

ГЛОССАРИЙ ПО ВОПРОСАМ МЕДИЦИНСКОЙ РАДИАЦИОННОЙ ФИЗИКИ. ТЕРМИНОЛОГИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМАЯ В ОБЛАСТИ ДОЗИМЕТРИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ

С.М. Ватницкий

Центр ионной терапии МедАустрон, Винер Нойштадт, Австрия

Медицинская радиационная физика решает комплекс задач, связанных с обеспечением лечебно-диагностического процесса, основанного на использовании ионизирующих излучений в лучевой терапии, ядерной медицине, лучевой диагностике и радиационной безопасности пациентов и персонала. Однако успешная реализация этого процесса требует тесного взаимодействия специалистов во всех указанных выше областях медицинской радиационной физики. Основой такого взаимодействия является единство и унификация терминологии и понятий, используемых на различных этапах лечебно-диагностического процесса. В настоящей работе представлен Глоссарий терминов и понятий применительно к дозиметрическому обеспечению лучевой терапии, который содержит наиболее часто используемые термины, а также разъяснения для каждого из них. Глоссарий предназначен для использования как в профессиональном образовании, в том числе и последипломном, так и для медицинских физиков и радиационных онкологов, работающих в радиологических медицинских организациях.

Ключевые слова: *медицинская радиационная физика, дозиметрия, лучевая терапия, терминология*

DOI: 10.52775/1810-200X-2023-97-1-67-83

Введение

Медицинская радиационная физика решает комплекс задач, связанных с обеспечением лечебно-диагностического процесса, основанного на использовании ионизирующих излучений в лучевой терапии, ядерной медицине, лучевой диагностике и радиационной безопасности пациентов и персонала. Однако успешная реализация этого процесса требует тесного взаимодействия специалистов во всех указанных выше областях медицинской радиационной физики. Основой такого взаимодействия является единство и унификация терминологии и понятий используемых на различных

этапах лечебно-диагностического процесса. Во введении к предыдущей статье (Ватницкий С.М. "Глоссарий по вопросам медицинской радиационной физики. Терминология, используемая в области лучевой терапии пучками протонов и легких ионов". Мед. физика, 2022, № 3) мы обосновали необходимость разработки развернутого Глоссария по отдельным составляющим медицинской радиационной физики для профессионалов. В качестве первого шага в этом направлении предложено унифицировать терминологию и создать Глоссарий для наиболее обширного раздела медицинской радиационной физики, которая обеспечивает лечеб-

ные технологии – радиационной онкологической физике или физике лучевой терапии. При разработке и введении в практику средств и методов лучевой терапии чрезвычайно важно, чтобы использование научных и технических понятий было ясным и точным. Главная цель Глоссария заключается в том, чтобы унифицировать терминологию и ее употребление в практике радиационной физики лучевой терапии. Глоссарий служит следующим целям:

- а) разъяснять значения незнакомых читателю технических терминов;
- б) рекомендовать термины, которые следует использовать в практике лучевой терапии, в учебниках и пособиях издаваемых на русском языке, (а также термины, которые не рекомендуется использовать), и определения, которыми их следует снабжать;

Глоссарий составлен в соответствии с потоком операций выполняемых в рамках технологического процесса подготовки и проведения лучевой терапии и основное внимание уделено высоким технологиям:

- ✓ виды лучевой терапии и радиационно-терапевтические аппараты
- ✓ дозиметрическое сопровождение лучевой терапии
- ✓ планирование и контроль дистанционной лучевой терапии
- ✓ планирование и контроль контактного облучения радионуклидными источниками
- ✓ гарантия качества лучевой терапии
- ✓ практическое обеспечение лучевой терапии и пучками протонов и лёгких ионов.

Такой подход отличается от традиционно построения глоссариев, когда термины и понятия представлены в алфавитном порядке независимо от разделов терминируемой области деятельности. Однако нам представляется более удобным, что при обращении к Глоссарию пользователь, интересующийся, например, термином в дозиметрическом планировании дистанционной лучевой терапии, сможет при необходимости оперативно получить в этом разделе нужную дополнительную информацию о терминологии, используемой в данной области медицинской радиационной физики лучевой терапии. Естественно, разделение терминов и понятий в соответствии с потоком операций, выполняемых в рамках технологического процесса подготовки и проведения лучевой терапии может выглядеть спорным, однако оно базируется на многолетнем опыте работы автора в области медицинской радиационной фи-

зике лучевой терапии. В предыдущей работе были представлены термины и понятия, относящиеся к технологическому обеспечению лучевой терапии. В настоящей работе представлен Глоссарий терминов применительно к следующему разделу – дозиметрическому обеспечению лучевой терапии, который содержит наиболее часто используемые термины а также разъяснения для каждого из них.

Терминология, используемая в области дозиметрического обеспечения лучевой терапии

Absorbed dose – Доза поглощенная

Величина энергии ионизирующего излучения, поглощенной в единице массы облучаемого вещества. Единица поглощенной дозы излучения в системе СИ – 1 грей, равный 1 Дж/кг. Обозначается как Гр (Gy). Внесистемная единица поглощенной дозы – рад, 1 рад = 10^{-2} Гр = 1 сГр. Поглощенная доза является величиной, которая применима к непосредственно ионизирующему и к косвенно ионизирующему излучениям. Косвенно ионизирующее излучение подразумевает, что энергия передается веществу в два этапа. Сначала (результатом является керма), косвенно ионизирующее излучение преобразует свою энергию в энергию вторичных заряженных частиц. Затем эти заряженные частицы передают большую часть своей кинетической энергии веществу (результатом является поглощенная доза). Непосредственно ионизирующее излучение подразумевает, что заряженные частицы передают большую часть своей кинетической энергии непосредственно веществу (результатом является поглощенная доза).

Absolute dosimeter – Абсолютный дозиметр

Абсолютный дозиметр – это прибор, выходящий сигнал которого можно непосредственно преобразовать в дозу, поглощенную в его чувствительном объеме, без проведения калибровки в известном поле излучения.

Absorbed dose to water dosimeter cross-calibration – Передача размера единицы поглощенной дозы рабочему дозиметру

Процедура, при которой пользователь самостоятельно использует дозиметр, полученный из Дозиметрической лаборатории первичных эталонов (ДЛПЭ) или Дозиметрической лаборатории вторичных эталонов (ДЛВЭ), для передачи размера единицы поглощенной дозы рабочему дозиметру, предназначенному для рутинных измерений в клинической практике.

Accuracy – Точность*

В соответствии с ГОСТ Р ИСО 5725-2-2002 для описания точности методов измерений используются два термина: “правильность” и “прецизионность”. Термин “правильность” характеризует степень близости среднего арифметического значения большого числа результатов измерений к истинному или принятому опорному значению. Показателем правильности обычно является значение систематической погрешности, а показателем прецизионности является воспроизводимость результатов измерений, то есть значение неопределенности измерений. Использовать термин “точность” следует с особой осторожностью. Например, фраза “определение дозы облучения с точностью 5 %” является ошибочной по существу. Здесь надо говорить “измерение дозы облучения с неопределенностью 5 %”.

* Термин воспроизведен в соответствии с формулировкой приведенной в: Наркевич Б.Я. и соавт. Разработка глоссария терминов и понятий по медицинской радиологии и радиационной безопасности. Мед. Физика. 2020; (3): 94-114.

Air kerma – Воздушная керма

Значение кермы для воздуха. Приблизительное числовое совпадение воздушной кермы в греях и поглощенной дозой в воздухе в греях существует в условиях электронного равновесия.

Air kerma strength – Сила воздушной кермы

Индивидуальная характеристика закрытого радионуклида, используемая в расчете дозных распределений в контактной лучевой терапии в соответствии с дозиметрическим протоколом AAPM TG-43.

Alanine dosimeter – Дозиметр на основе аланина

Дозиметр на основе аланина (аминопропановая кислота) представляет собой таблетки

или стержни, спрессованные из аланина с применением связующего инертного материала (например парафина). В аланине под действием ионизирующего излучения образуются стабильные свободные радикалы, которые дают характерный электронный парамагнитный резонансный (ЭПР) сигнал, интенсивность которого пропорциональна поглощенной дозе. Интенсивность сигнала может быть определена с помощью ЭПР-спектрометра, как измеренное расстояние между пиками в центральной линии спектра. Считывание сигнала не стирает информацию и дозиметр может быть считан повторно. Этот дозиметр может быть использован при дозах 10 Гр и более с неопределенностью измерений, достаточной для лучевой терапии.

Beam calibration – Калибровка пучка

Общим и начальным этапом при вводе в эксплуатацию радиотерапевтического аппарата, испускающего или генерирующего все виды излучений, является калибровка пучка. Под этой процедурой понимается калибровка радиационного выхода пучка излучения путем прямого измерения дозы или мощности дозы в воде в специальных стандартных (опорных) условиях. При проведении калибровки стандартизируются не только условия проведения необходимых измерений, но и сама процедура.

Beam quality – Качество пучка

Понятие качество пучка первоначально использовалось для характеристики спектра пучка рентгеновского излучения. Однако биологический эффект воздействия рентгеновского излучения не очень чувствителен к спектру пучка, поэтому в лучевой терапии возникла необходимость в параметре, который бы характеризовал степень проникновения пучка излучения в тело пациента, а не его подробный энергетический спектр. По этой причине понятие “качество пучка” стало характеристикой проникающей способности рентгеновского излучения, которое позже было распространено и на другие виды излучений.

Beam quality correction factor, k_{Q,Q_0} – Поправочный коэффициент k_{Q,Q_0} на качество пучка

Поправочный коэффициент на различие в чувствительности ионизационной камеры при стандартном (опорном) качестве пучка Q_0 ,

использованном при калибровке камеры в единицах поглощенной дозы, и при работе с пучком пользователя с качеством Q . Данный поправочный коэффициент используется при вычислении поглощенной дозы в воде на основе результатов измерений в пучке пользователя с помощью ионизационной камеры, и его табулированные значения для всех видов и энергий излучений, применяющихся в дистанционной лучевой терапии, приведены в практических рекомендациях по дозиметрии, основанных на эталонах единицы поглощенной дозы в воде, например, в документе МАГАТЭ - TRS 398, перевод которого на русский язык находится в свободном доступе на сайте МАГАТЭ (<https://www.iaea.org/ru/publications/7063/opreделение-pogloshchennoy-dozy-pri-distancionnoy-luchevoy-terapii>).

Beam quality index – Индекс качества пучка

Характеристика проникающей способности пучка излучения, служащая для определения дозиметрических параметров и поправочных коэффициентов, необходимых для расчета дозы, и зависящая от вида и энергии излучения. Например, в документе МАГАТЭ TRS-398 индекс качества для фотонов высокой энергии определяется отношением ткань–фантом $TPR_{20,10}$, то есть отношением поглощенных доз в воде, измеренных на глубинах 20 г/см² и 10 г/см² для размера поля 10×10 см и расстоянием источник–поверхность (РИП), равным 100 см. Для пучка электронов высокой энергии в этом же документе индексом качества является глубина, на которой поглощенная доза в воде становится равной половине максимальной поглощенной дозы, измеренной при постоянном РИП=100 см для размера поля 10×10 см для энергий до 16 МэВ и для размера поля 20×20 см для более высоких энергий.

Broad beam – Широкий пучок излучения

Излучение, испускаемое в таком телесном угле, что дальнейшее его увеличение не приводит к заметному увеличению измеряемой радиационной величины, обусловленной вкладом рассеянного излучения.

Build-up – Накопление дозы

Явление возрастания поглощенной дозы с глубиной, обусловленное испусканием вторичных заряженных частиц и рассеянным из-

лучением в веществе под входной поверхностью фантома/тела пациента.

Build up cup – Равновесный колпачок

Дополнительная насадка (колпачок) на ионизационную камеру, изготавливаемая обычно из пластика для создания электронного равновесия в чувствительном объеме камеры.

Build-up region – Область накопления дозы

Область глубинного распределения поглощенной дозы фотонов высокой энергии, в пределах которой величина кермы превышает значение поглощенной дозы в этой области из-за отсутствия электронного равновесия на проксимальной (ближней к источнику) поверхности фантома/тела пациента.

Calibration coefficient – Коэффициент калибровки

Коэффициент калибровки соответствует калибровочному коэффициенту дозиметра в пучке стандартного (опорного) качества Q_0 и всегда имеющим размерность, в отличие от безразмерных поправочных коэффициентов. Знак Q_0 используется, когда в качестве пучка излучения стандартного качества используется пучок гамма-излучения ⁶⁰Co. Калибровочный коэффициент дозиметра указывается в свидетельствах о калибровке или в свидетельствах о поверке (см. ниже “калибровка средств измерений”), выдаваемых поверочными лабораториями или производителями приборов: коэффициент $N_{D,w}$ всегда соответствует калибровочному коэффициенту в единицах поглощенной дозы в воде для дозиметра в пучке стандартного качества, а коэффициент $N_{D,air}$ соответствует калибровочному коэффициенту в единицах воздушной кермы для дозиметра в пучке стандартного качества. Пользователи должны быть четко проинформированы о том, какая величина использована для калибровки их дозиметров, чтобы избежать грубых ошибок. Используемые единицы: грей на кулон или грей на единицу показания прибора.

Calibration interval – Калибровочный интервал

Рекомендуемое время между калибровками средств измерений в соответствии с сопроводительными документами или рекомендациями регулирующих органов.

Calibration of measuring instruments – Калибровка средств измерений

Совокупность операций, устанавливающих соотношение между значением величины, полученным с помощью данного средства измерений (СИ), и соответствующим значением величины, определённым с помощью эталона, с целью определения действительных метрологических характеристик этого средства измерений. В качестве эталона при передаче размера единицы поглощенной дозы может быть национальный эталон страны, как правило, участвовавший в международных сличениях по линии Международного бюро мер и весов. Организация, обладающая таким эталоном, по классификации МАГАТЭ является Дозиметрической лабораторией первичных эталонов (ДЛПЭ). Это может быть также вторичный эталон, получивший размер единицы от первичного эталона, находящегося в ДЛПЭ. Организация, обладающая таким эталоном, называется Дозиметрической лабораторией вторичных эталонов (ДЛВЭ). В Российской Федерации используется также термин “поверка”. Поверка СИ есть установление органом государственной метрологической службы (или другим официально уполномоченным органом, организацией) пригодности СИ к применению на основании экспериментально определяемых метрологических характеристик и подтверждения их соответствия установленным обязательным требованиям, однако понятия “калибровка” и «поверка» не очень чётко разграничены в нормативных документах, что часто становится проблемой при применении СИ ионизирующих излучений в медицине. Данные понятия обсуждены в документе МАГАТЭ - TRS 398, перевод которого на русский язык находится в свободном доступе на сайте МАГАТЭ (<https://www.iaea.org/ru/publications/7063/orredelenie-pogloshchennoy-dozy-pri-distanconnoy-luchevoy-terapii>).

Calorimetry – Калориметрия

Калориметрия – это наиболее фундаментальный метод дозиметрии, так как он основан на измерении величин, непосредственно связанных с поглощенной дозой – либо электрической энергии, либо температуры. Основные принципы дозиметрии на основе калориметра состоят в следующем. В результате взаимодействия излучения с веществом чувствительного элемента калориметра происходит поглощение

энергии, которое в свою очередь приводит к увеличению температуры чувствительного элемента. Доза, поглощенная в чувствительном объеме калориметра, пропорциональна увеличению температуры, которое можно измерить с помощью термопар или термисторов. Дозиметрия на основе калориметра является самым точным методом из всех методов абсолютной дозиметрии. Однако на практике – это очень сложный и трудоемкий метод, связанный с необходимостью измерения очень малых изменений температуры с высокой точностью. В силу этих причин, калориметрия может быть реализована только в условиях хорошо оснащенных дозиметрических лабораторий первичных или вторичных эталонов. В этих лабораториях используют два типа калориметров поглощенной дозы:

- ✓ в *графитовых калориметрах* среднее увеличение температуры измеряется в графитовом блоке, который термически изолирован от окружающих оболочек с помощью вакуумных промежутков,
- ✓ в *запаянных водных калориметрах*, резервуар которых заполнен водой, находящейся в состоянии с минимальной теплоемкостью (при температуре 4°C), увеличение температуры может быть измерено в соответствующей точке в воде.

Cavity ionization chamber – Наперстковая ионизационная камера

Наперстковые ионизационные камеры (также называемые цилиндрическими камерами) могут служить в качестве относительного дозиметра практически во всём диапазоне видов излучений, используемых в лучевой терапии. Как абсолютный дозиметр наперстковые ионизационные камеры используют для измерения воздушной кермы фотонов с энергиями от 0,6 МэВ до 1,5 МэВ. В противоположность свободной воздушной ионизационной камере (см. ниже “свободная воздушная ионизационная камера”), в наперстковой ионизационной камере ионы собираются в воздухе внутри полости с известным объёмом, окруженном графитовой стенкой с толщиной, достаточной для создания условий электронного равновесия. При этом для определения поглощенной дозы по результатам измерений используется теория полости Брэгга-Грэя, предполагающая простые линейные соотношения между дозой в данной точке вещества и отношением заряда к массе воздуха в полости камеры. В качестве газа, на-

полняющего чувствительный объём ионизационной камеры, как правило, используется атмосферный воздух. Часть электронов, образованных в стенке камеры, попадает в чувствительный объём и ионизирует воздух за счет кулоновского взаимодействия с молекулами воздуха, создавая низкоэнергетические электроны и положительные ионы. Так как кислород воздуха является электроотрицательным газом, то низкоэнергетические электроны, созданные налетающими электронами при взаимодействии с молекулами воздуха, прикрепляются к молекулам кислорода и образуют отрицательные ионы. В процессе измерений определяется либо собранный заряд на единицу шкалы, либо ток на единицу шкалы.

Сема – Сема

Подобно керме, сема – это акроним для *Converted Energy per unit Mass*. Сема характеризует среднее количество энергии, потерянное в малом объеме вещества ионизирующим излучением (протоны или электроны) за счет столкновений с атомарными электронами безотносительно того, что происходит после этой передачи. Единица семы – Дж/кг. Отличие семы от кермы в следующем: сема имеет дело с энергией, потерянной налетающими частицами в столкновениях с электронами. Керма же имеет дело с энергией, переданной вылетающим частицам.

Code of practice for dosimetry – Практические рекомендации по дозиметрии

Практические рекомендации по дозиметрии служат руководящим документом для отделений ЛТ при определении поглощенной дозы в воде на основе измерений с помощью ионизационной камеры. Современные практические рекомендации по дозиметрии основываются на эталонах единицы поглощенной дозы в воде, хотя в некоторых учреждениях всё ещё могут использоваться ионизационные камеры, откалиброванные на эталонах единицы воздушной кермы. Практические рекомендации по дозиметрии включают методику определения поглощенной дозы в воде на основе измерений с помощью ионизационной камеры, откалиброванной в единицах поглощенной дозы в воде или в единицах воздушной кермы; описание стандартных (опорных) условий измерений в виде набора значений величин: геометрическое расположение фантома и детектора (расстояние и глубина, размер по-

ля, материал и размеры облучаемого фантома); условия проведения измерений (температура, давление и относительная влажность воздуха); методики введения поправок на эффекты поляризации и рекомбинации, влияющих на показания дозиметра; информацию о поправочных коэффициентах на различие в чувствительности ионизационной камеры при стандартном качестве пучка Q_0 , использованном при калибровке камеры, и при работе с пучком пользователя с качеством Q . Примером таких рекомбинаций может служить документ МАГАТЭ - TRS 398, русский перевод которого находится в свободном доступе на сайте МАГАТЭ (<https://www.iaea.org/ru/publications/7063/opredelenie-pogloshchennoy-dozy-pri-distanconnoy-luchevoy-terapii>).

Cross calibration – Перекрестная калибровка

Процедура установления коэффициента калибровки данного дозиметра путём непосредственного сличения его с другим дозиметром, прошедшего метрологическую калибровку или поверку.

Depth dose – Глубинная доза

Поглощенная доза на некоторой глубине облучаемого объекта, обычно на оси пучка излучения.

Depth of dose maximum – Глубина максимума дозы

Глубина от поверхности фантома до значения максимальной поглощенной дозы по оси пучка излучения на заданном расстоянии от источника.

Detector array – Многодетекторная сборка

Многодетекторная сборка состоит из множества миниатюрных дозиметров (например, полупроводниковых диодов или ионизационных камер), размещенных единым блоком с заданным шагом в пространстве, как правило, в виде двумерной матрицы. Используется при проведении приемных испытаний, введении радиотерапевтических аппаратов в клиническую эксплуатацию и при проведении процедур гарантии качества.

Detector reference point – Опорная точка детектора

Опорной точкой в чувствительном объеме детектора считается точка, относительно которой производится измерение расстояния от источника излучения до детектора при его заданной ориентации. Опорная точка цилиндрической ионизационной камеры находится в центре объема полости камеры на оси камеры, а для камер плоскопараллельного типа – находится в центре внутренней поверхности входного окна. Опорная точка должна быть отмечена на детекторе изготовителем прибора. Если это оказывается невозможным, контрольная точка должна быть указана в сопроводительной документации, прилагаемой к прибору.

Detector sensitivity, detector response – Чувствительность детектора

Частное от деления показания средства измерения на условно принятую истинную величину при расположении детектора в контрольной точке пространства. Для ионизационной камеры – это частное от деления ионизационного заряда или тока на условно принятую истинную величину, например, поглощенной дозы.

Diamond detector – Алмазный детектор

Алмазный детектор (на основе природного или синтетического алмаза) меняет свое сопротивление под действием излучения. Благодаря приложенному смещению, результирующий ток пропорционален мощности дозы. Детектор на основе природного алмаза герметизирован в полистироновую оболочку, а напряжение смещение подводится по имплантированным контактам из золота. Алмазные детекторы на основе синтетического алмаза также выполнены в виде миниатюрного зонда с чувствительным элементом, герметизированным на его кончике. Алмазный детектор тканеэквивалентен; практически не требует введения поправок на энергетическую зависимость чувствительности и ввиду малости размера чувствительного объема (менее 1 мм³) пригоден для измерений в области высокого градиента дозы, например, в стереотаксической радиохирургии. Благодаря своей высокой радиационной стойкости, алмазный детектор в отличие от кремниевых детекторов, может использоваться для измерений больших мощностей доз, например, вблизи источников при контактной луче-

вой терапии, а в последнее время – и для калибровки пучков для т.н. мгновенной (Flash) лучевой терапии.

Effective point of measurement, P_{eff} – Эффективная измерительная точка ионизационной камеры

Концепция эффективной измерительной точки напёрстковой ионизационной камеры введена для учета возмущения полостью камеры флюенса электронов, входящих в полость при помещении центра объема полости ионизационной камеры для измерений на опорную глубину в фантоме. На камеру, расположенную центром полости на опорной глубине, не воздействует тот же флюенс электронов, какой присутствует на этой глубине в невозмущенном фантоме. Этот эффект может быть учтен введением соответствующей поправки при вычислении поправочного коэффициента k_{Q,Q_0} . Другой способ учета указанного эффекта состоит в том, что для стандартной геометрии измерений, то есть при падении пучка излучения с одного направления, перпендикулярно поверхности фантома, эффективная измерительная точка напёрстковой ионизационной камеры P_{eff} сдвигается от центра камеры к источнику на расстояние, которое зависит от вида пучка и типа камеры. Для плоскопараллельных ионизационных камер обычно предполагают, что P_{eff} находится в центре внутренней поверхности воздушной полости и при измерениях эта точка совмещается с опорной глубиной.

Electron density – Электронная плотность

Количество электронов на единицу объема облучаемой среды. Относительная электронная плотность – это значение электронной плотности конкретной среды, деленная на электронную плотность воды. Электронная плотность требуется для расчета дозы при лучевой терапии и обычно вычисляется по данным рентгеновской компьютерной томографии, выраженных в единицах Хаунсфилда (см. ниже).

Electron equilibrium – Электронное равновесие

Состояние взаимодействия фотонного излучения с веществом, при котором суммарная кинетическая энергия всех электронов, входящих в рассматриваемый объем вещества, равна суммарной кинетической энергии электронов, покидающих его.

End to end test – Сквозное тестирование

Сквозное тестирование – это методология, используемая для проверки того, как работает поток работ операций от начала до конца и обеспечивается ли передача правильной информации между различными компонентами и системами. Применительно к лучевой терапии под сквозным дозиметрическим тестированием понимается независимый дозиметрический аудит, включающий в себя полную симуляцию всего потока работ и проверку правильности подведения дозы. В качестве аудиторов могут также выступать и сотрудники другого онкологического учреждения, имеющие необходимую квалификацию. Целью такого аудита является подтверждение того, что вся логистическая цепочка лучевого лечения, начиная с медицинской визуализации, дозиметрического планирования, калибровки радиационного выхода терапевтического пучка и проведения облучения, обеспечивает надлежащее соответствие предписанной и подведенной дозы. Для достижения этой цели используют антропоморфные фантомы, снабженные различными детекторами для измерения дозы, которые используют на всех этапах подготовки и проведения лучевой терапии вместо реального пациента.

Error – Погрешность*

Отклонение измеренного или рассчитанного значения величины от ее истинного значения, характеризующее точность определения этой величины. Принципиально отличается от неопределенности. При переводе термина *error* следует в зависимости от контекста различать собственно погрешность и неопределенность. В соответствии с ГОСТ 16263-70 дословный перевод “ошибка” относится к нереконструируемым терминам в метрологии. Понятие ошибки можно использовать только в случае описания каких-либо грубых промахов в организации и/или проведении процедуры измерений или расчетных исследований, которые можно было предотвратить еще до их начала.
* Термин воспроизведен в соответствии с формулировкой приведенной в: Наркевич Б.Я. и соавт. Разработка глоссария терминов и понятий по медицинской радиологии и радиационной безопасности. Мед.Физикаю 2020; (2): 61-86.

Extrapolation ionization chamber – Экстраполяционная ионизационная камера

Экстраполяционные камеры сконструированы таким образом, что являются состав-

ной частью тканеэквивалентного фантома, служащего для измерения дозы. При этом перемещаемый поршень с электродом экстраполяционной камеры позволяет изменять чувствительный объем и измерять изменение ионизации в зависимости от величины зазора между электродами. Экстраполяционные камеры, совмещенные с фантомом, используются в качестве абсолютного дозиметра при измерении поглощенной дозы в пучках мегавольтового фотонного и электронного излучений. В этом случае отношение заряда Q к массе воздуха в полости камеры m_{air} может быть заменено производной dQ/dm_{air} , которая в свою очередь, может быть очень точно измерена путем контролируемых изменений зазора между электродами камеры.

Field instrument – Рабочий прибор

Измерительный прибор, используемый для рутинных измерений, который калибруется относительно опорного прибора.

Fluence – Флюенс

Флюенс – в случае пучка частиц это отношение числа частиц dN , пересекающих перпендикулярную пучку элементарную площадку dS за данный промежуток времени, к площади этой площадки. В случае диффузного поля частиц, флюенс в точке определяется как отношение числа частиц, проникших в элементарную сферу с центром в этой точке, к площади поперечного сечения этой сферы $\Phi = dN/dS$. Единицы измерения – м^{-2} . Величина 1 м^{-2} – такой флюенс, при котором в объем сферы с площадью поперечного сечения 1 м^2 попадает одна частица.

Fricke (chemical) dosimetry – Химическая дозиметрия

Поглощенная энергия ионизирующего излучения приводит к химическим изменениям в веществе поглотителя, которые можно использовать как меру поглощенной дозы. Наиболее известный радиационный дозиметр в химической дозиметрии – это дозиметр Фрике, где используется окисление ионов железа Fe^{2+} до ионов Fe^{3+} при облучении раствора FeSO_4 . Концентрация ионов железа Fe^{3+} увеличивается пропорционально дозе и может быть измерена с помощью спектрофотометра в пике поглощения в ультрафиолетовой области на длине волны 304 нм. Точность Фрике-дозиметрии су-

ществленным образом зависит от точности определения радиационного химического выхода ионов железа. Динамический диапазон Фрике-дозиметрии простирается от нескольких Гр до 400 Гр. Однако для получения сигнала, который может быть измерен с необходимой неопределенностью, требуются довольно большая доза, что и ограничивает применение дозиметрии Фрике в клинической практике.

Gel dosimeter – Гелевый дозиметер

Гелевый дозиметр служит одновременно и фантомом для измерения дозного поля в трех измерениях. Гели практически тканеэквивалентны и могут воспроизвести любую форму.

Гелевая дозиметрия подразделяется на два вида: гелевый дозиметр Фрике и полимерные гели. Гелевый дозиметр Фрике использует принцип Фрике-дозиметрии, когда ионы Fe^{2+} в растворе ферросульфата вводятся в желатин, агарозу или поливинилацетатный компаунд. Под действием излучения, благодаря прямому поглощению энергии, либо через промежуточные свободные радикалы происходят химические переходы. При этом ионы Fe^{2+} превращаются в ионы Fe^{3+} с соответствующим изменением парамагнитных свойств, которые можно оценить, измеряя времена релаксации ядерно-магнитного резонанса (ЯМР), или используя оптические методы. В полимерных гелях такие мономеры, как акриламид, вводятся в желатин или в агарозу. В результате действия излучения происходит полимеризация, приводящая к созданию трехмерной гелевой матрицы. Этот процесс зависит от поглощенной дозы. Оценка дозы производится с помощью МРТ-визуализации, рентгеновской компьютерной томографии, оптической томографии, виброспектроскопии или ультразвука.

Half value layer – Слой половинного ослабления

Слой половинного ослабления (СПО) служит характеристикой проникающей способности рентгеновского излучения. СПО – это толщина определенного материала, ослабляющего в геометрии узкого пучка рентгеновское излучение с данной энергией или данным спектром так, чтобы мощность кермы, или мощность поглощенной дозы уменьшались до половины значения, измеренного при отсутствии этого материала.

Influence quantities – Влияющие величины

Понятие “влияющие величины” включает все величины, которые не являются целью измерения, но влияют на измеряемую величину. Применительно к ионизационной дозиметрии калибровочный коэффициент для ионизационной камеры справедлив только для стандартных условий, которые используются при её калибровке. Любое отклонение от стандартных условий при использовании ионизационной камеры в пучке пользователя должно быть учтено путем введения соответствующих поправок на влияющие величины. Следующие влияющие величины должны учитываться при проведении дозиметрии с помощью ионизационной камеры: температура, давление и влажность воздуха в полости, калибровка электрометра, эффекты полярности и рекомбинации, токи утечки камеры и облучение корпуса камеры.

Ionization – Ионизация

Образование ионов путем расщепления молекул или присоединения электронов к атомам или молекулам, либо отрыва электронов от них.

Ionization chamber – Ионизационная камера

Ионизационная камера – это детектор с газонаполненной полостью для регистрации ионизирующих частиц методом измерения числа пар ионов, производимых этими частицами в газе полости. Существуют также жидкостные ионизационные камеры, работающие по тому же принципу, но в этом случае полость наполнена специальной жидкостью, например, изоктаном. Для дозиметрии пучков излучения в лучевой терапии используются два типа ионизационных камер. Первый тип – это цилиндрические камеры (также называемые наперстковыми), которые применяются для калибровки пучков ортовольтного рентгеновского излучения, пучков мегавольтного фотонного излучения, пучков электронного излучения с энергией 10 МэВ и выше, а также пучков протонов и лёгких ионов. Второй тип – это плоскопараллельные камеры (также называемые камерами с входным окном), которые применяются для калибровки и измерений в пучках низкоэнергетического рентгеновского излучения, электронного излучения с энергией менее 10 МэВ, в пучках протонов с энергией до 100 МэВ и в пучках фо-

тонного излучения в областях накопления дозы и дозы на поверхности.

Ionization chamber dosimetry – Дозиметрия на основе ионизационных камер

Ионизационная камера является наиболее распространенным и практичным радиационным дозиметром для калибровки пучков излучения в лучевой терапии. Ионизационная камера может служить как абсолютным, так и относительным дозиметром. Чувствительный объем ионизационных камер, используемых в дозиметрии лучевой терапии, обычно заполнен атмосферным воздухом. В результате взаимодействия излучения с чувствительным объемом измеренный заряд можно соотнести с дозой излучения, а измеренный ток можно соотнести с мощностью дозы излучения. Три типа ионизационных камер могут быть использованы в стандартной дозиметрии в качестве абсолютного дозиметра: свободная воздушная ионизационная камера, наперстковая ионизационная камера и экстраполяционная камера. Для соответствия термину “абсолютный дозиметр” при измерении дозы с помощью ионизационной камеры требуется знание с высокой точностью величины средней энергии ионообразования в воздухе.

Ionizing radiation – Ионизирующее излучение

Излучение, взаимодействие которого с веществом приводит к ионизации ее атомов и молекул. Ионизирующим излучением является гамма-излучение, рентгеновское излучение, пучки электронов и позитронов, а также тяжелых заряженных (протонов, альфа-частиц и др.) и электрически нейтральных (нейтронов и др.) частиц. При этом фотоны и нейтроны являются косвенно ионизирующими излучениями. Видимое и ультрафиолетовое излучения исключены из этого понятия, так как являются неионизирующими.

Ionizing radiation detector – Детектор ионизирующего излучения

Детекторы ионизирующего излучения состоят из двух соединенных частей. Первая часть состоит из чувствительного материала, который претерпевает изменения при воздействии радиации. Другим компонентом является устройство, которое преобразует эти изменения в измеряемые сигналы.

Ion recombination – Рекомбинация ионов

Рекомбинация ионов приводит к неполному сбору заряда в полости ионизационной камеры, что требует введения соответствующего поправочного коэффициента при вычислении дозы по результатам измерений. Имеют место два отдельных эффекта: (1) рекомбинация ионов, формируемых отдельными треками ионизирующих частиц, называемая общей (или объемной) рекомбинацией, которая зависит от плотности ионизирующих частиц и поэтому от мощности дозы, и (2) рекомбинация ионов, формируемых единственным треком ионизирующей частицы, называемая начальной рекомбинацией, которая не зависит от мощности дозы. Оба эффекта зависят от геометрии камеры и от приложенного напряжения. Методы определения поправок на рекомбинацию ионов для различных видов излучений, используемых в лучевой терапии, приведены в практических рекомендациях по дозиметрии, например, в документе МАГАТЭ - TRS 398.

In vivo dosimetry – Дозиметрия in vivo

Дозиметрия *in vivo* рассматривается как элемент программы гарантии качества, используемый для контроля правильности подведения дозы при проведении лучевой терапии с модуляцией интенсивности (ЛТМИ), для оценки доз на критические органы и структуры (хрусталик глаза, гонады и т.д.) или в тех случаях, когда компьютерные дозиметрические расчеты проблематичны или недостаточно точны (области стыковки некомпланарных полей облучения, доза на кожу, в лёгком, в кости или в воздушной полости). Дозиметрия *in vivo* также используется для контроля доз при проведении облучения всего тела и полного облучения кожи пациента электронным пучком, а также в контактной лучевой терапии. Методы дозиметрии *in vivo* основаны на использовании специальных твердотельных детекторов и систем портальной визуализации.

Intensity – Интенсивность

Этот термин обозначает плотность потока энергии излучения или частиц, которая равна произведению мощности флюенса на энергию частиц. В соответствии с Докладом 33 МКРЕ (1980 г.) этот термин должен переводиться как “мощность флюенса энергии”, а термины “плотность потока энергии” и “интенсивность” к использованию не рекомен-

дуются. Однако, в соответствии с ГОСТ 15484–81, термин “плотность потока энергии” узаконен, тогда как термины “интенсивность” и “мощность флюенса энергии” в нем отсутствуют вообще. Тем не менее, в ряде русскоязычных публикаций термин “интенсивность” часто употребляется благодаря его краткости и кажущейся очевидности, хотя и не всегда правильно, когда с его помощью терминируются другие физические величины и понятия, далекие от соответствия указанному здесь физическому смыслу.

* Термин воспроизведен в соответствии с формулировкой приведенной в: Наркевич Б.Я. и соавт. Разработка глоссария терминов и понятий по медицинской радиологии и радиационной безопасности. Мед. Физика. 2020; (2): 61-86.

Керма – Керма

Керма – акроним для Kinetic Energy Released per unit Mass – характеризует среднюю кинетическую энергию, переданную в малом объеме вещества косвенно ионизирующим излучением заряженным частицам, безотносительно того, что происходит после этой передачи. Керма в общем случае отличается от поглощенной дозы. При низких энергиях первичного излучения керма примерно равна поглощенной дозе, тогда как при высоких энергиях керма намного выше поглощенной дозы, поскольку часть энергии уносится из поглощающего объема в форме тормозного излучения или быстрых вторичных электронов. Единица кермы, как и поглощенной дозы – джоуль на килограмм, или грей, Гр; 1 Гр=1 Дж/кг.

Leakage current – Ток утечки

Любой ток в сигнале детектора и/или измерительного устройства, который не создается ионизацией в радиационном детекторе.

Luminescence – Люминесценция

Некоторые материалы при поглощении излучения сохраняют часть поглощенной энергии, находясь в метастабильном состоянии. Когда эта энергия впоследствии выделяется в виде ультрафиолетового, видимого или инфракрасного излучения, этот феномен называется люминесценцией, при этом определенные вещества под воздействием излучения испускают видимый свет, длина волны которого характерна для данного вещества. Различие между этими явлениями зависит от временной задержки между стимуляцией и эмиссией света: флюоресценция имеет задержку порядка 10^{-10} с –

10^{-8} с. Фосфоресценция имеет задержку более 10^{-8} с. Процесс люминесценции может быть усилен при использовании соответствующего воздействия, например, в форме теплового или светового воздействия. Если возбуждение вызывается нагреванием, то этот феномен называется термолюминесценция (ТЛ). Область практического применения термолюминесцентных детекторов (ТЛД) простирается от радиационной дозиметрии до датирования керамики в археологии (естественные примеси в отожженной глине и захватный процесс в результате действия природного излучения, который начинается сразу после отжига). Если возбуждение вызывается светом, то этот феномен называется оптически стимулированная люминесценция (ОСЛ).

Mailed dosimetry – Почтовая дозиметрия

Почтовая дозиметрия используется международными или национальными организациями для аудита качества в лучевой терапии и дозиметрического сличения между онкологическими учреждениями. Рассылка по почте включает комплект твердотельных детекторов (ТЛД, аланин и т.п.), специальный фантом и инструкции по проведению облучения. В большинстве случаев программы почтового аудита направлены на проверку точности калибровки радиотерапевтических пучков и правильности подведения дозы непосредственно во время сеанса облучения.

Mean energy required to produce an ion pair in air – Средняя энергия ионообразования в воздухе

Величина средней энергии образования одной пары ионов в воздухе полагается постоянной во всем диапазоне энергий фотонного и электронного излучения, используемого в практике лучевой терапии. Рекомендованное значение средней энергии ионообразования для сухого воздуха составляет 33,97 эВ на пару ионов или 33,97 Дж/Кл. Следует отметить, что прямых экспериментальных данных, подтверждающих это предположение, нет, так как величина средней энергии ионообразования в воздухе была получена лишь в результате измерений в пучках гамма-излучения ^{60}Co и ^{137}Cs и в пучке тормозного излучения 2 МВ. Применительно к пучкам протонов рекомендованное значение средней энергии ионообразования для сухого воздуха составляет 34,44 эВ на пару ионов и для лёгких ионов – 34,71 эВ. Эти ве-

личины получены путём усреднения известных экспериментальных данных и также полагаются постоянными во всем диапазоне энергий протонов и соответственно лёгких ионов, используемых в практике лучевой терапии.

MOSFET dosimeter – Дозиметрическая система с MOSFET детекторами

MOSFET – акроним для Metal-Oxide Semiconductor Field Effect Transistor. Ионизирующее излучение создает носители заряда в кремний оксиде, которые движутся в направлении кремниевой подложки, где и захватываются. Это приводит к накоплению заряда, и соответственно к изменению порогового напряжения между электродом и кремниевой подложкой. Дозиметрия на основе MOSFET детектора основана на измерении порогового напряжения, которое линейно зависит от поглощенной дозы. Суммарная доза может быть измерена во время или после облучения.

National standard – Национальный эталон

Эталон, признанный решением официального национального органа как исходное средство для определения величины в стране для всех других эталонов данной физической величины.

Parallel-plate ionization chambers – Плоскопараллельные ионизационные камеры

Плоскопараллельные камеры (также называемые камерами с входным окном) имеют три электрода, которые определяют её чувствительный объём: поляризующий электрод, подсоединенный непосредственно к блоку питания, охранной электрод, который заземлен и служит двум целям – формированию чувствительного объёма камеры и защите от токов утечки и собирающий электрод, который подсоединен к земле через низкоомный вход электрометра и служит для измерения тока или заряда, созданного в чувствительном объёме камеры. Плоскопараллельные камеры используются в основном для относительной дозиметрии и служат дозиметрами для измерения поглощенной дозы в пучках низкоэнергетического фотонного излучения, электронного излучения и пучках протонов с энергией менее 100 МэВ.

Particle flux – Поток частиц

Отношение числа частиц (фотонов) dN , пересекающих заданную поверхность за интервал времени dt , к этому интервалу: единица c^{-1} .

Particle flux density – Плотность потока частиц

Отношение числа частиц dN , пересекающих заданную поверхность объекта облучения за интервал времени dt , к площади этой поверхности dS и временному интервалу: dt . Единица – $m^{-2} \cdot c^{-1}$. МКРЕ вместо термина “плотность потока” рекомендует использовать термин “мощность флюенса”.

Penumbra – Полутень

Полутень в медицинской радиационной физике – это область пространства вокруг пучка излучения, в которой значение потока излучения находится между двумя определенными или заданными значениями, составляющими часть от значения потока излучения, измеренного на оси пучка излучения в том же поперечном сечении. В лучевой терапии полутень часто характеризуется расстоянием между точками на профиле пучка в поперечном сечении, где доза достигает 80 % и 20 % от дозы на центральной оси пучка.

Percent depth dose – Процентная глубинная доза

Распределение дозы вдоль центральной оси пучка, нормированное на значение дозы в максимуме.

Perturbation factor – Коэффициент возмущения

Коэффициент возмущения или поправочный коэффициент чувствительности ионизационной камеры, откалиброванной в единицах поглощенной дозы в воде, используется в расчетах поглощенной дозы по данным измерений с помощью ионизационной камеры. Этот коэффициент включает все поправки в практических рекомендациях по дозиметрии, необходимые для учета того, что при помещении реальной ионизационной камеры в среду, условия теории Брэгга-Грэя для воздушной полости не соблюдаются:

- ✓ поправки, связанные с эффектом внедрения воздушной полости в среду, приводящим к тому, что флюенс электронов в полости отли-

чается от флюенса в среде в отсутствие полости,

- ✓ поправки на влияние центрального электрода во время измерений в фантоме, в пучках фотонов высокой энергии (включая ^{60}Co), электронов и протонов,
- ✓ поправки, учитывающий влияние замены объема воды на полость реальной ионизационной камеры, когда предполагается, что точка, к которой приписывается результат измерения камерой, находится в ее центре. Это является альтернативой применения эффективной измерительной точки камеры P_{eff} . Для плоскопараллельных ионизационных камер эта поправка не требуется.
- ✓ поправка на неэквивалентность стенки камеры и любого водозащитного материала.

При этом в практических рекомендациях по дозиметрии нет существенной разницы при определении поправок для различных видов излучения (фотоны, электроны высоких энергий, протоны и легкие ионы).

Phantom – Фантом

Прямые измерения доз, полученных пациентом при проведении лучевой терапии, затруднительны, поэтому на практике используют устройства, имитирующие тело пациента и называемые фантомами. Фантомы снабжаются различными детекторами для измерения дозы и изготавливаются из материалов, поглощающие и рассеивающие свойства которых для данного вида ионизирующего излучения близки к свойствам конкретной биологической ткани (т.н. тканеэквивалентные материалы). Основной величиной, которую необходимо определить при калибровке пучков излучения для лучевой терапии, является поглощенная доза в воде в стандартных или опорных условиях. Любые переходы от дозы в воде к дозе в других материалах обычно происходит в процессе дозиметрического планирования облучения. Стандартная дозиметрия, или калибровка пучков излучения выполняется в водных фантомах (пластиковый бак с водой) или в твердотельных фантомах (блок прямоугольных пластин из тканеэквивалентного материала). Измерения в программах гарантии качества облучения: проверка расчета дозиметрических планов, проверка новых методов облучения, контроль доз облучения критических органов и т.п. выполняют в антропоморфных фантомах. Антропоморфный фантом – это модель тела человека, изготовленная из тканеэквивалентных

материалов и адаптированная для решения задач дозиметрии внешнего и внутреннего облучения в лучевой терапии.

Plastic scintillator dosimetry system – Дозиметрическая система с пластическим сцинтиллятором

Световой сигнал, создаваемый в пластическом сцинтилляторе ионизирующим излучением, передается по оптоволокну в фотоэлектронный умножитель (ФЭУ), который находится за пределами бункера. Система содержит два оптоволоконных канала, соединенных с разными ФЭУ, – один для измерений дозы, а второй – для регистрации фонового сигнала, созданного излучением Черенкова. Полезный сигнал находится вычитанием фонового сигнала из измеренного. Чувствительная область сцинтиллятора очень мала (1 мм³ и менее), поэтому пластический сцинтиллятор может быть использован для измерений в тех случаях, когда требуется высокое пространственное разрешение.

Polarity effect – Эффект полярности

Показания дозиметра на основе ионизационной камеры могут различаться при использовании потенциалов противоположной полярности, и для большинства типов камер этот эффект незначителен в фотонных пучках, за исключением использования плоскопараллельных камер с очень тонким окном в низкоэнергетическом тормозном излучении. В пучках электронов эффект также может быть значительным. Для повседневного использования конкретной ионизационной камеры обычно принимается одно значение потенциала и определенная полярность. Воздействие на показания камеры при использовании потенциалов противоположной полярности для каждого пучка пользователя может быть учтено при использовании соответствующего поправочного коэффициента. Методы определения поправок на эффект полярности для различных видов излучений, используемых в лучевой терапии, приведены в практических рекомендациях по дозиметрии, например, в документе МАГАТЭ – TRS 398.

Portal dosimetry – Портальная дозиметрия

Дозиметрические измерения, выполняемые с помощью устройств портальной медицинской визуализации, основаны на измерении планарного распределения дозы излучения

ния, проходящего через тело пациента при проведении лучевой терапии. Полученные планарные распределения дозы с помощью специальных компьютерных программ реконструируются в трехмерные дозные распределения, которые в свою очередь сравниваются с результатами дозиметрического планирования. Портальная дозиметрия часто используется для проверки клинических планов ЛТМИ применительно к каждому пациенту до начала первого сеанса облучения.

Precision – Прецизионность*

В соответствии с ГОСТ Р ИСО 5725-2-2002 для описания общей точности метода измерений используются два термина: “правильность” и “прецизионность”. Прецизионность – степень близости друг к другу независимых результатов измерений, полученных в конкретных установленных условиях. Эта характеристика зависит только от случайных факторов и не связана с истинным или условно истинным значением измеряемой величины. Показателем прецизионности обычно является значение неопределенности, показателем правильности – значение погрешности.

* Термин воспроизведен в соответствии с формулировкой приведенной в: Наркевич Б.Я. и соавт. Разработка глоссария терминов и понятий по медицинской радиологии и радиационной безопасности. Мед. Физика. 2020; (3): 94-114.

Primary standard – Первичный эталон

Прибор с высокими метрологическими характеристиками, который позволяет воспроизводить размер единицы величины, согласно её определению, точность которого подтверждается сравнением с соответствующими эталонами других организаций этого же уровня.

Primary standard of absorbed dose to water – Первичный эталон поглощенной дозы в воде

В настоящее время имеется три основных метода для определения поглощенной дозы в воде, используемые на уровне первичного эталона в различных дозиметрических лабораториях первичных эталонов: ионометрический метод, метод полного поглощения, основанный на химической дозиметрии, и калориметрический метод.

Primary standards dosimetry laboratory – Дозиметрическая лаборатория первичных эталонов

Дозиметрическая лаборатория первичных эталонов (ДЛПЭ) – аккредитованная на национальном уровне лаборатория, уполномоченная правительством для хранения, поддержания и совершенствования первичных эталонов в области радиационной дозиметрии.

Radiation dosimeter – Радиационный дозиметр

Радиационный дозиметр – это прибор, который позволяет получить в поле излучения показание M , которое можно затем соотнести с дозой D , подведенной к чувствительному объему дозиметра V , в результате действия ионизирующего излучения. Основные компоненты ионизационного дозиметра: ионизационная камера (цилиндрическая или плоскопараллельная), универсальный электрометр, соединительный кабель с разъемами для различных камер.

Radiation field analyzer – Анализатор дозного поля

Компьютеризированный водный фантом с соответствующими прецизионными механизмами, позволяющий измерять дозные распределения путем сканирования пучка различными детекторами. Широко используется при проведении приемных испытаний и введении радиотерапевтических аппаратов в клиническую эксплуатацию.

Radiation output – Радиационный выход

Радиационный выход терапевтического пучка измеряют на опорной глубине в водном фантоме на номинальном расстоянии источник – поверхность или источник – ось ротации, в опорном поле, определенном на поверхности фантома или на уровне изоцентра, и характеризуют следующим образом:

- ✓ для рентгенотерапевтических и гамма-терапевтических аппаратов – в Гр/мин;
- ✓ для медицинских ускорителей электронов – в Гр/мониторную единицу (МЕ);
- ✓ для медицинских ускорителей протонов и легких ионов – в Гр/МЕ или в число протонов (ионов) / конечное сечение пучка (см. раздел глоссария “Термины в области лучевой терапии пучками протонов и легких ионов”). В некоторых случаях радиационный выход

рентгено-терапевтических аппаратов и гамма-терапевтических аппаратов может характеризоваться в единицах воздушной кермы (Гр/мин), определенной для опорного размера поля или тубуса на соответствующем расстоянии от источника.

Radiochromic film – Радиохромная плёнка

Радиохромная пленка не требует проявления и фиксирования, так как содержит эмульсию, которая полимеризуется под действием излучения, окрашиваясь в голубой цвет. Зависимость оптической плотности от дозы для радиохромной пленки, так же как и для рентгенографической пленки, определяется с помощью соответствующего денситометра или планшетного сканнера. Наиболее распространенным типом радиохромной пленки является пленка типа GafChromic, однако она менее чувствительна, чем радиографические пленки, и более дорогая. Радиохромная пленка GafChromic имеет почти тканеэквивалентный состав и поэтому её дозовая чувствительность практически не зависит от энергии. Плёнка удобна для измерений в зонах высокого градиента дозы, например, при стереотаксическом облучения и в областях вблизи источников при контактной лучевой терапии.

Radiographic film – Рентгенографическая пленка

Рентгенографическая пленка выпускается в виде листового или рулонного материала, состоящего из прозрачной основы, покрытой одной или с двух сторон чувствительной к излучению эмульсией. Рентгенографическая пленка используется, как правило, в рентген-диагностике, а также в качестве детектора при оценке излучения утечки в различных узлах радиационно-терапевтических аппаратов.

Reference air kerma rate – Опорная мощность воздушной кермы

Характеристика закрытых радионуклидных источников, используемых в контактной лучевой терапии. Определяется как мощность воздушной кермы в воздухе на расстоянии 1 м от источника, скорректированная на ослабление и рассеяние излучения.

Reference conditions – Опорные условия

Условия, при которых все влияющие величины и параметры имеют свои нормирован-

ные значения. В практике дозиметрии лучевой терапии опорные условия называют также стандартными условиями.

Reference dosimetry – Стандартная дозиметрия

Калибровка радиационного выхода пучка излучения клинического назначения путем прямого измерения дозы или мощности дозы в воде в специальных опорных условиях, называется дозиметрией в стандартных (опорных) условиях или стандартной дозиметрией. Известны три метода стандартной дозиметрии: калориметрия, химическая дозиметрия или дозиметрия Фрике и ионометрическая дозиметрия или дозиметрия на основе ионизационных камер.

Reference instrument – Опорный прибор

Прибор с высокими метрологическими характеристиками, применяемый для данного региона и являющийся исходным для данного региона. В английской литературе часто используется прилагательное “reference”. Когда речь идёт о приборе, поверенном на национальном эталоне (“reference instrument”, “reference dosimeter”) и предназначенного для проверки, используется понятие “рабочий эталон” с добавлением разряда (первого, второго и т.д. разряда). Поэтому “reference dosimeter” переводится обезличенно как “исходный” или «опорный» дозиметр в зависимости от контекста, имея в виду, что эти понятия являются синонимами. То же относится к точке водного фантома, в которой производятся измерения опорным дозиметром и глубине фантома, на которой расположена эта точка: “reference point” и “reference depth”. Эти термины переводятся как “опорная точка” и “опорная глубина”. Данные понятия обсуждены в документе МАГАТЭ - TRS 398, перевод которого на русский язык, находится в свободном доступе на сайте МАГАТЭ (<https://www.iaea.org/ru/publications/7063/opredelenie-pogloshchennoy-dozy-pri-distancionnoy-luchevoy-terapii>).

Relative dosimeter – Относительный дозиметр

Относительный дозиметр – это прибор, требующий предварительной калибровки в известном поле излучения.

Secondary standard – Вторичный эталон

Прибор, откалиброванный методом сравнения по первичному эталону.

Secondary standards dosimetry laboratory – Дозиметрическая лаборатория вторичных эталонов

Дозиметрическая лаборатория вторичных эталонов (ДЛВЭ) – дозиметрическая лаборатория, определённая регулирующим органом для проведения поверочных работ, и которая оборудована, по крайней мере, одним вторичным эталоном, который калибруется по первичному эталону.

Silicon diode dosimeter – Кремниевый диодный дозиметр

Один из видов твердотельных дозиметров – дозиметр с кремниевым диодом. В нем используется диод с положительно-отрицательным запорным слоем. Диоды изготавливают нанесением кремния n-типа или p-типа на подложку и введением доноров или акцепторов на поверхность подложки для создания материала с противоположными свойствами. Для минимизации темнового тока дозиметр с кремниевым диодом используют без напряжения смещения.

Solid water, white water – Твердая вода, белая вода

Коммерческие названия материалов (твёрдая вода, белая вода и т.д.) для изготовления дозиметрических фантомов, представляющие собой органический материал, который имеет электронную плотность и радиационные характеристики поглощения и рассеяния излучения, близкие к воде.

Standard free air ionization chamber – Свободная воздушная ионизационная камера

Свободные воздушные ионизационные камеры служат в качестве первичного эталона воздушной кермы рентгеновского излучения до 300 кВ. Свободная воздушная ионизационная камера является абсолютным дозиметром для измерения воздушной кермы в соответствии с её определением, при этом собираются все заряды, созданные пучком рентгеновского излучения, и заряды, возникшие в результате прямой передачи энергии фотонами первичным электронам в определенном объеме возду-

ха. По практическим соображениям, связанным с величиной пробега носителей заряда в воздухе, использование свободной воздушной ионизационной камеры ограничено энергиями фотонов в 0,3 МэВ.

Uncertainty – Неопределенность

Это параметр, характеризующий дисперсию величины, и который может являться достаточной характеристикой измеряемой величины. Стандартная неопределенность измерений есть неопределенность результата, выраженная как стандартное отклонение. Стандартная неопределенность типа А: метод определения основан на статистическом анализе рядов наблюдений. Стандартная неопределенность типа В: определение этой неопределенности основано на нестатистических методах.

Список сокращений

ААРМ – Американская ассоциация медицинских физиков
 ДЛПЭ – Дозиметрическая лаборатория первичных эталонов
 ДЛВЭ – Дозиметрическая лаборатория вторичных эталонов
 ЛТМИ – лучевая терапия с модуляцией интенсивности
 МАГАТЭ – Международное агентство по атомной энергии
 МКРЕ – Международная комиссия по радиологическим единицам и измерениям
 ЯМР – ядерно-магнитный резонанс
 TRS – Серия технических докладов МАГАТЭ
 TPR – отношение ткань–фантом

Список литературы

1. Наркевич БЯ, Моисеев АН, Рыжов СА, Русецкий СС, Кузнецов МА. Разработка глоссария терминов и понятий по медицинской радиологии и радиационной безопасности. Медицинская физика. 2020; (2): 61-86; (3): 91-114. [Narkevich BYa, Moiseev AN, Ryzhov SA, Ruset-sky SS, Kuznetsov MA. Development of a glossary of terms and concepts for medical radiology and radiation safety. Medical physics. 2020; (2): 61-86; (3): 91-114 (In Russian)].

**GLOSSARY OF TERMS AND CONCEPTS IN MEDICAL RADIATION PHYSICS.
TERMINOLOGY USED IN DOSIMETRY OF RADIATION THERAPY**

S.M. Vatnitsky

MedAustron Ion Therapy Center, Wiener Neustadt, Austria

Medical radiation physics supports medical diagnostic and treatment process based on the use of ionizing radiation in radiation therapy, nuclear medicine, radiation diagnostics and radiation safety of patients and personnel. However, the successful implementation of this process requires close interaction of specialists in all the above areas. The basis of such interaction is the unification of the terminology and concepts used at various stages of the diagnostic and treatment process. The article presents a glossary on dosimetry of radiation therapy which contains the most commonly used terms in this field and explanations for each of them. The glossary is intended for use both in professional education, including postgraduate education, and for medical physicists and radiation oncologists working in radiological medical organizations.

Key words: medical radiation physics, dosimetry, radiation therapy, terminology

E-mail: s.vatnitsky@chello.at