

ГЛОССАРИЙ ПО ВОПРОСАМ МЕДИЦИНСКОЙ РАДИАЦИОННОЙ ФИЗИКИ. ТЕРМИНОЛОГИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМАЯ В ОБЛАСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО 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 применительно к технологическому 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, виды лучевой терапии, радиотерапевтические аппараты, терминология*

DOI: 10.52775/1810-200X-2022-95-3-86-105

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.

В предыдущей статье (С.М.Ватницкий "Глоссарий по вопросам медицинской радиационной физики. Терминология, используемая в области лучевой терапии пучками протонов и легких ионов", Медицинская физика. 2022; (3): 71-85) 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 лечебные 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 пучками протонов и лёгких ионов.

Такой подход отличается от традиционно-го построения глоссариев, когда термины и понятия представлены в алфавитном порядке независимо от разделов терминируемой области деятельности. Однако нам представляется более удобным, чтобы при обращении к Глоссарию пользователь, интересующийся, например, термином в 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 базиру-

ется на многолетнем опыте работы автора в области медицинской радиационной физики лучевой терапии. В настоящей работе представлен Глоссарий терминов применительно к технологическому обеспечению лучевой терапии, относящийся к первому этапу потока операций, выполняемых в рамках технологического процесса подготовки и проведения лучевой терапии, который содержит наиболее часто используемые термины а также разъяснения для каждого из них.

С целью облегчения работы читателей журнала с англоязычными литературными источниками в данном разделе Глоссария, как и во всех последующих, термины размещены в соответствии с латинским (английским) алфавитом.

Терминология, используемая в области технологического обеспечения лучевой терапии

Active breathing control – Система управления дыханием пациента

Электромеханическое устройство для контроля объёма воздуха, вдыхаемого пациентом, и продолжительности задержки выдоха, позволяющее минимизировать влияние респираторных движений на точность подведения предписанной дозы излучения к мишени облучения. Система управления дыханием пациента используется при получении медицинских изображений для дозиметрического планирования и при проведении лучевой терапии опухолей органов грудной клетки и верхней части брюшной полости.

Adaptive radiotherapy – Адаптивная лучевая терапия

При адаптивной лучевой терапии (АЛТ) запланированная доза может быть изменена в последующих сеансах облучения для компенсации неточностей в подведенной дозе, которые в свою очередь не могут быть скорректированы только за счет изменения положения больного, как это осуществляется при лучевой терапии под управлением изображений. Такая компенсация основывается на результатах мультимодальной медицинской визуализации и реализуется как для межфракционной, так и для внутрифракционной коррекции дозиметрического плана лучевого лечения.

Afterloading – Последовательное введение

Технология загрузки радионуклидного (капсулированного) источника излучения после введения аппликатора при контактной лучевой терапии (КЛТ), при реализации которой в полость тела пациента сначала вводят аппликатор, после чего в него вводят закрытый радионуклидный источник. Авторы [1] не рекомендуют транслитерированный перевод “афтерлодинг”, поскольку звук “р” при воспроизведении английского слова afterloading не произносится.

Amorphous silicon portal imaging detectors – Полупроводниковые элементы из аморфного кремния для портальной визуализации

Полупроводниковые элементы из аморфного кремния – фотодиоды и каналные триоды, набираются в большую прямоугольную двумерную матрицу, используемую в устройствах портальной визуализации. В качестве конвертора-преобразователя используется комбинация металлической пластины с флюоресцентным экраном аналогично той, что применяется в рентгенодиагностических аппаратах. Видимое излучение образует в фотодиодах пары дырка-электрон, количество которых пропорционально интенсивности, необходимой для создания изображения. Полученное изображение имеет контраст и разрешение, которые превосходят по качеству изображения, полученные с помощью других систем портальной визуализации.

Applicator – Аппликатор

Полый зонд, вводимый в тело пациента, или муляж, накладываемый на поверхность тела пациента при КЛТ, в который помещается закрытый радионуклидный источник.

Asymmetric independent jaws – Независимо перемещаемые пластины диафрагмы

Для создания полей облучения, ассиметричных относительно центральной оси пучка, современные медицинские линейные ускорители электронов (ЛУЭ) оснащены диафрагмой, в которой каждая из пластин может перемещаться независимо друг от друга. Эта опция расширяет возможности в блокировке части поля облучения без изменения положения центра, однако её использование в клинической практике требует большого объема исход-

ных данных и специальной опции в компьютеризированной системе дозиметрического планирования (СДП) облучения, необходимых для расчетов радиационного выхода в ассиметричном поле.

Beam quality – Качество пучка

Термин “качество пучка” используется как характеристика проникающей способности пучка излучения радиационно-терапевтических аппаратов в водном фантоме. Однако не представляется возможным использовать только какую-то одну характеристику качества пучка для всего диапазона энергий излучения, применяемого в лучевой терапии от низковольтной рентгенотерапии до мегавольтовой терапии фотонами высоких энергий и терапии пучками протонов и легких ионов. Поэтому для каждого вида излучения используется специфическая характеристика качества пучка. Например, слой половинного ослабления (СПО) очень удобен как характеристика качества пучка в области энергий, используемой в диагностике и в ортовольтовой рентгенотерапии, так как в этой области коэффициенты ослабления в значительной степени зависят от энергии излучения. И то же время СПО не используется в мегавольтовом диапазоне энергий фотонов, так как в этом диапазоне коэффициенты ослабления слабо зависят от энергии излучения.

Beam flatness and symmetry – Равномерность и симметрия радиационных полей

Требование однородности распределения дозы в пределах мишени облучения обусловило принятие соответствующих документов Международной электротехнической комиссией (МЭК), регламентирующих характеристики радиационно-терапевтических аппаратов. Одну из таких характеристик, как однородность радиационных полей фотонных, электронных и протонных пучков выражают в терминах равномерности и симметрии, полученных в результате анализа измеренных профилей пучка в поперечном сечении на опорных глубинах в воде. Равномерность радиационных полей определяют как максимальное значение отношения, в %, наибольшей и наименьшей поглощенных доз, усредненных на площади не более 1 см^2 , в двух любых точках, симметрично расположенных относительно оси пучка излучения в пределах области равномерности. Симметрия радиационных полей определяется как

максимальное отношение поглощенных доз в точках, симметричных относительно оси пучка излучения в пределах области равномерности на стандартной глубине измерения. Определенные области равномерности и опорных глубин зависят от вида излучения и размеров поля облучения.

Betatron – Бетаатрон

Циклический ускоритель, в котором электроны ускоряются в тороидальной вакуумной камере, помещенной между полюсами магнита. В настоящее время бетаатроны практически не используются в лучевой терапии.

Bite block – Прикусной блок

Средство фиксации положения головы пациента при подготовке и проведении стереотаксической радиохирургии.

Bolus – Болюс

Болюс – это тканеэквивалентный материал, помещенный на поверхность тела пациента, целью которого является увеличение поверхностной дозы в мегавольтном фотонном пучке. Часто это достигается использованием болюса, толщина которого достаточна для создания условий электронного равновесия на поверхности тела пациента. Болюс позволяет также компенсировать кривизну контура тела пациента и создать условия падения пучка на плоскую поверхность.

Brachytherapy* – Брахитерапия или контактная лучевая терапия

Брахитерапия тоже, что и контактная лучевая терапия (термин более правильный, но менее распространенный). Вид лучевой терапии, когда один или несколько закрытых радионуклидных источников размещают в непосредственном контакте с мишенью облучения (или вводят непосредственно внутрь мишени облучения). По способу введения аппликатора (или источника) подразделяется на внутритканевую, внутриполостную, внутрипросветную, аппликационную и внутрисосудистую, но может применяться и интраоперационно. По способу применения на ручную (manual afterloading) и автоматизированную (remote afterloading). Наиболее употребительна брахитерапия с высокой мощностью дозы (HDR brachytherapy). Термин “высокодозная брахитерапия” ошибочен по существу и его приме-

нять нельзя, правильный перевод – “брахитерапия с высокой мощностью дозы”. Также некорректно сочетание “высокомощностная брахитерапия”.

* 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.

Capacitive collision detection system – Компьютерная система предотвращения столкновений

Компьютерная система предотвращения столкновений – это бесконтактная система обеспечения безопасности, которая останавливает перемещения подвижных частей радиационно-терапевтического аппарата, если какие-то его элементы, например, киловольтный источник излучения для получения изображений, находится в непосредственной близости по отношению к пациенту или к другим устройствам. Такая система использует трехмерную компьютерную модель механических перемещений всех устройств в кабинете лучевой терапии и обеспечивает предотвращение их столкновений.

Compensator – Компенсирующий фильтр

Компенсирующий фильтр или компенсатор позволяет влиять на дозное распределение как и болюс, но при этом сохранять эффект щажения кожи за счет установки фильтра над пациентом. Компенсатор устанавливается на съемной подвесной платформе, крепящейся к радиационной головке радиотерапевтического аппарата. В настоящее время компенсирующий фильтр используется в лучевой терапии преимущественно как средство модуляции интенсивности.

Cone beam CT – КТ на основе серии двумерных изображений, полученных с помощью конического пучка

В основе этого метода лежит использование вращения источника конусного пучка рентгеновских лучей и детектора вокруг пациента, лежащего на терапевтическом столе. Коническая форма пучка отличает эту технику от спиральной компьютерной томографии (КТ), в которой используется веерообразный пучок. Серии двумерных проекций, полученные детектором во время поворота гантри, затем преобразуются компьютером в объемные (трехмерные) данные (первичная реконструкция).

Подобно алгоритму восстановления изображения в обычной КТ, алгоритм восстановления изображения по обратной проекции в КТ на основе серии двухмерных изображений, полученных с помощью конического пучка (КТКП), позволяет получить трехмерные изображения мишени облучения, критических органов и костных ориентиров в теле пациента или маркеров на коже. Эти трехмерные изображения сравниваются с результатами дозиметрического планирования и соответствующими оптимизированными дозными распределениями, в результате чего размещение больного корректируется, чтобы учесть движение опухоли и погрешности укладки. В состав системы КТКП, интегрированной с изоцентрическим ЛУЭ, входят следующие компоненты: диагностическая рентгеновская трубка, смонтированная на выдвижном шарнире под углом в 90° по отношению к направлению лечебного пучка и плоский панельный детектор, смонтированный на выдвижном шарнире напротив рентгеновской трубки. В дополнение к томографическим изображениям с помощью системы КТКП можно получить радиографические снимки и рентгеноскопические изображения.

Conformal radiation therapy – Конформная лучевая терапия

Конформная лучевая терапия (КФЛТ) основана на использовании технологий облучения, реализующих дозное распределение, максимально приближенное по форме к объему мишени, при минимизации дозы на нормальные ткани в прилегающей области. Поскольку с помощью КФЛТ пытаются привести дозу в соответствие с указанной целью, тщательное и точное оконтуривание мишени имеет решающее значение. Для определения степени конформности используются различные подходы и соответствующие метрики.

Coplanar exposure – Компланарное облучение

Метод многопольного терапевтического облучения, когда оси пучков излучения находятся в одной и той же плоскости. В математике существует термин “компланарный”, означающий фактически то же самое. Например, векторы называются компланарными, если их можно наложить в одной плоскости. Авторы [1] считают, что “копланарный” – избыточный термин, возникший в результате перевода кальки с английского.

CT simulator – КТ-симулятор

КТ-симулятор позволяет осуществлять т.н. виртуальную симуляцию, когда исходное моделирование процесса укладки может протекать и без необходимости присутствия пациента. Вместо этого, моделирование на трехмерном изображении тела пациента выполняется на компьютерной консоли, предлагающей расширенные возможности визуализации. КТ-симулятор состоит из диагностического КТ-сканера (как правило с большим диаметром входного окна), лазерной системы маркировки полей облучения и реперных меток, а также программного обеспечения для виртуального моделирования. КТ-симулятор позволяет создавать компьютерные трехмерные изображения тела пациента, на которых размечают контуры мишени терапевтического облучения, критических органов, выбирают положение изоцентра с последующей разметкой осей полей облучения на пациенте. Процесс симуляции на консоли в интерактивном режиме выполняют до тех пор, пока план не будет признан удовлетворительным на основе геометрических, анатомических и/или дозиметрических критериев.

Customized blocks – Индивидуальные формирующие блоки

Простейшим устройством формирования поля облучения сложной конфигурации является набор защитных блоков стандартной формы. Некоторые ограничения этого метода можно преодолеть, изготавливая блоки индивидуально для каждого пациента. Индивидуальный формирующий блок устанавливают и закрепляют на съёмной подвесной платформе, крепящейся к радиационной головке аппарата. В этом случае его можно очень точно поместить в поле облучения и использовать при любой ориентации гантри. Индивидуальные блоки отлиты из низкоплавкого сплава свинца и других металлов. Одним из таких сплавов является Cerrobend, или металл Вуда, который можно отливать в формы из пенополистирола, изготовленные резкой горячей проволокой. Известны несколько простых коммерческих устройств изготовления таких форм, которые позволяют воспроизвести конфигурацию мишени облучения по контуру, нарисованному на рентгенограмме симулятора, таким образом, чтобы результирующий блок правильно масштабировался в соответствии с положением подвесной платформы. Альтернативные высокотехноло-

гичные решения для изготовления блоков включают фрезерование форм из пенопласта на машинах с компьютерным управлением, связанных с системами дозиметрического планирования облучения (СДП). Блоки, отлитые в такие формы, создают геометрическую полутьнь несколько меньшую, чем стандартная диафрагма радиационно-терапевтического аппарата, так как блок находится ближе к пациенту, чем диафрагма. Во многих отношениях индивидуальный формирующий блок является золотым стандартом, но этот метод не идеален по ряду причин: блоки по-прежнему тяжелые, и их нужно перемещать вручную, блоки отлиты из сплавов, требующих особого обращения, так как содержат токсичные материалы.

Cyber knife – Кибер-нож

Это роботизированный миниатюрный ускоритель, установленный на манипуляторе промышленного робота и предназначенный для стереотаксической радиохирургии мегавольтным фотонным пучком под контролем изображений без использования жесткой и инвазивной фиксации с помощью стереотаксической рамки. Безрамочная система для стереотаксической радиохирургии обладает тем же высоким уровнем точности позиционирования мишени и наведения пучка, что и радиохирургия с использованием рамок. Кибер-нож позволяет обеспечить прицельное подведение дозы к внутричерепным мишеням, а также остроприцельное подведение очень высоких доз узкими пучками к другим областям тела больного. В состав установки также входит стереотаксическая рентгеновская система, состоящая из двух ортогонально расположенных рентгеновских трубок, зафиксированных на потолке кабинета лучевой терапии, и соответственно двух плоских панельных детекторов, установленных на полу кабинета, которые служат для получения изображений, а также роботизированный терапевтический стол, обеспечивающий коррекцию положения пациента с пятью степенями свободы.

Cyclotron – Циклотрон

Циклический ускоритель, в котором заряженные частицы двигаются по спиральной траектории внутри камеры, состоящей из двух полуцилиндрических электродов (дуантов), а для их ускорения используется высокочастотное электрическое поле фиксированной частоты. Камера помещается в зазор между двумя

полюсами магнита с магнитной индукцией порядка 1 Тл. Циклотроны широко используются в качестве ускорителя в протонной терапии.

Deep inspiration breath-hold – Задержка дыхания на глубоком вдохе

Техника облучения опухолей грудной клетки и верхней брюшной полости, при которой пациент задерживает дыхание на глубоком вдохе, и в это время проводится облучение, что позволяет физически отделить сердечные структуры от мишени облучения и тем самым снизить дозу излучения на сердце.

Diaphragm – Диафрагма

Устройство формирования пучка излучения с фиксированным или регулируемым практически в одной плоскости отверстием.

Dry run – Пробный прогон

Пробный прогон (или тренировочный прогон) — это процесс тестирования потока операций, в котором намеренно смягчаются последствия возможного сбоя. Применительно к ЛТ пробный прогон выполняют в процессе укладки пациента и проведения облучения чтобы выявить и снизить риск столкновения подвижных частей аппарата. Физическая пробная прогонка системы лечения весьма трудозатратна, поэтому в последнее время продвинутые СДП оснащаются специализированным компьютерным обеспечением для визуализации последовательности проведения лечения и реализации т.н. виртуального пробного прогона, когда возможность столкновения оценивается модельным способом вне кабинета лучевой терапии.

Electron beam scattering foil systems – Рассеивающие фольги для электронных пучков

Для увеличения размера поперечного сечения электронного пучка в медицинских ЛУЭ используют рассеивающие фольги. В простейшем случае в пучок устанавливается одна тонкая фольга из металла с высоким атомным номером. При этом полученное распределение электронов по полю облучения, как правило, соответствует расширенному распределению Гаусса. Затем выравнивание распределения профиля пучка по отношению к краям поля происходит за счет увеличения флюенса элек-

тронов, рассеянных стенками электронного аппликатора (тубуса). Тонкие фольги металлов с высоким атомным номером устанавливают на ту же карусельную систему, на которой располагается выравнивающий фильтр пучка тормозного излучения. Более равномерное распределение можно создать с помощью системы двух фольг, так что каждая фольга расположена на расстоянии нескольких сантиметров друг от друга. Первая фольга – это фольга равномерной толщины из материала с высоким атомным номером, как в конструкции с одиночной фольгой. За ней следует вторая фольга, представляющая собой конусообразную стопку из фольг с более низким атомным номером. Если используется несколько энергий электронов, каждая энергия электронного излучения требует своей собственной фольги или системы фольг. Формирование электронного пучка с помощью рассеивающих фольг имеет то преимущество, что этот метод проще и безопаснее в использовании по сравнению со сканирующими пучками. Тем не менее, фольги приводят к большим потерям энергии для пучка данного спектра и большому загрязнению электронного пучка тормозным излучением.

Electron applicator – Электронный тубус

В режиме облучения электронным пучком фотонная диафрагма ЛУЭ полностью открыта для установки соответствующего электронного тубуса. Типичные размеры квадратных полей, формируемых электронными тубусами: 10×10; 15×15; 20×20; 25×25 см, а также круглые поля диаметром 5 см.

Electron cut-out – Вставка для формирования фигурных электронных полей

Для формирования фигурных электронных полей используют блоки из свинца или другого низкотемпературного сплава. Эти блоки устанавливают на выходе электронного тубуса и тем самым позволяют сформировать фигурное поле.

Electronic Portal Imaging Device (EPID) – Электронная система портальной визуализации

Электронная система портальной визуализации (ЭСПВ) основана на регистрации излучения прошедшего через тело пациента и предназначена для контроля воспроизводи-

сти условий облучения и верификации планов ЛТ. ЭСПВ устанавливается на оси терапевтического пучка под пациентом и полученные портальные изображения могут анализироваться непосредственно в пультовой или передаваться по сети в СДП для последующего анализа. Такие портальные изображения получают с помощью различных позиционно-чувствительных детекторов – матриц с жидкостными ионизационными камерами или матриц с полупроводниковыми элементами из аморфного кремния, CdTe или CdZnTe. Полученные портальные изображения сравниваются с цифровыми рентгенограммами для определения разницы в положении границ поля облучения и костных ориентиров и проведения соответствующей корректировки положения пациента на терапевтическом столе.

End to end test – Сквозное тестирование

Это методология, используемая для проверки того, выполняется ли поток работ 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. 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 надлежащую точность подведения дозы.

Для достижения этой цели используют антропоморфные фантомы, снабженные различными детекторами для измерения дозы. Они используются на всех этапах подготовки и проведения лучевой терапии вместо реального пациента. Сквозное тестирование проводят, как правило, после ввода в клиническую эксплуатацию продвинутых технологий (кибернож, протонная терапия и др.).

External beam radiotherapy – Дистанционная лучевая терапия

Технология лучевой терапии, при которой источник излучения в процессе облучения находится вне тела пациента.

Fiducials – Фидуциальные маркеры

Фидуциальные маркеры представляют собой небольшие металлические или керамические сферы, или цилиндры миллиметрового размера, которые помещаются в опухоль или рядом с ней при подготовке к лучевой терапии. Фидуциальные маркеры имплантируются для наведения пучка на опухолевые очаги, расположенные в грудной клетке, включая легкие и стенку грудной клетки; в брюшной полости, включая печень, желчный пузырь, почки и поджелудочную железу; в тазу, в том числе в предстательную железу; при стереотаксическом облучении головы и шеи. Маркеры помогают определить местоположение опухоли с большей точностью и позволяют доставлять максимальную дозу облучения к опухоли, сохраняя при этом дозу на здоровые ткани в толерантных уровнях.

Flash therapy – Мгновенная терапия

Техника лучевой терапии, позволяющая отпуск большой дозы (~40 Гр) за микросекунды и реализуемая в основном на медицинских ускорителях электронов, а в последнее время и на протонных ускорителях. Этот способ лучевой терапии позволяет уничтожить клетки опухоли, практически не повреждая клетки нормальных тканей. В настоящее время это объясняется мгновенным снижением уровня кислорода в нормальных клетках, что делает их радиорезистентными.

Flattening filter – Выравнивающий фильтр

Элемент радиационной головки ЛУЭ, предназначенный для выравнивания интенсивности тормозного излучения в поперечном сечении пучка. В зависимости от требуемой конфигурации энергий тормозного излучения, ЛУЭ комплектуется несколькими мишенями для генерации тормозного излучения: каждой энергии фотонов соответствует свои мишень и выравнивающий фильтр, которые устанавливаются на карусельную систему в радиационной головке ЛУЭ. Недостатком такой системы формирования пучка тормозного излучения является существенное (около 50 %) снижение мощности дозы выравнивающим фильтром.

Flattening filter free (FFF) beam – Пучок тормозного излучения без выравнивающего фильтра

Длительность сеанса облучения при проведении лучевой терапии с модуляцией интенсивности (ЛТМИ) можно сократить путем вывода выравнивающего фильтра из системы формирования пучка тормозного излучения и тем самым повысить мощность дозы тормозного излучения. Пучки тормозного излучения без выравнивающего фильтра используются при ЛТМИ малых и средних мишеней облучения, а также в стереотаксической дистанционной лучевой терапии и характеризуются меньшей полутенью и соответственно меньшей дозой за границами пучка.

Fluoroscopic portal imaging detectors – Люминофорные детекторы системы портальной визуализации

Детектором люминофорной системы портальной визуализации является комбинация металлической пластины, люминофорного экрана, зеркала, поворачивающего изображение на угол 45° , и телевизионной камеры. Металлическая пластина конвертирует падающее фотоны излучения в электроны, и люминесцентный экран превращает электронный пучок в видимый свет. Для получения изображения требуется несколько мониторных единиц. Зеркало направляет свет в телевизионную камеру, и тем самым уменьшает длину преобразователя; телевизионной камере достаточно зарегистрировать незначительную часть (<0.1 %) отраженного света для получения устойчивого изображения.

Gamma knife – Гамма-нож

Гамма-нож представляет собой радиационно-терапевтический аппарат, предназначенный исключительно для радиохирургии опухолей головного мозга. Аппарат содержит около 200 источников ^{60}Co , терапевтический стол, набор шлемов с коллиматорами, надеваемых на голову пациента, и обеспечивающими формирование сходящихся к центру мишени облучения круглых пучков с диаметрами 4–18 мм.

Gantry – Гантри

Конструкция, прецезионно вращаемая вокруг пациента, лежащего в горизонтальном положении на терапевтическом столе, на кото-

рой в случае ЛУЭ закреплена радиационная головка и различные устройства для получения изображений с помощью мегавольтного и киловольтного излучения. В случае установки, предназначенной для томографической визуализации различными методами – это подвижная часть, как правило, кольцевой формы, вращаемая вокруг продольной оси тела пациента и в которой установлены источники и приёмники сигналов.

Head rest – Подголовник

Подголовник – простейшее фиксирующее приспособление, часто используемое в лучевой терапии, имеющее такую форму, которая позволяет пациенту комфортно лежать на терапевтическом столе.

Image guided radiation therapy (IGRT) – Лучевая терапия под управлением по изображениям

Лучевая терапия под управлением по изображениям (ЛТУИ) обеспечивает возможность контролировать, как поле облучения соотносится с формой и положением мишени и соответствующих реперных маркеров при каждом сеансе облучения. Такая возможность получения изображений анатомии пациента на радиационно-терапевтическом аппарате перед началом каждого сеанса облучения, позволяет определять положение мишени облучения на регулярной основе, помогает проверить правильность укладки пациента, при необходимости её скорректировать, и тем самым обеспечить прецизионное подведение дозы к мишени облучения. Современные системы ЛТУИ основаны на интеграции в одном радиационно-терапевтическом аппарате с общим изоцентром различных устройств для медицинской визуализации:

- ✓ изоцентрического ЛУЭ и КТ-сканера;
- ✓ изоцентрического ЛУЭ и системы получения изображений методом КТКП с помощью киловольтного или мегавольтного источника;
- ✓ аппарата томотерапии; это миниатюрный ускоритель с многопластинчатой диафрагмой (МПД), смонтированный в гантри КТ сканера, который может вращаться вокруг пациента;
- ✓ изоцентрического ЛУЭ и двух- или трехмерной системы получения ультразвуковых изображений (УЗИ);

- ✓ миниатюрного ускорителя, смонтированного на манипуляторе робота (кибер-нож) и оборудования для получения изображений в реальном времени;
- ✓ изоцентрического ЛУЭ и сканера для магнито-резонансной томографии (МРТ).

Intensity* – Интенсивность

Этот термин обозначает плотность потока энергии излучения или частиц, которая равна произведению мощности флюенса (плотности потока) на энергию частиц. В соответствии с Докладом ЗЗ МКРЕ (1980 г.) этот термин должен переводиться как “мощность флюенса энергии”, а термины “плотность потока энергии” и “интенсивность” к использованию не рекомендуются. 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 (2): 61-86.

** О других трактовках термина “интенсивность” см. статью Д.А. Рогаткина (стр. 106-113 в данном номере журнала).

Intensity modulated arc therapy (IMAT) – Режим дугового облучения с непрерывной модуляцией интенсивности

Режим дугового облучения с непрерывной модуляцией интенсивности, основанный на использовании методики скользящего окна в комбинации с вращением гантри вокруг пациента.

Intensity modulated radiation therapy (IMRT) – Лучевая терапия с модуляцией интенсивности

Лучевая терапия с модуляцией интенсивности (ЛТМИ) – это метод трехмерной конформной лучевой терапии на основе многопольного облучения пучками с оптимизированной модуляцией интенсивности. Подобная модуляция производится путем изменения не энергии пучка излучения, а мощности его флюенса*.

Подбор интенсивности, оптимальной для каждого пучка, осуществляется в результате оптимизационного процесса, называемого обратным планированием, который включает дозиметрические критерии не только для точек внутри мишени облучения, но и для точек в пределах органов риска.

* Несмотря на правильный термин “лучевая терапия с модуляцией мощности флюенса излучения” термин “лучевая терапия с модуляцией интенсивности” довольно прочно укоренился в русскоязычной литературе.

Interlock – Блокирующее устройство

Устройство, препятствующее началу или продолжению работы оборудования до тех пор, пока не будут установлены заранее заданные условия.

Intraoperative radiation therapy – Интраоперационная лучевая терапия

Интраоперационная лучевая терапия (ИОЛТ) представляет собой прицельное облучение какого либо органа, опухоли, или ее ложа, к которым открыт доступ в результате хирургического вмешательства, проводимое за один сеанс с дозой порядка 10–20 Гр. ИОЛТ сочетает два метода лечения злокачественных новообразований – хирургию и лучевую терапию. Современные методики ИОЛТ ориентированы на использование электронных пучков, сформированными медицинскими ускорителями электронов.

Irradiation field size – Размер поля облучения

Размеры площади, перпендикулярной к оси пучка излучения, на заданном расстоянии от источника излучения или на заданной глубине облучаемого объекта и ограниченной заданными изодозными линиями.

Isocentre – Изоцентр

Различают два вида изоцентра – механический и радиационный. Механический изоцентр определяется в точке пересечения трех осей вращения: оси вращения коллиматора радиационной головки, оси вращения гантри, и оси вращения терапевтического стола. Радиационный изоцентр – это точка пересечения центральных осей пучков излучения в радиационно-терапевтических аппаратах с различными возможностями движения опорной оси вокруг общего центра. На практике в обоих случаях оси пересекаются не в точке, а в пределах

некоторой сферы, содержащей траекторию движения точек пересечения осей пучков в пространстве, возникающую из-за недостаточной точности сборки и механической жёсткости конструкции аппарата. Радиус этой сферы определяет неопределенность положения изоцентров и служит оценкой их стабильности и соответственно точностных характеристик радиотерапевтического аппарата.

Isocentric treatment – Изоцентрическое облучение

Наиболее распространенный метод лучевой терапии, при котором мишень облучения позиционируют в изоцентре.

Leakage radiation – Излучение утечки

Это компонента общего потока излучения от источника ионизирующего излучения, обусловленная проникновением через радиационную защиту источника. Примером может служить рентгеновское излучение, выходящее через кожух (оболочку) рентгеновской трубки вне целевого пучка фотонов; тормозное, гамма- и нейтронное излучение, выходящие из радиационной головки радиационно-терапевтического аппарата вне целевого пучка фотонов, протонов и лёгких ионов а также тормозное излучение, проходящее через зазоры между выступами и впадинами (“язычками” и “канавками”) на боковых поверхностях пластин в многопластинчатых диафрагмах.

Light field – Световое поле

Это область, освещенная светом, исходящим из светового источника в радиационной головке радиационно-терапевтического аппарата, моделирующая радиационное поле, и являющаяся геометрическим местом точек, в которых освещенность превышает определенный или заданный уровень. Используется для укладки и центрации пациентов на радиационно-терапевтических аппаратах.

Matrix ionization chamber portal imaging detectors – Матричные детекторы с ионизационными камерами системы портальной визуализации

В матричных детекторах используют позиционно-чувствительные ионизационные камеры, позволяющие измерять ионизацию от точки к точке. Он состоит из двух металлических пластин, разделенных промежутком в

1 мм, заполненным изобутаном. Каждая пластина разделена как правило на 256 электродов, а пластины ориентированы таким образом, что электроды в одной пластине находятся под углом 90° к электродам в другой пластине. Между электродами приложено напряжение и ионизация измеряется в точке пересечения электродов. Снимая сигнал с каждой пары электродов по очереди, можно получить двухмерное распределение интенсивности, которое можно преобразовать в изображение в серой шкале размером в 256×256 пикселей. Максимальный размер такого изображения обычно меньше того изображения, которое можно получить с помощью рентгеноскопической системы.

Medical linear accelerator – Медицинский линейный ускоритель электронов

В медицинском линейном ускорителе электронов (ЛУЭ) электроны ускоряются с помощью электромагнитного поля высокой частоты в специальной вакуумированной структуре, называемой ускоряющим волноводом. Ускорители, как правило, устанавливаются на изоцентрических гантри и их основные компоненты можно выделить в несколько основных групп: гантри, основание гантри, модулятор, радиационная головка, терапевтический стол и пульт управления. В настоящее время ЛУЭ является основным ускорителем, используемым в практике ЛТ.

Microtron – Микротрон

Ускоритель электронов, объединяющий в себе принципы действия линейного ускорителя и циклотрона. Под действием однородного магнитного поля электрон движется по круговым орбитам увеличивающегося радиуса и ускоряется высокочастотным электрическим полем в полой резонаторе. После каждого прохода через резонатор электрон получает дополнительную энергию и переходит на орбиту большего радиуса. В настоящее время микротроны практически не используются в практике ЛТ.

Monitor chamber – Мониторная камера

В качестве монитора отпускаемой дозы в ЛУЭ используются проходные ионизационные камеры, постоянно находящиеся в пучке тормозного или электронного излучения. Проходные камеры располагают между выравнивающим фильтром (тормозное излучение) или рас-

сеивающей фольгой (электронный пучок) и диафрагмой, определяющей размер поля облучения. Как правило, для обеспечения надёжной безопасности используются две ионизационные камеры с полностью независимыми источниками питания и электрометрами. В большинстве случаев проходные ионизационные камеры полностью запаены, так что внешняя температура и давление не влияют на их чувствительность.

Monitor unit (MU) – Мониторная единица

Мониторные единицы (МЕ) измеряются проходной ионизационной камерой ЛУЭ. Чувствительность электрометра проходной ионизационной камеры подстраивается обычно так, чтобы 1 МЕ соответствовала дозе в 1 сГр, измеренной в водном фантоме на центральной оси пучка в референсных условиях. Контроль дозы при ЛТ сканирующими пучками протонов и легких ионов осуществляется проходной ионизационной камерой в которых 1 МЕ обычно соответствует числу протонов или легких ионов, необходимых для создания дозы в 1 сГр, измеренной в водном фантоме на центральной оси пучка в референсных условиях.

Moving beam radiotherapy – Подвижная лучевая терапия

Технология лучевой терапии, при которой источник излучения в процессе облучения непрерывно перемещается относительно пациента.

Multileaf collimator – Многопластинчатая диафрагма*

Многопластинчатая диафрагма (МПД) обеспечивает формирование мегавольтного фотонного пучка излучения с таким поперечным сечением, которое соответствует форме мишени облучения в плоскости, перпендикулярной центральной оси пучка. МПД может быть составной частью радиационной головки ЛУЭ, заменяя либо верхнюю, либо нижнюю пару пластин основной диафрагмы, либо поставляется как дополнительное устройство, закрепляемое на радиационной головке и используемое вместе с основной диафрагмой. Большинство современных ЛУЭ оснащены МПД, которая включает от 40 до 120 пар узких, близко сходящихся вольфрамовых пластин; при этом проекция ширины пластины на уровне изоцентра ЛУЭ составляет от 5 мм до 10 мм. Мик-

ро-МПД снабжаются пластинами с шириной менее 5 мм на уровне изоцентра и предназначены для облучения опухолей головы и шеи. МПД используется для облучения по методике ЛТМИ, и наряду с фотонами МПД используют в практике лучевой терапии пучками протонов и лёгких ионов.

* Как отмечено в работе [1], неправильный терминологический элемент “многолепестковый” повсеместно используется в русскоязычной литературе по лучевой терапии. На самом деле терминологический элемент leaf переводится как “лист”, “створка”, “пластина”, но не как “лепесток”. Поэтому здесь более правильным переводом должен быть “многопластинчатый коллиматор” или “многостворчатая диафрагма”.

Neutron therapy – нейтронная терапия

Это метод лечения, при котором пациента облучают пучком нейтронов, выведенного из ядерного реактора или генерированного на ускорителе протонов или дейтронов. При реализации нейтроно-захватной терапии в организм пациента вводится препарат, содержащий стабильные нуклиды ^{10}B или ^{157}Gd , которые обладают аномально высокими поперечными сечениями захвата тепловых нейтронов. При взаимодействии нейтронов с этими нуклидами образуются короткопробежные продукты, которые и обеспечивают радиационное воздействие на опухолевый очаг. При реализации нейтроно-соударной терапии, где используются быстрые нейтроны, радиационное воздействие на опухолевый очаг обусловлено в основном протонами отдачи.

Onboard imaging – Система визуализации укладки и облучения больного

Система получения изображений с помощью мегавольтного или киловольтного излучения, смонтированная на радиационной головке и гантри ЛУЭ и используемая для проверки и при необходимости для корректировки положения пациента в каждом поле облучения при вращении гантри.

Online portal imaging – Системы портальной визуализации в режиме реального времени

Системы портальной визуализации, работающие в режиме реального времени, состоят из позиционно-чувствительного детектора (рентгеноскопические детекторы, ионизационные камеры и полупроводниковые элементы из аморфного кремния), установленного на выдвижной платформе, крепящейся к гантри ускорителя, системы сбора данных и про-

граммного обеспечения для преобразования сигнала с детектора в цифровое изображение и его анализа. Детекторный блок системы портальной визуализации регистрирует распределение интенсивности прошедшего излучения, которое с помощью компьютерного обеспечения преобразуется в видимое изображение; при этом качество изображения варьирует от системы к системе. Системы портальной визуализации, работающие в режиме реального времени, предназначены для оперативной проверки правильности и воспроизводимости укладки пациента и при необходимости её коррекции.

Particle accelerator – Ускоритель заряженных частиц

Аппаратура для ускорения заряженных частиц, таких как электроны, протоны, лёгкие ионы. В зависимости от условий использования ускоряющего электрического поля ускорители можно разделить на два основных класса: электростатические и циклические. В электростатических ускорителях ускорение частиц осуществляется за счет электростатического электрического поля с постоянной во времени разностью потенциалов, величина которой определяет кинетическую энергию ускоряемых частиц. В циклических ускорителях электрическое поле, используемое для ускорения частиц переменное и связано с переменным магнитным полем. Это приводит к тому, что частицы движутся по замкнутой траектории с возрастанием энергии.

Patient immobilization – Фиксация положения пациента

Фиксация положения пациента, или, иначе говоря, иммобилизация состоит в использовании различных средств и технологий для снижения влияния движений тела пациента на реальное распределение дозы облучения в его теле непосредственно в процессе облучения. Выбор средств и технологий для фиксации положения пациента зависит от расположения облучаемой области, геометрии облучения, общего состояния и контуров тела пациента.

Patient immobilization devices – Фиксирующие приспособления

Фиксирующие приспособления обеспечивают выполнение двух важнейших условий проведения лучевой терапии: зафиксиро-

вать положение больного во время облучения, обеспечить надежную воспроизводимость положения больного при всех этапах лучевой терапии, начиная с этапа планирования, затем на этапе симуляции и, наконец, от сеанса к сеансу облучения. Фиксирующими приспособлениями могут служить различные устройства: липкая лента, ремни с липучками, эластичный бинт и стереотаксическая рамка, крепящаяся к костям черепа. Современная практика лучевой терапии базируется на использовании индивидуализированных фиксирующих приспособлений, изготавливаемых на основе антропометрических данных, полученных в процессе подготовки пациента к облучению.

Patient positioning system (PPS) – Система позиционирования пациента

Устройство для укладки пациента и перемещения в положение для облучения обычно называют терапевтическим столом. Современная система позиционирования пациента (СПП) радиотерапевтического аппарата включает в себя роботизированную платформу и имеет до 6 степеней свободы.

Patient setup – Укладка пациента

Под укладкой в дистанционной лучевой терапии понимают позиционирование пациента на терапевтическом столе для проведения облучения, при этом используется два метода. Метод РИП (расстояние от источника до поверхности тела пациента), когда при укладке РИП поддерживается постоянным для всех используемых пучков, и метод РИО (расстояние от источника до оси ротации), когда центр мишени облучения совмещается с изоцентром, в результате чего расстояние от источника до центра мишени будет постоянным для всех используемых направлений пучков. В отличие от метода РИП, укладка пациента по методу РИО не требует корректировки положения пациента для каждого поля облучения при вращении гантри.

Port films – Портальные снимки

Портальные снимки предназначены для проверки положения поля облучения относительно опорных костных ориентиров, чтобы убедиться в правильности укладки для каждого пучка. Для этой цели используется два типа пленок с разной чувствительностью. Пленки с высокой чувствительностью экспонируются в

лечебном пучке перед сеансом или после сеанса облучения. Малочувствительные пленки экспонируются в течение всего времени облучения каждым пучком. Эти пленки обеспечивают изображение более высокого качества и используются для проверки малоразмерных полей облучения или для сложной комбинации пучков.

Portal position verification – Проверка правильности укладки пациента

Использование портальных снимков или систем электронной портальной визуализации для проверки правильности укладки пациента и оценки её воспроизводимости при повторных облучениях.

Radiation head – Радиационная головка

Устройство, устанавливаемое на вращающемся гантри радиационно-терапевтических аппаратов для облучения под разными углами, в котором установлена система мониторинга пучка, различные формирующие устройства, и из которого исходит пучок излучения.

Radiation source – Источник излучения

Радионуклидный источник или оборудование, способное генерировать ионизирующее излучение.

Radiation therapy – Лучевая терапия

Медицинская терапия, состоящая из одного или более сеансов облучения ионизирующим излучением, при этом используются только закрытые радионуклидные и генерирующие источники ионизирующих излучений.

Radiotherapy with protons and light ions – Лучевая терапия с использованием протонов и лёгких ионов

Пучки протонов генерируются на циклотронах и синхротронах, а в последнее время и на линейных ускорителях заряженных частиц. Пучки лёгких ионов (ионы с атомными номерами до 10 (Ne)) генерируются на синхротронах, при этом энергии протонов составляют 70–250 МэВ, а энергии лёгких ионов (например, ионы углерода) – 100–400 МеВ/нуклон. Особенность взаимодействия протонов и легких ионов с веществом – повышение дозы на глубине с последующим ее спадом практически до нуля в конце пробега – обеспечило клиническое применение пучков этих частиц в лучевой терапии. Для этой цели

создается т.н. модифицированный пик Брегга таким образом, чтобы включить объем мишени в эту область и практически исключить облучение здоровых органов и тканей, находящихся по ходу пучка за пределами объема мишени.

Radiotherapy treatment planning system – Система дозиметрического планирования облучения

Компьютеризированные системы дозиметрического планирования (СДП) используются в практике лучевой терапии для определения формы поля облучения и расчета дозных распределений, обеспечивающих максимальный контроль опухоли и минимальные осложнения здоровых органов и тканей. СДП включает в себя программное обеспечение с большим количеством модулей, предназначенных для математической реконструкции анатомии облучаемой области пациента на основе мультимодальной визуализации, моделирования и оптимизации дозного распределения, оценки распределения дозы в тканях человека для излучения гамма-терапевтических аппаратов, медицинских ускорителей электронов, ускорителей протонов и лёгких ионов или радионуклидных источников при планировании контактной лучевой терапии, получения документации и набора входных параметров для передачи на радиационно-терапевтический аппарат и другие устройства.

Radiation therapy unit – Радиационно-терапевтический аппарат

Устройство, предназначенное для лучевой терапии пучками ионизирующего излучения.

Record and verification system – Система регистрации и верификации условий облучения

Система регистрации и верификации условий облучения обеспечивает документирование процесса облучения и сравнение данных, установленных для облучения на аппарате, с предписанными данными. Перед проведением лучевого лечения все эти параметры сравниваются с установками на аппарате, и в случае их полного соответствия, можно начинать процесс облучения. В случае обнаружения несоответствия неверные параметры высвечиваются на дисплее, и процесс облучения блокируется.

Respiratory gated radiation therapy – Лучевая терапия с респираторной синхронизацией

Лучевая терапия с респираторной синхронизацией (ЛТРС) позволяет минимизировать неточности в дозе, подведенной к внутренним органам, перемещающимся при дыхании пациента. ЛТРС основана на использовании технологии получения объемных КТ изображений во времени, и устройств для автоматической компенсации эффектов респираторных движений грудной клетки и верхней части брюшной полости. Существует несколько методик минимизации эффектов респираторных движений: учет респираторных движений (геометрически и дозиметрически) при планировании лучевого лечения, абдоминальная компрессия, снижающая амплитуду дыхательного процесса, задержка дыхания (активная или добровольная), респираторная синхронизация и отслеживание положения опухоли.

Scattering – Рассеяние

Процесс, при котором в результате столкновения с частицей или системой частиц меняется направление распространения и/или энергия падающей частицы.

Scattered radiation – Рассеянное излучение

Ионизирующее излучение, образовавшееся в результате взаимодействия ионизирующего излучения с веществом с уменьшением энергии излучения и/или с изменением направления излучения.

Scout films – Пристрельные или пилотные снимки

Пристрельные или пилотные снимки получают, фиксируя источник и перемещая больного (поступательное движение) через стационарный коллимированный пучок. Результатом является рентгенограмма с высоким разрешением, которая получена в геометрии расходящегося пучка для поперечной оси пучка и в геометрии нерасходящегося пучка для продольной оси.

Shadow, or block tray – Подвесная платформа

Платформа с днищем в виде пластины из светопроницаемого материала (оргстекло и т.п.), закрепляемая на радиационной головке радиационно-терапевтического аппарата и

предназначенная для установки формирующих блоков и других устройств.

Sliding window mode of dynamic MLC – Динамический режим работы МПД при лучевой терапии с модуляцией интенсивности

Динамический режим МПД, называемый также режимом скользящего окна, состоит в облучении пациента пучками с модулированной интенсивностью, при этом перемещение пластин МПД осуществляется во время облучения в динамическом режиме.

Step and shoot IMRT – Сегментированный режим работы МПД при лучевой терапии с модуляцией интенсивности

Сегментированный режим работы МПД, часто называемый как режим step-and-shoot (шаг и облучение), состоит в использовании пучков с модулированной интенсивностью в виде последовательности малых сегментов или субпучков, в каждом из которых интенсивность равномерна. Облучение каждого сегмента заканчивается при достижении заданной дозы и продолжается после установки угла поворота гантри и положения пластин МПД для следующего сегмента.

Stereotactic frames – Стереотаксические рамки

Стереотаксическая рамки предназначены для фиксации пациентов и позволяют установить координатную систему для прецизионной локализации и облучения выбранного планируемого объема мишени при проведении стереотаксической радиохирургии. Фиксация стереотаксической рамки к голове пациента традиционно осуществляется с помощью трех или четырех стальных штифтов, вставленных в отверстия, просверленные в черепе пациента. Хотя процедура установки рамки требует, по крайней мере, местной анестезии, такие устройства остаются наиболее надежной и стабильной платформой для стереотаксической радиохирургии. Их основной недостаток заключается в том, что вся процедура планирования и лечения обычно должна выполняться в течение одного дня. Для фракционированной стереотаксической дистанционной лучевой терапии используют перемещаемые рамки с неинвазивной фиксацией пациента, при этом по-

грешность репозиционирования перемещаемой рамки должна быть менее 1 мм.

Stereotactic radiotherapy – Стереотаксическая дистанционная лучевая терапия

Стереотаксическая дистанционная лучевая терапия (СДЛТ) основана на технике прицельного облучения, в которой используется комбинация некопланарных фотонных или протонных пучков для подведения предписанной дозы излучения к стереотаксически локализованным очагам. Это достигается использованием стереотаксических рамок, которые позволяют установить координатную систему для прецизионной локализации и облучения выбранного планируемого объема мишени. Очаги эти, как правило, малого размера и находятся в головном мозге; однако, техника СДЛТ применяется в настоящее время и для других частей тела (например, стереотаксическое облучение позвоночника, где также используется специальное оборудование для фиксации и локализации). По отношению к фракционированию дозы СДЛТ подразделяется на стереотаксическую радиохирургию, при которой вся предписанная доза (обычно 12–24 Гр) подводится за один сеанс облучения, и стереотаксическую лучевую терапию, при которой полная доза, как и при обычной лучевой терапии, подводится за несколько фракций.

Stop frame – Стоп-рамка

Рамка в виде кольца, закрепляемая на радиационной головке на подвижных шарнирах. Любое соприкосновение рамки с поверхностью тела пациента или любыми предметами в кабинете лучевой терапии при движении гантри радиационно-терапевтического аппарата или терапевтического стола с пациентом приводит к срабатыванию блокирующего устройства и остановке движения.

Stray radiation – Неиспользуемое излучение

Для ионизирующего излучения – все излучение, за исключением определенного пучка излучения, подлежащего использованию.

Superficial radiotherapy – Поверхностная лучевая терапия

Лучевая терапия поверхностных тканей тела, находящихся обычно на глубине не более 1 см.

Synchrotron – Синхротрон

Циклический ускоритель, в котором в процессе ускорения заряженных частиц под действием электрического поля, создаваемого высокочастотным генератором, радиус орбиты пучка остаётся постоянным. Ускорение частиц происходит за счёт многократного пролёта ($\sim 10^6$ раз в секунду) через ускоряющую секцию. Синхротроны используются в качестве ускорителя для лучевой терапии пучками протонов и лёгких ионов.

Target – Мишень

Часть рентгеновской трубки или радиационной головки ускорителя заряженных частиц, на которую падает пучок ускоренных частиц для генерирования тормозного излучения или других частиц.

Thermoplastic mask – Термопластичная маска

Больные подвергающиеся лучевой терапии в области головы и шеи, фиксируются с помощью термопластичной маски, которая в нагретом состоянии принимает форму поверхности тела больного. Маска крепится непосредственно к терапевтическому столу или к пластмассовой рамке, которая находится под головой больного. В результате фиксируется положение головы больного, которое должно воспроизводиться от сеанса к сеансу.

Three-dimensional conformal radiation therapy (3D-CRT) – Трёхмерная конформная лучевая терапия

Трёхмерная конформная лучевая терапия (3-D КФЛТ) основана на использовании трёхмерной анатомической информации и формировании дозных распределений, которые максимально соответствуют форме мишени облучения. 3-D КФЛТ должна обеспечивать подведение предписанной дозы к опухоли и ограниченной дозы к критическим органам. Для определения степени конформности используются различные подходы и соответствующие метрики.

Teletherapy unit – Гамма-терапевтический аппарат

Радиационно-терапевтические аппараты с источниками гамма-излучения, используемые в дистанционной лучевой терапии, обычно называют гамма-терапевтическими аппаратами.

Как правило, это изоцентрические установки с РИО=75, 80 или 100 см. Основными компонентами гамма-терапевтического аппарата являются: радионуклидный источник (активность источников ^{60}Co порядка 5 000–10 000 Ки (185–370 ТБк), капсула источника, диафрагма пучка, механизм перемещения затвора или источника, гантри, терапевтический стол и пульт управления. Современные гамма-терапевтические аппараты оснащаются также многопластинчатой диафрагмой. Отпускаемая доза контролируется с помощью двух таймеров: основного и дополнительного. Основной таймер контролирует время облучения и переводит источник в положение хранения при достижении предписанного времени облучения. Дополнительный таймер переводит источник в режим хранения в том случае, если основной таймер не срабатывает. Время облучения, устанавливаемое на таймере, должно включать в себя т.н. поправку на закрывание затвора, которая учитывает время перемещения источника из положения хранения в положение облучения при начале облучения и время обратного перемещения при завершении облучения.

Teletherapy unit source housing – Система перемещения источника в гамма-терапевтическом аппарате

Система перемещения источника в гамма-терапевтическом аппарате содержит корпус из стальной оболочки со свинцовой защитой и механизм перемещения источника к отверстию диафрагмы для выпуска пучка и проведения облучения. В настоящее время используются два способа перемещения источника из положения хранения в положение облучения и обратно. В первом случае источник закреплен на скользящем держателе, движущемся по направляющим вперед или назад, а во втором – используется в отечественных аппаратах – источник закреплен на вращающемся цилиндре. Оба метода включают систему безопасности, которая автоматически прекращает облучение в случае аварии или в случае отключения питания. Когда источник находится в положении хранения, его позицию напротив отверстия диафрагмы (положение облучения) занимает источник света, который создает световое поле, имитирующее радиационное поле, необходимое для наведения пучка излучения.

Tomotherapy – Томотерапия

Метод лучевой терапии, при котором источник мегавольтного фотонного излучения (малогабаритный линейный ускоритель) расположен на гантри аналогично рентгеновской трубке в компьютерном томографе. Формирование лечебного пучка осуществляется с помощью компьютерно-управляемой бинарной МПД, у которой есть лишь два положения – “открыто” и “закрыто”. При повороте гантри вокруг продольной оси тела большого пластины МПД динамически перемещаются, создавая тем самым пучок с модуляцией интенсивности. При проведении облучения дека стола с пациентом поступательно перемещается сквозь окно гантри, обеспечивая спиральное сканирование всего объема мишени облучения. При таком перемещении, наряду с терапевтическим воздействием, мегавольтный пучок, пройдя через тело пациента, обеспечивает получение изображений анатомии пациента по принципу мегавольтной КТ. Эти изображения получают в любое время до, во время и после каждого сеанса лучевой терапии с помощью позиционно-чувствительного детектора в виде многоэлементной ионизационной камеры, заполненной ксеноном и установленной под столом на штативе напротив МПД.

Total body irradiation – Облучение всего тела

Облучение всего тела – это специальная методика лучевой терапии, направленная на подведение ко всему телу пациента дозы с поверхностной неравномерностью не хуже $\pm 10\%$ от величины предписанной дозы. Для этой цели используют пучки мегавольтного фотонного излучения или пучки излучения Co^{60} .

Total skin electron irradiation – Облучение всего кожного покрова электронами

Облучение всего кожного покрова электронами представляет собой специальную методику лучевой терапии, предназначенную для облучения кожного покрова предписанной дозой при защите других органов (глаза) от облучения.

Touch guard sensor – Сенсорный элемент детектора столкновения

Детекторы столкновения с сенсорными элементами устанавливаются на компоненты радиационно-терапевтических аппаратов, ко-

торые находятся (или могут находиться) в непосредственной близости относительно тела пациента, например, такие как рентгеновская трубка, плоские панельные детекторы киловольтного и мегавольтного излучения или электронный тубус. Цель таких детекторов остановить движение радиационно-терапевтического аппарата при любом соприкосновении сенсорного элемента с поверхностью тела пациента или любыми предметами в кабинете лучевой терапии.

Treatment control panel – Пульта управления

Устройство, входящее в состав радиационно-терапевтического аппарата, которое обеспечивает управление облучением пациента в процессе лучевой терапии.

Treatment room – Кабинет лучевой терапии

Помещение, в котором осуществляется облучение пациента ионизирующим излучением и которое имеет необходимые стационарные средства радиационной защиты. Встречаются другие названия этого кабинета – бункер, каньон, процедурная.

Vacuum matrices – Вакуумные матрасы

Вакуумные матрасы применяются для облучения торса или тазовой области, обладая возможностью их повторного использования. Пациент помещается на терапевтическом столе на матрас, заполненный маленькими шариками из пенопласта. С помощью насоса из матраса выкачивается воздух, в результате чего матрас принимает форму поверхности тела больного, которая сохраняется при повторных использованиях.

Virtual simulation – Виртуальное моделирование облучаемого объекта

Виртуальная симуляция или виртуальное моделирование облучаемого объекта с имитацией геометрии облучения на радиационно-терапевтическом аппарате позволяет создавать компьютерные трехмерные изображения тела пациента, на которых размечают контуры мишени облучения, критических органов, выбирают положение изоцентра с последующей разметкой осей полей облучения на теле пациента. Существуют два режима виртуального моделирования: в режиме реального времени, когда

пациент присутствует и в автономном режиме – без пациента. Система для виртуального моделирования состоит из обычного спирального компьютерного томографа, снабженного специальной системой лазерного наведения и высокопродуктивной рабочей станции, на которую поступают изображения КТ. На рабочей станции осуществляются преобразование поперечных сканов в трехмерное изображение, оконтуривание мишени и критических органов и предварительная выработка плана облучения. По окончании система лазерного наведения автоматически сдвигает стол компьютерного томографа так, чтобы нанести на тело пациента реперные метки для осуществления укладки в процессе лечения.

***Virtual wedge or dynamic wedge –
Виртуальный (динамический)
клиновидный фильтр***

Название технологии облучения, состоящей в создании клиновидного распределения дозы путём перемещения с постоянной скоростью при включенном терапевтическом пучке излучения пластины основной диафрагмы от открытого к закрытому состоянию и изменения мощности дозы при фиксированных положениях пластины основной диафрагмы.

***Volumetric modulated arc therapy (VMAT) –
Лучевая терапия с модуляцией дозы
по объему мишени***

Лучевая терапия с модуляцией дозы по объему мишени позволяет проводить облучение при вращении гантри на 360° или с несколькими вращениями, изменяя при этом три параметра – скорость вращения, форму поперечного сечения пучка и мощность дозы. Преимущество этого метода по сравнению с другими методиками ЛТМИ состоит в значительном сокращении продолжительности сеанса облучения.

Wedge – Клин

Металлический клиновидный поглотитель, размещенный в пучке для создания равномерного градиента дозы в поле излучения в поперечном направлении. Может быть как моторизованным, так и помещаться в пучок в виде вставки вручную. Подобного эффекта создания равномерного градиента дозы в поле излучения в поперечном направлении можно добиться также движением одной пластины диа-

фрагмы (динамический или виртуальный клин).

Wedge angle – Угол клиновидного фильтра

Угол клиновидного фильтра определяется как угол между 50 % изодозой и перпендикуляром к центральной оси пучка. Общепринятые углы клина составляют диапазон от 10° до 60°.

***Wedge factor – Коэффициент пропускания
клиновидного фильтра***

Коэффициент пропускания клиновидного фильтра определяется, как отношение дозы на определенной глубине (обычно глубина максимума дозы) на центральной оси пучка с клиновидным фильтром к дозе при тех же условиях, но без клиновидного фильтра. Коэффициент пропускания клиновидного фильтра используется в расчетах мониторинговых единиц для компенсации изменения интенсивности пучка за счет клиновидного фильтра.

Workflow – Поток работ

Это упорядоченное во времени множество рабочих заданий, которые получают сотрудники и которые обрабатываются ими вручную или с помощью средств механизации/автоматизации, но с той последовательностью и в рамках тех правил, которые определены для данного процесса. Применительно к лучевой терапии поток работ в общих чертах включает в себя топографию, дозиметрическое планирование, моделирование процесса облучения и непосредственно само облучение.

***X-ray machines for radiotherapy –
Рентгенотерапевтические аппараты***

Рентгенотерапевтические аппараты используются для облучения поверхностных и более глубоко расположенных опухолей. Типичными компонентами этих аппаратов являются: рентгеновская трубка, потолочный или напольный штатив для крепления трубки, набор тубусов, крепящихся к трубке, высоковольтный генератор, система охлаждения трубки и пульт управления. Доза облучения пациента контролируется на рентгенотерапевтическом аппарате по времени облучения с помощью таймера. Это время должно корректироваться на время прихода аппарата в рабочее состояние, т.к. радиационный выход рентгенотерапевтического аппарата возрастает от нуля до полной величини

ны по мере того как генерирующее напряжение устанавливается на заданном уровне в течение нескольких первых секунд облучения.

X-ray therapy beam collimation applicators – Набор тубусов для рентгенотерапии

Вторичная коллимация на рентгенотерапевтических аппаратах обычно выполняется с помощью набора взаимозаменяемых тубусов, охватывающих диапазон доступных размеров полей облучения. Тубусы для поверхностной терапии с диаметрами от 1 см до 20 см используются при РИП от 10 см до 35 см для облучения поверхностных опухолей. Тубусы прямоугольной или круглой формы с размером от 4 см до 20 см используются при РИП=50 см для облучения глубже расположенных опухолей.

X-ray therapy simulator – Рентгеновский симулятор

Рентгеновский симулятор (имитатор) воспроизводит движения изоцентрических радиационных аппаратов и оснащен соответствующими шкалами и индикаторами. Вместо терапевтического пучка в симуляторе используется рентгеновский пучок диагностического назначения. Во время симуляции положение больного должно быть таким же, как и при облучении на аппарате для лучевой терапии, при этом проекция ограниченного пучка рентгеновского излучения, прошедшего через пациента, находящегося в положении, соответствующем геометрии облучения, отображается на рентгеновской пленке или приёмнике рентгеновского изображения. Для обозначения лечебных полей облучения (квадратных и прямоугольных) в рентгеновском симуляторе используются проволочные индикаторы; при этом поле визуализации определяется пластинами основной диафрагмы, таким образом, что оно несколько больше лечебного поля, обозначенного проволочными индикаторами. Это делается для того, чтобы визуализировать не только мишень облучения, но и окружающие её здоровые ткани и выбрать наилучшее положение лечебного поля.

Zone rules – Участки ограничения движения

Трёхмерная компьютерная модель механических перемещений всех устройств в кабине лучевой терапии, как элемент бесконтакт-

ной системы безопасности и предотвращения столкновений, включает в себя участки, в пределах которых любые движения во время укладки пациента и при проведении облучения ограничены, если система безопасности обнаружит возможность столкновения.

4D imaging – Четырёхмерная визуализация изображений

Техника получения томографической информации, при которой процесс сканирования синхронизирован с фазой дыхания пациента с помощью специальных датчиков. Четырёхмерная визуализация позволяет получить один или несколько наборов томографической информации в соответствующей специфической фазе дыхания пациента (на вдохе или на выдохе).

Список сокращений

(в скобках приведены англоязычные сокращения)

АЛТ – адаптивная лучевая терапия (ART)

ИОЛТ – интраоперативная лучевая терапия (IORT)

КЛТ – контактная лучевая терапия

КТ – компьютерная томография (СТ)

КТКП – компьютерная томография на основе серии двумерных изображений, полученных с помощью конического пучка (СВСТ)

КФЛТ – конформная лучевая терапия (CRT)

ЛТ – лучевая терапия (RT)

ЛТМИ – лучевая терапия с модуляцией интенсивности (IMRT)

ЛТПС – лучевая терапия с респираторной синхронизацией (RGRT)

ЛТУИ – лучевая терапия под управлением по изображениям (IGRT)

ЛУЭ – линейный ускоритель электронов

МЕ – мониторные единицы (MU)

МПД – многопластинчатая диафрагма (MLC)

МРТ – магниторезонансная томография (MRT)

МЭК – Международная электротехническая комиссия (IEC)

ПЭТ – позитронная эмиссионная томография (PET)

РИО – расстояние источник – ось (SAD)

РИП – расстояние источник–поверхность (SSD)

СДП – система дозиметрического планирования лучевой терапии (TPS)

СДЛТ – стереотаксическая дистанционная лучевая терапия (SRT)

СПО – слой половинного ослабления (HVL)
СПП – система позиционирования пациента (PPS)
УЗИ – ультразвуковые изображения (USI)
ЭСПВ – электронная система портальной визуализации (EPID)
3-D КФЛТ – трехмерная конформная лучевая терапия (3DCRT)

Список литературы

1. Наркевич Б.Я., Моисеев А.Н., Рыжов С.А., Русецкий С.С., Кузнецов М.А. Разработка глоссария терминов и понятий по медицинской радиологии и радиационной безопасности. Медицинская физика. (2): 61-86; (3): 91-114.

GLOSSARY OF TERMS AND CONCEPTS IN MEDICAL RADIATION PHYSICS. TERMINOLOGY USED IN TECHNOLOGICAL SUPPORT 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 technological support 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, treatment machines and techniques for radiation therapy, terminology

E-mail: s.vatnitsky@chello.at