЕНИИ ЯДЕРНОЙ МЕДИЦИНЫ RADIATION PROTECTION SYSTEM IN THE DEPARTMENT OF NUCLEAR MEDICINE

О. В. Попченя

О. Popchenya

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь
popchenya.olga@gmail.com*

*Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus
popchenya.olga@gmail.com*

В работе приводятся рекомендации по обеспечению радиационной безопасности персонала, пациентов, лиц, осуществляющих уход, и представителей общественности при создании центров позитронно-эмиссионной томографии совмещенной с рентгеновской компьютерной томографией и циклотронного оборудования.

Принципы радиационной защиты должны быть четко установлены и прописаны с самого начала проекта. Оперативные аспекты принципов включают: обоснование необходимости устранения ненужных проверок; оптимизация за счет использования критерия минимизации (как можно ниже, принимая во внимание другие факторы, такие как качество изображения или клиническое назначение и стоимость) и ограничения дозы.

The paper provides recommendations for ensuring radiation safety of personnel, patients, caregivers, and members of the public when creating PET/CT centers and cyclotron equipment. The principles of radiation protection should be clearly established and spelled out from the very beginning of the project. Operational aspects of the principles include: justification for eliminating unnecessary checks; optimization by using ALARA (as low as possible, taking into account other factors such as image quality or clinical purpose and cost) and dose restrictions.

Ключевые слова: позитронно-эмиссионная томография, компьютерная томография, отделение ПЭТ, ПЭТ / КТ-сканеры, качество изображений ПЭТ / КТ, циклотрон, радиосинтез, МАГАТЭ.

Keywords: positron emission tomography, computed tomography, PET Department, PET / CT scanners, PET / CT image quality, cyclotron, radiosynthesis, IAEA.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2020-2-248-252>

В отделениях позитронно-эмиссионной томографии совмещенной с рентгеновской компьютерной томографией (далее – ПЭТ/КТ) существует потенциальная опасность радиационного облучения. Уровень доз облучения, с которыми может столкнуться персонал и пациенты, был оценен в ряде публикаций Международного агентства по атомной энергии (далее – МАГАТЭ) и рассмотрен в настоящей работе, а также меры по снижению радиационного воздействия. Поскольку ПЭТ / КТ является относительно новой областью, большинство стран еще не имеют конкретных национальных рекомендаций. Государства признают важность согласованных на международном уровне руководящих указаний МАГАТЭ в отношении радиационной защиты.

Эффекты радиации подразделяются на две группы: детерминированные эффекты (тканевые реакции) и стохастические эффекты (онкологические и наследственные).

Детерминированные эффекты предсказуемы и связаны с дозой, имея порог, ниже которого эффект не возникает. Этот порог является переменным в зависимости от характера и состояния облученной ткани. При превышении пороговой дозы тяжесть травмы, включая ухудшение способности к восстановлению тканей, возрастает с увеличением дозы, например, при повреждении кожи. Основными эффектами в этой категории являются: катаракта, бесплодие, повреждение кожи и эпиляция. В случае ПЭТ / КТ существует риск повреждения кожи пальцев рук персонала, производящего высокую активность, в то время как другие эффекты остаются отдаленно вероятными при хорошей радиационной защите.

Стохастические эффекты вероятностны, и их тяжесть не имеет отношения к дозе. Хотя вероятность возникновения стохастического эффекта возрастает с увеличением дозы, не существует определенного порога для получения эффекта. В этой категории есть два эффекта: канцерогенез и генетический. Генетические эффекты наблюдались у нечеловеческих видов, но еще не были задокументированы у людей. Основываясь на данных многих десятилетий наблюдений и исследований, международная комиссия по радиологической защите (далее – МКРЗ) недавно снизила коэффициент взвешивания тканей для гонад. В прошлом была распространена практика сосредоточения серьезного внимания на риске генетических эффектов, что требует рационализации. Канцерогенные эффекты не могут быть устранены и были зарегистрированы у людей, в первую очередь среди выживших после атомных бомбардировок Хиросимы и Нагасаки. Были частые сообщения о канцерогенных рисках для пациентов, проходящих несколько процедур компьютерной томографии (далее – КТ).

Основываясь на приведенных выше классификациях, философия радиационной защиты была сформулирована следующим образом:

- предотвращение детерминированных травм;
- ограничение вероятности стохастического вреда.

Продолжающийся на протяжении более чем столетия акцент на охране труда привел к существенной защите персонала во многих областях применения радиации, за редким исключением. Например, в большинстве отделений ядерной медицины в мире радиационное облучение персонала составляет одну десятую или одну двадцатую от годовой предельной дозы. Текущие предельные дозы, установленные МКРЗ в отношении эффективной дозы для персонала, составляют 20 мЗв/год на основе усреднения пятилетнего предела дозы в 100 мЗв. Значительная часть радиационного воздействия на персонал возникает в результате обращения с радиофармпрепаратами и, в частности, со шприцами, содержащими инъекции. Для инъекционного шприца с 10-15 мКи (370-560 МБк) ^{18}F -ФДГ, например, полученные пальцевые дозы могут достигать 30 мкЗв или выше на одну процедуру пациента. Разговор об эффективной дозе сам по себе может ввести в заблуждение, поскольку локализованное воздействие на руки и пальцы (с низкими весовыми коэффициентами при расчете эффективной дозы) может быть значительным. Эффективная доза не является полезной для оценки детерминированного риска для пальцев, поскольку это в первую очередь индекс, разработанный для стохастической оценки риска. Воздействие на руки и пальцы может привести к детерминированному риску для кожи. По этой причине пределы дозы также определены для рук (500 мЗв/год) и основаны на детерминированном риске относительно порога для эритемы. Аналогичные ограничения дозы были

также определены для хрусталика глаза (катаракта) и для щитовидной железы (на основе стохастического риска рака щитовидной железы). Основными источниками радиационного облучения персонала в ПЭТ / КТ являются:

- незранированные радиофармпрепараты (присутствующие при приготовлении и фасовке);
- пациенты, которым ввели радиофармацевтический препарат для позитронно-эмиссионной томографии (далее – ПЭТ);
- туалет для пациентов;
- герметичные калибровочные источники, фантомы обеспечения качества;
- компьютерный томограф, так как сотрудники ядерной медицины могут испытывать трудности в осознании того, что они должны быть на расстоянии, когда выполняется компьютерная томография. Для ПЭТ-части время экспозиции персонала не имеет значения, когда ПЭТ-сканирование «включено» или «выключено» (например, во время укладки пациента), в то время как для КТ-части излучение появляется только при сканировании (рентгеновская трубка включена).

На облучение персонала влияет ряд факторов, например, количество пациентов, которым было выполнено исследование, тип и количество введенных радиофармпрепаратов на одного пациента, продолжительность времени, проведенного пациентом в каждой зоне ПЭТ/КТ, а также физическое расположение объектов.

Функции, которые приводят к самым высоким рискам для персонала, включают:

- определение количества радиофармпрепарата;
- введение радиофармпрепарата;
- выполнение задач вблизи пациента (после инъекции) в период поглощения радиофармпрепарата;
- сопровождение пациента к сканеру и обратно;
- размещение пациента на кровати сканера;
- калибровка и контроль качества ПЭТ-сканера с использованием герметичных источников.

Эти воздействия могут быть сведены к минимуму благодаря хорошему расположению всех объектов, хорошей практике, обучению пациентов/сотрудничеству и вниманию к важности основных подходов, включая расстояние, время и экранирование. Радиохимики и радиофармакологи также подвергаются значительному воздействию на предприятиях, которые производят и готовят свои собственные радиофармпрепараты.

Очень важным аспектом защиты персонала традиционно является проектирование объекта. Хотя это имеет решающее значение в радиофармакологических лабораториях, радиотерапевтических и диагностических радио-логических учреждениях, оно становится относительно менее важным, когда сотрудник должен находиться в помещении, где присутствуют источники излучения, например, в интервенционных кабинетах и, в некоторой степени, в ПЭТ/КТ-учреждениях.

Ряд технических и эксплуатационных достижений, включая композитные защитные материалы, автоматизированную передачу радиоактивных материалов, автоматизированный радиосинтез и очистку, а также робототехнику, способствовали в целом превосходному показателю радиационной безопасности в циклотронном производстве радиофармпрепаратов. Дозы облучения для персонала, работающего в циклотронной установке, как правило, значительно ниже нормативных пределов облучения (годовая эффективная доза около 1-3 мЗв и ручная доза 25-50 мЗв), причем примерно половина ручной дозы накапливается при заполнении и обращении с наполненными радиофармпрепаратами шприцами и половина при открытии модуля радиохимии. Для лиц, работающих вне объекта, но рядом с циклотронным объектом, при надлежащем экранировании могут поддерживаться пределы общественной дозы 1 мЗв/год. Экранирование, до 1,3 см свинца для ПЭТ / КТ-сканеров и до 2 см свинца для поглощающих комнат (по сравнению только с 0,318 см свинца или меньше для одного только КТ-сканера) может иметь форму блокирующих свинцовых блоков, зажатых между слоями фанеры для структурной поддержки. Из-за соображений стоимости и веса стоит учитывать возможность изменения толщины экранирующего материала в каждой границе [1].

Дополнительным соображением при проектировании объектов ПЭТ или ПЭТ / КТ является возможность сочлененных комнат экспозиционной и аппаратной. Следует предпринять разумные усилия, чтобы разместить ПЭТ или ПЭТ/КТ-сканер и приемные комнаты как можно дальше от чувствительного счетного и визуализирующего оборудования. В противном случае может потребоваться дополнительное экранирование до 2 см свинца (например, в виде переносных экранов) для снижения фоновых скоростей отсчета для такого оборудования до приемлемо низких значений.

Планировка объекта с точки зрения размещения комнат поглощения является сложной задачей, поскольку пространство часто ограничено, а расстояния до соседних, занятых площадей часто невелики. В результате, экранирование почти всегда требуется для таких помещений, чтобы поддерживать дозы для персонала и широкой публики ниже их соответствующих пределов.

В отличие от персонала и представителей общественности, никакие международные или национальные организации не устанавливают предельных доз для пациентов. Это не означает, что при медицинских осмотрах и процедурах пациентам может быть передана какая-либо доза облучения. Существуют очень четкие требования по обоснованию, оптимизации и эталонным уровням. В дополнение к общему обоснованию использования ПЭТ / КТ для определенных клинических условий рекомендуется обоснование на индивидуальном уровне. Индивидуальное обоснование оценивает необходимость проведения ПЭТ / КТ обследования для конкретного пациента. При надлежащем применении принципа обоснования можно избежать многих ненужных проверок. К сожалению, на практике существует существенная потребность в улучшении ситуа-

ции в отношении обоснования. Оптимизация требует, чтобы после того, как исследование оправдано, экспозиция оставалась настолько низкой, насколько это разумно достижимо для требуемого качества изображения. Этому уделялось большое внимание, что привело к значительному снижению доз для пациентов в процессе оптимизации.

Концепция диагностического референтного уровня является мощным инструментом оптимизации защиты пациентов, поскольку она помогает оценить, является ли доза пациента (в отношении стохастических эффектов) необычно высокой или низкой для конкретной процедуры медицинской визуализации. Диагностические референтные уровни не являются предельными дозами, поскольку они установлены на основе современных технологий и практики. В публикации 60 МКРЗ диагностические референтные уровни были описаны как значения измеренных величин, выше которых должно быть принято определенное действие или решение. Они должны применяться с гибкостью, чтобы позволить более высокие дозы там, где это указано здравым клиническим суждением.

Наиболее подходящей измеряемой величиной в ядерной медицине является введенная радиоактивность, а в случае КТ принят индекс дозы компьютерной томографии. Очень часто, неизмеримое количество «эффективная доза» используется для обозначения дозы пациента. МКРЗ предостерегло от использования эффективной дозы для оценки ущерба (для отдельных или конкретных групп населения). Такие оценки страдают от неопределенности, обусловленной потенциальными демографическими различиями (с точки зрения состояния здоровья, возраста и пола) между конкретной популяцией пациентов и общей популяцией, для которой МКРЗ вывел коэффициент риска. Например, было высказано предположение, что эффективная доза может в целом недооценивать ущерб от диагностического воздействия на молодых пациентов примерно в 2 раза и, наоборот, может завышать ущерб от воздействия на пожилых пациентов по меньшей мере в 5 раз. Таким образом, строгий анализ радиационного риска от диагностического медицинского воздействия требует детального знания доз облучения органов, а также возраста и пола пациентов.

Оценка дозы при КТ является сложной задачей и зависит не только от области тела, подвергшейся воздействию, но и от различных параметров сканирования (потенциал трубки, ток трубки, умноженный на время воздействия (далее – мАс), коллимация среза) и технических особенностей сканера (например, фильтрация луча, формирование луча) фильтр, геометрия и используемый алгоритм сбора данных). Таким образом, значения дозы для пациента значительно различаются между центрами и машинами. Чрезмерно упрощенные подходы коррелировали мАс с дозой пациента, предполагая, что потенциал трубки и другие параметры в конкретном КТ-сканере остаются постоянными. Это также привело к неудовлетворительной практике использования мАс в качестве индикатора дозы при сравнении различных сканеров.

Для решения этих проблем были разработаны различные программные пакеты. Например, при КТ всего тела, представляют простой подход к обеспечению грубой оценки доз органов и эффективной дозы. Органные дозы можно комбинировать с весовыми коэффициентами обычным способом, чтобы получить эффективную дозу.

Эффективная доза при комбинированном ПЭТ / КТ-исследовании представляет собой сумму эффективных доз, возникающих из всех компонентов сканирования, и, таким образом, зависит от диапазона параметров регистрации, упомянутых выше. Общая эффективная доза для всего организма от радиофармпрепаратов для ПЭТ / КТ зависит от протокола, но может составлять около 25 мЗв. До 70% этого вклада вносят элементы компьютерной томографии; и 85% вклада компьютерной томографии (две трети от общего числа) может возникнуть в результате заключительного диагностического сканирования, в то время как остальные 15% приходится на компьютерные томограммы, полученные в целях коррекции ослабления. Альтернативный подход, который обычно используется, заключается в выполнении ПЭТ/КТ только от мозжечка до середины бедра. Доза в этом случае была бы примерно в пределах 15-20 мЗв.

Управление дозой пациента при ПЭТ менее сложно, чем при КТ, при условии, что у работника есть хорошо спроектированное оборудование и он может контролировать радиоактивность, которая вводится. С другой стороны, управление дозой при КТ продолжает оставаться сложной задачей. Значительная часть этой проблемы связана с тем, что передержка при КТ часто не выявляется. В отличие от пленочной рентгенографии, где чрезмерная экспозиция проявляется в темных изображениях, увеличение дозы в КТ и других цифровых методах визуализации приводит к получению изображений с меньшим шумом (улучшенным визуальным видом) и меньшим количеством артефактов штриховатости, хотя и не обязательно с большей диагностической информацией. Широко распространено мнение, что качество изображения при КТ часто превышает клинические требования к диагностике.

В практике ядерной медицины, а также на объектах ПЭТ / КТ следующие лица несут ответственность за защиту и безопасность в силу задач, связанных с принятием решений, эксплуатацией или обращением с источниками или оборудованием, которые могут привести к случайному облучению:

- практикующие врачи, работающие с радионуклидами (например, врачи ядерной медицины и другие надлежащим образом подготовленные клинические специалисты);
- медицинские физики в ядерной медицине (квалифицированные специалисты в области физики ядерной медицины);
- другие медицинские работники, участвующие в клиническом использовании радионуклидов (например, радиофармакологи, технологи ядерной медицины);
- сотрудник по радиационной защите;

- персонал, выполняющий специальные задачи (например, тесты на загрязнение, некоторые тесты на контроль качества).

Для специалистов ядерной медицины, радиофармакологов, медицинских физиков, технологов ядерной медицины и сотрудников радиационной защиты типичные документальные свидетельства, т.е. квалификационные удостоверения, должны состоять из:

- степень, имеющая отношение к профессии, выданная компетентными органами образования и экспертизы в соответствии с требованиями страны, и аккредитация, требуемая в стране для осуществления профессиональной деятельности, выданная компетентными органами или другими учреждениями;

- курс по радиационной защите, содержание, методология и учебное заведение которого признаются или утверждаются регулирующим органом. Этот курс может быть включен в учебные планы профессионального образования при условии, что он соответствует критериям подготовки по радиационной защите, установленным регулирующим органом;

- обучение на рабочем месте под наблюдением аккредитованных специалистов с опытом работы до начала работы без надзора, как это требуется в стране.

Курсы и программы, используемые в профессиональном образовании и профессиональной подготовке, как правило, определяются органами здравоохранения и/или образования в стране в сотрудничестве с профессиональными органами. Подходящим подходом является подготовка критериев радиационной защиты для медицинского облучения, определенных регулирующим органом в консультации с соответствующими профессиональными организациями, которые должны быть включены в систему профессионального образования и профессиональной подготовки. В странах, в которых не существует национального профессионального органа, можно обратиться за консультацией к региональному органу или международным профессиональным организациям [2].

В работе были перечислены основные рекомендации по обеспечению радиационной безопасности персонала, пациентов, и других лиц; рекомендации по планированию помещений отделения ядерной медицины с целью оптимизировать рабочий процесс и сделать опасные помещения максимально удаленными от помещений длительного пребывания сотрудников и счетного оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

1. International Atomic Energy Agency. Human Health Series. / No. 11. Planning a Clinical PET Center. Vienna: IAEA, 2010.

2. International Atomic Energy Agency. Quality Assurance Programme for Computed Tomography: Diagnostic and Therapy Applications. Human Health Series. / No. 19. – Vienna, 2012. – 171 p.

МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КАРЦИНОМ МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ

MOLECULAR GENETIC CHARACTERISTIC OF BREAST CARCINOMAS

А. И. Прокопук¹, Р. М. Смолякова¹, Е. М. Шпадарук¹, И. Н. Андреева²

A. Prokopuk¹, R. Smolyakova¹, K. Shpadaruk¹, I. Andreeva²

¹Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь

²Институт генетики и цитологии НАН Беларуси,
г. Минск, Республика Беларусь
prokopuk.anna@mail.ru

Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus
Institute of Genetics and Cytology, National Academy of Sciences of Belarus
Minsk, Republic of Belarus

В ходе проведенного иммуногистохимического исследования были установлены молекулярно-биологические подтипы опухоли по уровням экспрессии тканевых антигенов: рецепторов эстрогенов и прогестерона (ER/PR), пролиферативного антигена Ki-67 и рецептора эпидермального человеческого фактора 2-го типа (HER-2/neu). Люминальный А подтип диагностирован у 10 пациенток (22%), люминальный В (Her-2/neu отрицательный) подтип обнаружен у 7 пациенток (16%), люминальный В (Her-2/neu-позитивный) подтип детектирован у 14 пациенток (31%), Her-2/neu-позитивный (нелюминальный) подтип диагностирован у 5 пациенток (11%), а триплет-негативный подтип выявлен у 9 пациенток (22%). Определение молекулярно-генетического профиля карциномы молочной железы необходимо учитывать для оценки агрессивного потенциала опухоли, прогноза течения заболевания и подбора терапии в оптимальном объеме.