

ГЛОССАРИЙ ПО ВОПРОСАМ МЕДИЦИНСКОЙ РАДИАЦИОННОЙ ФИЗИКИ. ТЕРМИНОЛОГИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМАЯ В ОБЛАСТИ ДОЗИМЕТРИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ДИСТАНЦИОННОЙ 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 применительно к дозиметрическому планированию дистанционной 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, дистанционная лучевая терапия, дозиметрическое планирование, терминология

DOI: 10.52775/1810-200X-2023-97-1-84-97

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 подготовки и проведения лучевой терапии:

- ✓ 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 традиционного построения глоссариев, когда термины и понятия представлены в алфавитном порядке независимо от разделов термилируемой 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 ра-

диационной физике лучевой терапии. В предыдущих работах (Ватницкий С.М. "Глоссарий по вопросам медицинской радиационной физики. Терминология, используемая в области дозиметрического обеспечения лучевой терапии". Мед. физика, 2022, № 3) были представлены термины и понятия Глоссария, относящиеся к технологическому и дозиметрическому обеспечению лучевой терапии. В настоящей работе представлен Глоссарий терминов и понятий применительно к следующему разделу медицинской радиационной физики – дозиметрическому планированию дистанционной лучевой терапии, который содержит наиболее часто используемые термины а также разъяснения для каждого из них.

Терминология, используемая в области дозиметрического планирования дистанционной лучевой терапии

Air gap – Воздушный промежуток

Термин "воздушный промежуток" характеризует расстояние от проксимальной поверхности радиационной головки радиотерапевтического аппарата, а в случае крепления к ней формирующих приспособлений, например, электронного тубуса или подвесной платформы, от их проксимальной поверхности, до поверхности тела пациента.

Anatomical data acquisition – Топометрия, предлучевая подготовка

Сбор данных для построения анатомической модели тела пациента, содержащей геометрические параметры мишеней (опухолей) и анатомических структур, а также данные их плотностей.

Automatic segmentation – Автоматическое оконтуривание

Ручное оконтуривание мишени и органов риска на медицинских изображениях на этапе дозиметрического планирования лучевой терапии весьма трудоемко из-за сложности анатомии, неправильной формы опухоли и большого количества важных нормальных структур, окружающих опухоль. Автоматическое оконтуривание на основе атласа изображений является одним из наиболее часто используемых методов, позволяющих сократить временные за-

траты. Ключевым компонентом этого метода является атлас или база данных, содержащая изображения с очерченными контурами интересующих структур. Контурные изображения накладываются на изображения планируемого к облучению пациента, которые совмещаются данными атласа с помощью векторов трансформации, сгенерированных посредством деформируемой регистрации изображений (см. ниже), полученных из данных медицинской визуализации пациента.

Basic beam data – Набор исходных дозиметрических данных о пучке

Дозиметрические данные для опорных полей облучения (глубинные дозы, профили пучка, коэффициенты выхода и т.д.), измеренные для опорных условий. Эти данные, называемые первичной дозиметрической информацией, используются только для тестирования компьютерной системы дозиметрического планирования облучения (СДП) при ее приемке.

Beam characterization set – Набор характеристик пучка

Набор характеристик пучка включает данные, необходимые для моделирования пучка излучения и вводимые в СДП в формате, определенном изготовителем, а также данные о геометрии облучения и её возможных ограничениях.

Beam's Eye View (BEV) – Вид из источника

Вид из источника – это конфигурация контуров мишени, нормальных тканей и критических органов а также границ пучка, видимых из положения источника радиотерапевтической установки для заданного направления пучка. Данное средство визуализации используется при трехмерном планировании для выбора конфигураций многопластинчатой диафрагмы (МПД) или защитных блоков, которые позволяют минимизировать облучение нормальных тканей и критических органов для заданного направления пучка.

Beam model – Дозиметрическая модель пучка

Концептуальная модель для описания дозного распределения пучка излучения, являющаяся основой алгоритма, реализованного в математическом обеспечении расчета доз в теле пациента в СДП.

Beam model fitting – Подгонка параметров модели описания пучка

Процесс подгонки параметров модели для описания дозного распределения пучка излучения, позволяющих добиться хорошего совпадения расчетных и измеренных дозных распределений.

Beam normalization point – Точка нормирования весового вклада пучка

Точка, в которой определяется весовой вклад для каждого индивидуального пучка.

Beam profile – Профиль пучка

Профиль пучка – распределение дозы вдоль линии, лежащей в плоскости, перпендикулярной центральной оси пучка излучения.

Beam weight – Весовой вклад пучка

Весовой вклад дозы (абсолютной или относительной) в точке нормирования для каждого индивидуального пучка.

Benchmark data – Набор опорных данных

Опорные дозиметрические данные, полученные либо в результате тщательных измерений, либо вычисленные с помощью продвинутых методов (например, методом Монте-Карло), используемые для оценки точности алгоритма расчета дозных распределений в СДП.

Bolus – Болюс

Болюс – это тканеэквивалентный материал, помещенный на поверхность тела пациента, целью которого является увеличение поверхностной дозы в мегавольтном пучке. Часто это достигается использованием болюса, толщина которого достаточна для создания условий электронного равновесия на уровне поверхности тела пациента. Болюс также используется для компенсации кривизны контура тела пациента, создания условий падения пучка на плоскую поверхность и компенсации отсутствия рассеяния в экстремальных случаях, например, при облучении всего тела пациента.

Clinical target volume (CTV) – Клинический объем мишени

Клинический объем мишени – это объем ткани, включающий определяемый объем мишени (GTV см. ниже) и области субклинического распространения опухоли, которые также должны быть облучены. Клинический объем

мишени обычно окружен областью нормальной ткани, которая может быть поражена микроскопическими метастазами опухоли, а также дополнительными объемами субклинического распространения, которые также относят к области риска и поэтому они должны быть подвергнуты лучевому воздействию.

Compensator – Компенсатор

Компенсирующий фильтр или компенсатор влияет на дозное распределение как и болус, но при этом сохраняет эффект щажения кожи. В последнее время эти устройства используются в дистанционной лучевой терапии для имитации эффекта модуляции интенсивности излучения путём ослабления пучка излучения в различных его областях разным количеством материала. Компенсирующие фильтры изготавливают практически из любых материалов, однако наиболее компактными и практичными являются фильтры, изготовленные из бронзы, свинца или низко-температурного сплава. Компенсирующий фильтр устанавливают на специальной подвесной платформе, крепящейся к радиационной головке аппарата.

Confidence limit – Согласованный допуск

Понятие, используемое при анализе результатов сравнения рассчитанных и измеренных данных. Согласованный допуск – это показатель, рассчитанный из статистического распределения отклонений дозы в большом числе точек.

Conformity index – Индекс конформности

Величина, позволяющая оценить в какой степени изодозная поверхность с предписанной или другой клинически значимой дозой, соответствует визуализированной форме мишени облучения.

Corrections for contour irregularities – Поправка на кривизну поверхности

Дозные распределения измеряют на практике при перпендикулярном падении пучка излучения на плоскую поверхность водного фантома. Чтобы использовать эти данные для оценки дозного распределения в теле пациента, требуется введение поправок на кривизну поверхности тела пациента.

Corrections for tissue inhomogeneities – Поправка на неоднородность (гетерогенность) ткани

В первом приближении расчет дозы и ее распределения в теле пациента можно выполнять, приняв во внимание, что все ткани водно-эквивалентны. Однако в случае реального больного, излучение пересекает ткани с различными плотностями и атомными номерами, такие как мышечная ткань, легкие, жировая ткань, кости и воздушные промежутки. Наличие неоднородности тканей влияет на ослабление и рассеяние излучения, поэтому распределение глубинных доз для неоднородной среды будет в значительной мере отличаться от распределений в воде. Для учета этих эффектов используются различные методы расчета поправок на неоднородность ткани.

Critical organ – Критический орган

Орган или физиологическая система, осложнения в котором при указанных условиях облучения могут иметь клиническую значимость.

Cumulative (integral) dose volume histogram – Кумулятивная, или интегральная гистограмма доза–объём

Для построения кумулятивных гистограмм доза–объём (ГДО), компьютерная программа определяет объём мишени (или критического органа), который получает по крайней мере заданную дозу и строит график зависимости этого объёма (или процента от объёма) от дозы. Графики для всех кумулятивных ГДО начинаются со 100 % объёма при нулевой дозе, так как исходно весь объём не получает никакой дозы.

Deformable image registration – Деформируемая регистрация изображений

Дозиметрическое планирование и расчет дозных распределений, создаваемых различными методами лучевой терапии (ЛТ), осуществляются на основе набора медицинских изображений, полученных при подготовке пациента к облучению. Однако изменения анатомии пациента в течение сеанса и от сеанса к сеансу облучения от анатомической модели пациента, использованной при планировании облучения, могут привести к существенным изменениям в реализуемом дозном распределении. Выявить ука-

занные изменения анатомии можно с помощью мультимодальной визуализации, проводимой в реальном режиме времени при повторных сеансах облучения. Процесс деформируемой регистрации изображений (ДРИ) состоит в преобразовании изображений, полученных в реальном режиме времени, в исходный или опорный набор изображений, результатом которого является трёхмерная матрица векторов деформации, показывающих как каждый воксел перемещается между двумя изображениями. Одним из возможных применений ДРИ является оценка дозы, аккумулированной в процессе ЛТ. Для этой цели сетка координат точек расчета доз деформируется с помощью найденной трёхмерной матрицы векторов деформации и пересчитанные дозы со всех сеансов суммируются в сетке координат точек расчета доз исходного или опорного набора изображений.

DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine – DICOM) – Стандарт цифровых изображений и коммуникаций в медицине*

Компьютерный стандарт для управления информацией, включая изображения медицинской визуализации. Стандарт DICOM основан на отраслевых стандартах, таких как сетевой протокол TCP/IP. Стандарт DICOM был разработан для широкого спектра систем обработки изображений (www.dicom.net), но чаще всего используется в медицине.

* 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.

DICOM RT – Стандарт цифровых изображений и коммуникаций в лучевой терапии

Расширение стандарта DICOM для лучевой терапии с включением информации о плане лучевого лечения (структуры, параметры лечебного пучка, дозы и т.д.).

Digitally reconstructed radiograph (DRR) – Цифровая реконструированная рентгенограмма

Цифровая реконструированная рентгенограмма (ЦРР) аналогична рентгеновскому снимку пациента, но вычислена на основе томографической информации. ЦРР показывает какие анатомические структуры видит наблюдатель, смотрящий из источника в сторону изо-

центра, и часто применяется как опорное изображение для сравнения с портальными снимками при контроле правильности укладки.

Direct (differential) dose volume histogram – Прямая (или дифференциальная) гистограмма доза–объем

Для построения прямой ГДО компьютерная программа суммирует число элементарных объемов с определенным диапазоном дозы и строит график зависимости суммарного объема (или процента от полного объема органа) как функцию дозы. Идеальная ГДО для мишени облучения имела бы форму прямоугольника, показывающая, что 100 % объема получает назначенную дозу. ГДО для критического органа может иметь несколько пиков, указывающих на то, что различные части органа могут получить различную дозу.

Distance to agreement (DTA) – Расстояние до совпадения

Один из параметров, используемых при анализе соответствия двух дозовых распределений (измеренное и рассчитанное) друг другу, при котором рассматривается расстояние от выбранной точки измеренного распределения до точки, в которой данные расчета совпадают с данными измерений. Анализ расстояний до совпадения подходит для определения пространственного расхождения между областями с высоким градиентом дозы. Однако этот тест становится сверхчувствительным в областях с низкими градиентами дозы, где даже небольшая разница в дозе может привести к значительному смещению выбранной изодозовой кривой относительно опорной точки.

Dose constrains – Дозовые ограничения

Один из параметров, используемых в качестве целевой функции при планировании лучевой терапии с модуляцией интенсивности (ЛТМИ).

Dose volume histograms (DVHs) – Гистограмма доза–объем (ГДО)

ГДО позволяет суммировать информацию, содержащуюся в трехмерных дозных распределениях, и является мощным средством для количественной оценки плана облучения. Эта информация состоит из массива данных о дозовом распределении в трехмерной матрице точек, представляющих анатомию тела боль-

ного. В простейшем виде ГДО представляет частотное распределение дозовых значений либо внутри самого планируемого объема мишени (PTV), либо какого-то органа вблизи PTV. Основной недостаток ГДО – это отсутствие пространственной информации о дозовом распределении, на основе которого вычислены ГДО.

Electron density – Электронная плотность, относительная электронная плотность

Электронная плотность – это количество электронов на единицу объема облучаемой среды, а относительная электронная плотность – это значение электронной плотности конкретной среды, деленное на электронную плотность воды. Данная величина требуется для расчета дозы при лучевой терапии и обычно вычисляется по данным рентгеновской компьютерной томографии (КТ).

Electronic transfer – Передача данных в электронном виде

Передача данных в электронном виде через сеть от одного устройства к другому.

Fallback planning – Резервное дозиметрическое планирование

Опция, имеющаяся в продвинутых СДП, позволяющая конвертировать дозиметрический план, созданный для одного радиационно-терапевтического аппарата, в дозиметрический план, реализуемый на другом радиационно-терапевтическом аппарате с другим видом излучения. Эта опция особенно полезна для протонных центров, когда выход из строя протонного ускорителя на некоторый срок не приводит к прекращению лечения, а позволяет конвертировать протонный план в план для медицинского линейного ускорителя (ЛУЭ) и продолжить облучение пациентов в близлежащей клинике на время ремонта протонного ускорителя.

Field matching – Смежные поля

Смежные поля образуются двумя и более широкими пучками, латеральные границы которых сопрягаются на поверхности или на определенной глубине тела пациента для формирования поля облучения большего размера или необходимой конфигурации. Степень сопряжения смежных полей подбирается таким образом, чтобы дозный профиль через область стыковки был как можно более однородным.

Fluence map – Карта флюенса

Распределение флюенса фотонов в плоскости поперечного сечения конкретного пучка, рассчитываемое на промежуточном этапе обратного дозиметрического планирования ЛТМИ. Это распределение служит основой для определения режима движения пластин МПД и гантри радиационно-терапевтического аппарата.

Forward planning – Прямое планирование

Традиционный процесс дозиметрического планирования, в процессе которого решается задача получения удовлетворительного плана лучевой терапии путем подбора комбинации пучков излучения, их ориентации и весового вклада с каждого направления.

Gamma index – Гамма-индекс

Понятие гамма-индекса объединяет оценку дозного и пространственного отклонения в одной величине и используется для анализа соответствия дозовых распределений друг другу при дозиметрической верификации планов лучевого лечения пациентов.

Graphical user interface – Графический интерфейс пользователя

Система средств для взаимодействия пользователя с различными электронными устройствами (например, СДП), основанная на представлении всех доступных в СДП пользователю функций и системных объектов в виде графических компонентов экрана дисплея (окон, значков, меню, кнопок, списков и т.п.).

Gross tumor volume (GTV) – Определяемый объем мишени

Определяемый объем мишени связан с протяженностью и локализацией опухоли; эта протяженность может быть определена пальпацией, прямой визуализацией или косвенно с помощью анализа изображений. Обычно определяемый объем мишени соответствует той части опухоли, где концентрация опухолевых клеток наибольшая. Определение GTV основывается на основе информации, полученной с помощью устройств для визуализации изображений (КТ, магнитно-резонансных томографических медицинских изображений (МРТ), ультразвуковых изображений (УЗИ)), процедур диагностического обследования (патолого-морфологические и гистологические данные и т.д.) и осмотра врача.

Hounsfield units (HU) – Единицы Хаунсфилда*

Денситометрические показатели, совокупность которых образует шкалу линейного ослабления излучения по отношению к дистиллированной воде, рентгеновская плотность которой была принята за 0 единиц Хаунсфилда (при стандартных давлении и температуре). Используются для денситометрии анатомических структур при рентгеновской КТ. Одна единица Хаунсфилда соответствует 0,1 % разницы в ослаблении излучения между водой и воздухом, или приблизительно 0,1 % коэффициента ослабления воды, так как коэффициент ослабления воздуха практически равен нулю.

* 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.

Homogeneity index – Индекс гомогенности

Понятие индекса гомогенности используется в рекомендациях Международной комиссии по радиологическим единицам и измерениям (МКРЕ) для величины, показывающей однородность дозового покрытия всего объема мишени. В частности используются параметры D_2 , D_{98} и D_{50} – величины доз, покрывающих 2 %, 98 % и 50 % объема мишени соответственно.

Hospital information system (HIS) – Больничная информационная система

Больничная информационная система (БИС) относится к компоненту медицинской информатики, в котором основное внимание уделяется административным, финансовым и клиническим потребностям больниц. БИС предназначена для централизованного управления информацией, связанной с пациентами, посредством электронной обработки данных и прогнозирования состояния здоровья в больничной среде с целью предоставления более качественных медицинских услуг с высокой точностью. БИС работает в режиме он-лайн и охватывает соответствующую больничную сеть через локальную сеть, назначает он-лайн-записи к врачам и управляет платежными записями пациентов. Серверы баз данных используются для хранения различной информации, включая информацию о лекарствах, необходимых для лечения соответствующих заболеваний.

Internal target volume (ITV) – Внутренний объем мишени

Внутренний объем мишени состоит из клинического объема мишени CTV, к которому добавлен объем, соответствующий внутреннему отступу. Внутренние отступы включают в себя изменения в размере и положении CTV относительно некой опорной структуры тела больного (обычно ею служит система костных ориентиров), и которые обусловлены физиологическим движением внутренних органов: за счет дыхания, изменения наполнения мочевого пузыря, кишечника и т.д.

Inverse planning – Обратное планирование

Процесс дозиметрического планирования, при котором врач задает дозиметрические условия плана лучевой терапии, которые вводятся в СДП. Програмное обеспечение находит такую комбинацию пучков излучения, их ориентацию, форму и весовой вклад с каждого направления, которые приводят к созданию дозового распределения максимально удовлетворяющего заданным условиям (доза на опухоль и дозы на критические органы). Обратное планирование используется при дозиметрическом планировании ЛТМИ.

Image fusion – Совмещение изображений

Комбинированное использование изображений мультимодальной визуализации, полученных с помощью различных устройств (КТ, МРТ, позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ)) за счет слияния изображений или их совмещения. В частности, совместная регистрация КТ и МРТ изображений позволяет наиболее точно определить объем мишени из данных МРТ и найти электронные плотности тканей из данных КТ.

Image registration – Регистрация изображений

Дозиметрическое планирование в лучевой терапии осуществляется на основе медицинских изображений, полученных в результате мультимодальной визуализации. Регистрация медицинских изображений – это первоначальный процесс их обработки, состоящий в преобразовании различных наборов данных (например, КТ- и МРТ изображений) в формат, необходимый для дозиметрического планирования и сведения в единую систему координат.

IMRT patient specific quality assurance – Мероприятия программы гарантии качества для каждого пациента при ЛТМИ

На практике необходимо проверять все клинические планы ЛТМИ применительно к каждому пациенту до начала первого сеанса облучения. Большинство коммерческих СДП позволяют перенести распределения флюенса, оптимизированные для клинического использования, вместо пациента на соответствующий фантом, модель которого введена в СДП для расчета дозных распределений. Как правило, это прямоугольный водный или пластиковый фантом, снабженный необходимыми детекторами, который облучается запланированными пучками с модуляцией интенсивности, и результаты измерений сравниваются с расчетными данными. Проверка планов ЛТМИ весьма трудозатратна, так как занимает время использования ЛУЭ и требует надлежющего штатного и аппаратурного обеспечения. Однако по мере накопления опыта число таких проверок может быть сокращено.

Isodose curves – изодозные кривые

Изодозные кривые – это линии, соединяющие точки с одинаковым значением дозы, представляющие собой плоское отображение дозовых распределений.

Isodose surface – Изодозная поверхность

Графическое представление аналогично изодозной кривой, но в трехмерном пространстве.

Long term repository – Долгосрочное хранилище

Програмное обеспечение, которое хранит все данные о пациентах и их лечении, по крайней мере, в течение установленного законом времени, при этом документы в хранилище не могут быть изменены.

Magnetic resonance imaging – Магнитно-резонансная томография

Медицинская визуализация внутренних органов и тканей с использованием явления ядерного магнитного резонанса. Способ получения магнитно-резонансных томографических (МРТ) медицинских изображений основан на измерении электромагнитного отклика атомных ядер, находящихся в сильном постоянном магнитном поле, в ответ на возбуждение

их определенным сочетанием электромагнитных волн. Для МРТ такими ядрами являются ядра атомов водорода, присутствующие в человеческом теле в составе воды и других веществ. МРТ-изображения могут быть получены в разных плоскостях, пересекающих тело пациента что создает преимущество по сравнению с изображениями КТ с точки зрения объема диагностической информации.

Margin – Отступ

Отступ – это геометрическое понятие, используемое в дозиметрическом планировании лучевой терапии, и его величина по своей природе зависит от движения органов (внутренние отступы), методов укладки пациента и наведения пучка (отступы укладки). Внутренние отступы включают в себя изменения в размере и положении клинического объема мишени относительно некой опорной структуры тела больного (обычно ею служит система костных ориентиров), и которые обусловлены физиологическим движением внутренних органов: за счет дыхания, изменения наполнения мочевого пузыря, кишечника и т.д. Современные СДП включают программное обеспечение, позволяющее создавать автоматически различные отступы на основе заданных параметров.

Medical imaging – Медицинская визуализация*

Неинвазивные исследования организма человека и лабораторных животных при помощи различных физических методов с целью получения статических и (или) динамических изображений внутренних анатомических структур. Иногда используемые в научной литературе термины “имиджинг”, “биоимиджинг” в литературном русском языке отсутствуют.

* 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.

Monte Carlo methods in dose calculation for treatment planning – Метод Монте-Карло в расчете доз при планировании лучевой терапии

При расчете дозы методом Монте-Карло траектория движения каждой отдельной ионизирующей частицы (в лучевой терапии обычно фотоны, электроны или протоны) моделируется при пересечении интересующего объема. По пути частица может взаимодействовать с веще-

ством, через которое она проходит, например, посредством комптоновского рассеяния (для фотонов) или кулоновского рассеяния (для электронов или протонов). Используя генератор случайных чисел и распределения вероятностей для различных типов взаимодействия, программа измеряет расстояние до “следующего” взаимодействия для частицы в заданном положении и с определенным вектором скорости в некотором направлении. Затем частица распространяется со этой скоростью на определенное расстояние до следующего места взаимодействия и далее программа снова выбирает тип взаимодействия. Доза определяется как количество энергии, выделяемой на единицу массы ($\text{Дж/кг} = \text{Гр}$ в единицах СИ). Следовательно, для каждого имитируемого взаимодействия программа рассчитывает энергетический баланс: энергия “входящей” частицы (частиц) минус энергия “уходящей” частицы (частиц). Чтобы рассчитать дозу в конкретном объеме (вокселе), складывают вклады всех взаимодействий, происходящих внутри объема, и делят это на массу в объеме. Известные коммерческие программы расчета доз методом Монте-Карло включают таблицы данных с вероятностями взаимодействия для каждого типа взаимодействия и генератор случайных чисел. Отслеживание частиц начинается в положении (или диапазоне положений), где энергетическое и угловое распределения частиц должны быть известны с необходимой точностью. Поэтому в процессе ввода программы в эксплуатацию пользователь моделирует источник излучения, например, в случае облучения электронами на ЛУЭ – это энергетическое и угловое распределения электронов, попадающих на поверхность тела пациента.

Multi criteria optimization – Многокритериальная оптимизация

Процесс одновременной оптимизации двух или более конфликтующих целевых функций в заданной области определения. Применительно к лучевой терапии многокритериальная оптимизация (МКО) используется при дозиметрическом планировании, которое неизбежно предполагает компромиссы между поглощенной дозой в объеме опухоли и дозой, полученной здоровыми органами. Эти компромиссы обычно достигаются методом проб и ошибок, когда такие параметры, как веса целевых функций, корректируются в процессе оптимизации, и план лечения повторно оптимизируется несколько раз. Ручная настройка этих

параметров неэффективна и трудозатратна, а качество результата зависит от опыта и мастерства медицинского физика, планирующего лучевое лечение. МКО, реализуемая в продвинутых СДП, обеспечивает более упорядоченный и интуитивно понятный рабочий процесс, когда клинический план выбирается путем непрерывной навигации по множеству возможных планов, которые нельзя улучшить для какой-либо одной цели без ухудшения другой цели. Современные СДП используют МКО, основанную на расчете набора оптимальных планов по Парето. Множество всех оптимальных по Парето планов (см. ниже) составляет поверхность Парето, что является объектом расчета и последующего анализа.

Multimodal visualization – Мультимодальная визуализация*

Современная технология медицинской визуализации, основанная на компьютерном совмещении в одной и той же системе координат изображений одного и того же участка тела пациента, которые получены физически различными методами визуализации на гибридных установках, например ОФЭКТ/КТ-, ПЭТ/КТ-, ПЭТ/МРТ-сканерах. Указанное совмещение изображений позволяет получать комплексную диагностическую информацию в рамках одного и того же исследования, а также обеспечивать анатомическую привязку функциональных изображений с одновременной коррекцией на ослабление излучения.

* 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.

Normal tissue complications probability (NTCP), tumour control probability (TCP) – Вероятность осложнений в здоровых тканях, вероятность излечения от опухоли*

Радиобиологические модели на основе TCP и NTCP позволяют использовать накопленный клинический опыт при внедрении новых режимов облучения, а ретроспективный анализ результатов лечения пациентов в группах, получавших лучевую терапию в различных вариантах, может служить критерием адекватности планирования курса ЛТ. В частности, понятие TCP используется при сравнении различных курсов лучевого лечения как вероятность того, что при подведении предписанной дозы

будет достигнута резорбция опухоли.

* В работе [1] указано, что "в английском языке два понятия контроля и управления с различным содержанием объединены единым термином в общее понятие control, и эта многозначность приводит к путанице при его переводе на русский язык. В русском языке понятие контроль означает только процедуру оценки того или иного параметра, но без вмешательства в эту процедуру с целью внесения необходимых изменений в контролируемые параметры. Подобным изменениям соответствуют русскоязычные термины "управление", "регулирование", но не "контроль". Поэтому tumour control probability правильно называть вероятностью излечения от опухоли.

Oncology information system (OIS) – Онкологическая информационная система

Центральная база данных для всей информации о состоянии здоровья пациента, подвергающегося лучевой терапии. Онкологическая информационная система (ОИС) содержит историю болезни пациента и ссылки на все клинические данные, относящиеся к лечению; предоставляет любой отчет, необходимый для выставления счетов и учета затрат. ОИС документирует процесс лучевой терапии, хранит данные о скрининге, диагностике, гистологических данных, стадировании опухоли, хирургическом вмешательстве перед лечением, лекарственном лечении, паллиативной помощи и т. д.

Optimization – Оптимизация

Процесс работы алгоритма обратного дозиметрического планирования ЛТ, в результате которого получается план, соответствующий определенным критериям, а именно выполняются требования к подведению конкретной дозы к объемам заданных мишеней с одновременным непревышением дозовых ограничений в критических органах и здоровых тканях.

Organ at risk (OAR) – Орган риска

Орган риска – это орган с такой чувствительностью к излучению, что доза, которая может быть им получена при реализации данного плана лечения, может значительно превышать его толерантность, и поэтому потребуется изменение сочетания пучков или даже изменение предписанной дозы, чтобы не превысить эту толерантность.

Patient coordinate system – Координатная система положения пациента

Координатная система для описания положения пациента используется в процессе подготовки операций по подготовке и проведению

лучевой терапии. В современных СДП координатная система положения пациента следует конвенциям, регламентированным Международной электротехнической комиссией (МЭК), и которые связаны с ориентацией пациента на терапевтическом столе: голова вперед или ноги вперед, положение лежа на спине или на животе. При положении рассматриваемой точки внутри тела пациента, положительное направление оси x соответствует направлению к левой руке пациента, положительное направление оси y соответствует направлению к голове пациента, и положительное направление оси z соответствует направлению к груди пациента.

Pareto optimal plans – Оптимальные планы лучевого лечения по правилу Парето

Закон Парето – эмпирическое правило, названное в честь экономиста и социолога Вильфредо Парето, в наиболее общем виде формулируется как "20 % усилий дают 80 % результата, а остальные 80 % усилий – лишь 20 % результата". Это правило может использоваться как базовая установка в анализе факторов эффективности какой-либо деятельности и оптимизации её результатов: правильно выбрав минимум самых важных действий, можно быстро получить значительную часть от планируемого полного результата, при этом дальнейшие улучшения неэффективны и могут быть неоправданны. Множество всех оптимальных по Парето планов составляет поверхность Парето, что является объектом, который рассчитывается и представляется удобным способом. Исследование поверхности Парето как средства дозиметрического планирования лучевой терапии путем многокритериальной оптимизации, позволяет выбирать лучшие планы и делать процесс намного быстрее, чем существующие методы оптимизации дозиметрического планирования лечения.

Picture Archiving and Communication System (PACS) – Система архивирования и передачи (медицинских) изображений

Система архивирования и передачи (медицинских) изображений (САПИ) обеспечивают хранение и возможность долгосрочного управления информацией о пациентах, в том числе базой данных медицинских изображений, полученных для планирования ЛТ, для проверки правильности укладки пациента и

оценки её воспроизводимости при повторных облучениях и пр. САПИ также предоставляет функции и инструменты для расширенной обработки изображений.

Parametrization – Параметризация

Набор параметров (или численных значений), необходимых для реализации модели, чтобы добиться хорошего описания моделируемого процесса.

PET/CT scanner – ПЭТ/СТ сканнер

Объединение технологий ПЭТ и КТ в одном сканнере, обеспечивающее одновременную регистрацию анатомической и биологической (функциональной) информации за одно исследование при точном совмещении изображений ПЭТ и КТ. Это позволяет более достоверно обнаружить и локализовать опухоли для различных типов новообразований.

Pixel – Пиксел

Пиксел – это элемент двумерного изображения.

Plan transfer – Пересылка плана лучевого лечения

Пересылка через сеть информации, содержащейся в плане лучевого лечения, из СДП на другие устройства.

Planning organ at risk volume (PRV) – Планируемый объем органа риска

По аналогии с планируемым объемом мишени (PTV) – планируемый объем органа риска (PRV) включает в себя внутренние отступы и дополнительные отступы, учитывающие неточности укладки, изменение характеристик аппарата, изменения положения больного в процессе сеанса облучения.

Planning target volume (PTV) – Планируемый объем мишени

Планируемый объем мишени – геометрическое понятие, введенное для того, чтобы, приняв во внимание все возможные геометрические изменения положения клинического объема мишени, определить такое сочетание пучков излучения, которое бы гарантировало подведение предписанной дозы к клиническому объему мишени. Планируемый объем мишени включает в себя внутренние отступы и дополнительные отступы, учитывающие неточ-

ности укладки, изменение характеристик аппарата, изменения положения больного в процессе сеанса облучения. Планируемый объем мишени не включает отступы, относящиеся к неопределенностям дозиметрических характеристик пучка, так как эти неопределенности учитываются при проведении дозиметрического планирования.

Positron emission tomography – PET – Позитронная эмиссионная томография (ПЭТ)

Диагностическая процедура получения медицинских изображений с помощью ПЭТ сканнера, при которой визуализируется пространственно-временное распределение позитронно-излучающего радиофармпрепарата в теле пациента путем регистрации аннигиляционного излучения.*

* Как отмечено в (1), данный термин является классическим примером дезориентирующего термина, получившего, к сожалению, всеобщую распространенность. Авторы указывают на то, что на самом деле томография при ПЭТ производится путем одновременной регистрации двух аннигиляционных фотонов, возникающих вследствие акта аннигиляции позитрона и электрона в тех биологических тканях, которые накапливают позитронно-излучающий радиофармпрепарат. При этом сами позитроны не регистрируются, не выходя из тела пациента, из-за чего томография в принципе не может быть позитронной.

Prescription – Предписание*

Многозначный термин, понимаемый как: 1) совокупность параметров итогового плана лечения – целей планирования лучевой терапии (то есть задаваемых врачом); 2) совокупность параметров итогового плана, принятого к лечению (то есть утвержденные врачом реальные метрики плана). В узком смысле – предписанная доза, хотя к предписанию относятся контуры анатомических структур и ограничения на них. В Публикации 83 МКРЕ рекомендуется трактовать этот термин широко и во втором смысле.

* 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): 91-114.

Prescribed dose – Предписанная доза*

Многозначный термин, понимаемый как 1) номинальная доза, которую должна получить мишень (то есть цель для планирования); 2) доза, соответствующая определенной метрике плана (к примеру, средняя доза в мишени или доза в 95 % объема мишени), по которой

план должен быть отнормирован. В реальности эти величины часто не совпадают, а выбор метрики варьируется от протокола к протоколу облучения и в разных клиниках, что представляет существенную проблему стандартизации лучевой терапии. В Публикации 83 МКРЕ рекомендуется в качестве предписанной дозы использовать медианную дозу объема мишени для планирования облучения.

* 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): 91-114.

Radiology information system (RIS) – Радиологическая информационная система

Радиологическая информационная система (РИС) – это программное обеспечение для радиологических приложений, предназначенное для хранения и управления данными медицинских изображений. Как и больничная информационная система, она автоматизирует управление данными, но адаптирована специально для рентгенологических отделений. RIS оптимизирует процесс визуализации, объединяя различные функции, связанные с управлением информацией о пациенте, в одну всеобъемлющую систему. РИС – это термин, который часто используется с другими терминами, такими как САПИ (система архивирования и передачи изображений), для описания типа медицинской ИТ-системы, используемой в радиологических отделениях. В то время как РИС улучшает рабочий процесс и оптимизирует процессы, такие системы, как САПИ, обеспечивают хранение и возможность долгосрочного управления информацией о пациентах. САПИ также предоставляет функции и инструменты для расширенной обработки изображений. Таким образом, РИС и САПИ действуют как две взаимодополняющие системы и интегрированы в большинство радиологических клиник.

Radiotherapy treatment planning system – Компьютерная система планирования облучения

Компьютерная система дозиметрического планирования облучения (СДП) включает в себя периферийное оборудование и сложное программное обеспечение с большим количеством модулей, предназначенных для математической реконструкции анатомии облучаемой области пациента на основе мультимодаль-

ной визуализации, моделирования и оптимизации дозного распределения, оценки распределения дозы в тканях человека для излучения гамма-терапевтических установок, медицинских ускорителей электронов, ускорителей протонов и лёгких ионов или радиоактивных источников при планировании контактной лучевой терапии, получения документации и набора входных параметров для передачи на радиационно-терапевтический аппарат и другие устройства.

Radiopharmaceutical – Радиофармпрепарат

Радиофармпрепарат можно рассматривать как структуру, состоящую из радионуклида и транспортной молекулы с высокой связывающей способностью к ткани или определенной функции человеческого органа, предназначенную и разрешенную для введения в организм человека с диагностической или (и) лечебной целью.* Радиофармпрепарат может также состоять из одного лишь радиоизотопа, если он имеет соответствующие биологические свойства.

* Как отмечено в (1) логичной аббревиатурой для этого термина, хорошо понятной всем специалистам и долго служившей всем “верой и правдой”, была РФП. Однако по научно не обоснованному требованию контролирующих органов в нее добавлена буква “Л”, что теперь должно означать “Лекарственный радиофармацевтический препарат”, и современная аббревиатура данного термина теперь РФЛП.

Reconstructed image – Реконструированное изображение

Медицинское изображение, полученное в результате обработки данных КТ, МРТ и т.п., которое не соответствует плоскости сечений исходных данных.

Region of interest – ROI – Область интереса

Область интереса (ОИ) представляет собой выборку в наборе данных, идентифицированную для определенной цели. Эта концепция используется во многих областях применения. Например, в медицинской визуализации границы опухоли, как области интереса, могут быть определены путем оконтуривания с помощью компьютерных графических инструментов на изображении или последовательности изображений тела пациента с целью измерения ее размера.

Relative surface dose – Относительная поверхностная доза

Отношение поглощенной дозы на оси пучка излучения на глубине 0,5 мм к максимальной поглощенной дозе на оси пучка излучения, измеренные в фантоме, поверхность которого находится на определенном расстоянии от источника.

Robust optimization – Оптимизация с целью поиска устойчивого плана лечения

Устойчивость плана лечения означает его малочувствительность к неопределенностям при его реализации. Оптимизация с целью поиска устойчивого плана лечения – это метод создания такого плана лучевого лечения, который, с одной стороны, реализует оптимальное дозное распределение дозы, а с другой стороны, – малочувствителен к неопределенностям, возникающих при его планировании и реализации. Современные СДП позволяют, например, задавать смещение изоцентра по трем направлениям, соответствующее неопределенностям укладки пациента, и находить такой план лечения, при котором эффект смещения изоцентра (неопределенности укладки и ее воспроизводимости при повторных сеансах) оказывают минимальное влияние на достижение предписанной дозы в мишени облучения и обеспечении минимальной дозы в критических органах и тканях.

Scripting – Управление программным обеспечением

Возможность управления, настройки и автоматизации программного обеспечения существующей электронной системы путем использования языка сценариев (также известный как скрипт), представляющего собой серию команд, которые могут быть выполнены без необходимости компиляции. Применительно к дозиметрическому планированию лучевой терапии – это опция продвинутых СДП, позволяющая автоматизировать выполнение отдельных процедур дозиметрического планирования, например, подбор и модификация оптимизационных параметров при планировании ЛТМИ. Для этой цели используются специализированные языки программирования, такие как Python, JavaScript и др.

Segmentation – Сегментация

Сегментация – это процесс оконтуривания конкретной анатомической структуры на одном срезе или на последовательности срезов тела пациента, полученных методами медицинской визуализации. Термин “сегментация” используют также для описания процесса расчета траекторий движения пластин при сегментированном режиме работы МПД, соответствующих требуемой карте распределения флюенса пучка излучения.

Simulation – Моделирование процесса облучения

Симуляция – это моделирование процесса облучения в рентгеновском диапазоне с имитацией геометрии облучения на радиационно-терапевтической установке перед началом курса облучения. Цель этого моделирования – контроль адекватности полученного дозиметрического плана и правильности проведенной разметки на теле пациента.

Structure – Структура

Структура – это трехмерный анатомический объект (реальный орган или объем опухолевой мишени или критического органа), информация о границах которого получена методами медицинской визуализации. Структура также может соответствовать геометрическим абстракциям (PTV, PRV), границы которых образованы оконтуриванием и добавлением к контурам соответствующих отступов.

Surface dose – Поверхностная доза

Поглощенная доза с учетом эффекта обратного рассеяния на входной поверхности облучаемого объекта, обычно в точке, находящейся на оси пучка излучения.

Tissue equivalent material – Тканезквивалентное вещество

Вещество, которое поглощает и рассеивает данное ионизирующее излучение в той же степени, что и биологическая ткань.

Tolerance – Допустимое отклонение

Применительно к дозиметрическому планированию ЛТ, это понятие соответствует максимально допустимой величине расхождения между рассчитанными и доставленными дозами распределениями, при непревышении которой план лечения может считать приемле-

мым для реализации. Выражается как процентное отклонение или как пространственное отклонение в зависимости от выбора анализируемой области (область высокого или малого градиента дозы).

Treatment machine coordinate system – Координатная система радиотерапевтического аппарата

Координатная система для описания движений радиационно-терапевтического аппарата следует конвенциям, регламентированных МЭК, и используется в современных СДП для согласования с координатной системой пациента и последующего экспорта плана лечения в стандарте DICOM RT на различные электронные устройства.

Treatment planning – Дозиметрическое планирование лучевой терапии

Математическая реконструкция облучаемой анатомии и расчет модели облучения пациента, используемой для формирования терапевтического радиационного поля, обеспечивающего подведение поглощенной дозы излучения к мишени при минимизации радиационного воздействия на окружающие мишень нормальные ткани. Включает также получение набора выходных параметров для реализации плана на радиационно-терапевтическом аппарате.

Treatment plan – План лечения

Вся информация о пациенте и дозиметрии, предназначенная для применения подготовленным персоналом для проведения лучевой терапии. План лечения включает в себя информацию в электронном виде, передаваемую другому устройству, для которого она предназначена. Запись плана лечения проводится в электронном формате или в виде напечатанного плана или карты.

Volumetric prescribing – Объёмное предписание дозы

Предписание дозы в мишени, например РTV, не в одной точке, а по объёмным метрикам: средняя доза в мишени, доза полного покрытия мишени и др..

Voxel – Воксел

Воксел – элемент трёхмерного изображения – образовано из двух слов volume и pixel.

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, Rusetsky 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 TREATMENT PLANNING OF EXTERNAL RADIATION THERAPY

S.M. Vatrinsky

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 treatment planning of external 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, external radiation therapy, treatment planning, terminology*

E-mail: s.vatrinsky@chello.at