

# Состав и техническое оснащение радиологических отделений

Лебедев А. А., ФГУ РНЦРР

## Composition and technique of Radiology Department

A. Lebedev, Moscow

### Реферат

В статье описаны состав и техническое оснащение радиологических отделений. Статья сфокусирована на основных стадиях лучевой терапии: топометрии, дозиметрической подготовке и лучевом лечении.

**Ключевые слова:** радиологическое отделение, топометрия, дозиметрия, лучевая терапия, онкология.

### Abstract

In this paper composition and technique of radiology department are described. The paper focuses on main stages of radiation therapy: topometry procedure, dosimetry preparation, and radiation treatment.

**Keywords:** radiology department, topometry, dosimetry, radiation therapy, oncology.

Лечение онкологических заболеваний является комплексной проблемой. Оно базируется главным образом на использовании трех методов воздействия непосредственно на патологический очаг:

- хирургическое вмешательство;
- лучевая терапия;
- полихимиотерапия.

Применение каждого из этих методов или их совокупности должно сопровождаться контролем за состоянием организма, его систем и непосредственно патологического очага.

Приемлемость и последовательность применения указанных методов лечения должны базироваться, в свою очередь, на четкой информации о характери-

сти опухолевого процесса, включающих сведения медицинского, биологического, технического характера:

- классификация опухоли по органам;
- тип и распространенность первичной опухоли T [11];
- локализация опухоли в теле пациента;
- выбор методики комбинированного лечения;
- необходимая суммарная пошаговая доза (СОД) облучения патологического очага и путей метастазирования (в первую очередь пути лимфооттока и лимфатические узлы);
- методика фракционирования очаговой дозы (разовая очаговая доза: РОД);



Рис. 1. Ориентировочная (обобщенная) последовательность проводимых курсов диагностики и лечения.

- реализация методики полихимиотерапии в процессе проведения курса лечения;
- контроль за изменением размера и плотности патологического очага в процессе его лечения;
- контроль за состоянием организма и его систем в процессе и по завершении курса лечения.

Ориентировочная (обобщенная) последовательность проводимых курсов диагностики и лечения представлены на рисунке 1. Очевидно, что каждый этап реализации программ диагностики и лечения содержит группу подэтапов, включающих использование специальной техники и специалистов разного профиля. В настоящей статье рассмот-

рены этапы, включающие функции и состав специалистов радиологического отделения, начиная с момента четкой диагностики злокачественного заболевания по международной классификации TNM [11]. Тем самым необходим выбор специализированных помещений и оборудования радиологического отделения.

Следует отметить, что применение источников ионизирующих излучений в лучевой терапии онкологических заболеваний довольно часто приводит к аварийным ситуациям. Так, по данным Наркевича Б.Я. и др. [10], о радиационных авариях в отделениях лучевой терапии за 1966-2007 гг., при медицинском облучении зарегистрированы 29 тяжелых аварий, в которых пострадало 613 человек, из них 45 — с летальным исходом. В Публикации 1084 МАГАТЭ проанализированы причины и последствия каждой из 92 реально случившихся РА при терапевтическом использовании закрытых и открытых источников ионизирующих излучений. По данным ВОЗ, в период 1976-2007 гг. 3125 пациентов получили повышенную дозу радиации, 38 человек (1,2 %) из них умерли. При этом ошибки произошли на этапах: планирования лечения — 55 %, запуска нового оборудования (мегавольтных установок) — 25 %, осуществления лучевого лечения — 10 %, передачи данных — 9 %, комбинации ошибок на нескольких этапах — 1 %. В период с 1992 по 2007 гг. произошло 4616 радиационных аварий, которые не принесли губительного эффекта и были вовремя предотвращены. При этом ошибки были на этапе: планирования лечения - 9%, передачи данных — 38 %, осуществления лучевого лечения — 18 %, симулирования, позиционирования пациента и др. этапах — 35 %.

Таким образом, говоря о радиационных авариях при лучевой терапии, имеют в виду все этапы нарушений технологического процесса выполнения методов лучевой терапии, включающих повреждения в использованной аппаратуре, неправильную ориентацию пучков используемого ионизирующего излучения, ошибки в составлении дозиметрических планов облучения, ошибки в визуализации и ориентации патологического очага, ошибки в дозиметрическом контроле и т.д. Это означает, что погрешности, допущенные на любом этапе реализации плана лучевой терапии, приравниваются к появлению радиационных аварий, т.к. они чреваты появлением радиационных повреждений на любой стадии, включая терминальную.

В связи с этим ядром современного комплекса лучевой терапии является наличие высококвалифицированных физиков, математиков, технических специалистов, в обязанности которых входит не только отслеживание радиологической аппаратуры, но и, что самое главное, ее подготовка к правильной эксплуатации, реализация выбора программ ее использования для каждого пациента, контроль за состоянием пациента в процессе реализации выбранной программы лечения.

По существу, исходя из применяемых самостоятельного, комплексного и комбинированного методов лечения онкологических заболеваний, можно рассматривать в составе радиологического комплекса несколько отделений.

### **Клиническая топометрия**

Первичным этапом реализации любого метода лечения злокачественных новообразований является топометрическая оценка локализации и размера патоло-

гического очага. С этой целью в основном используют два типа рентгенодиагностических установок:

- **рентгеновские симуляторы;**
- **рентгеновские компьютерные томографы.**

Следует подчеркнуть, что современное радиологическое отделение должно быть оснащено и рентгеновским симулятором и рентгеновским компьютерным томографом. Симулятор особенно необходим при использовании в процессе дистанционной лучевой терапии сложных фигурных полей облучения. Рентгеновский симулятор представляет собой рентгенодиагностический аппарат, позволяющий имитировать условия дистанционного облучения на гамма-аппарате или ускорителе. Основным преимуществом рентгеновского симулятора является возможность визуального или пленочного контроля правильности первичных пучков фотонного излучения. Для этого симулятор моделирует условия излучения (направление, размер поля облучения), которые выбраны для проведения курса лучевой терапии. Такое моделирование позволит проверить правильность ориентации первичного пучка фотонного излучения относительно патологического очага и окружающих здоровых органов. В результате возможна ориентация защитных блоков или изменение программы облучения. При отсутствии компьютерного томографа рентгенологические данные, полученные на рентгеновском симуляторе, введенные с помощью дигитайзера в ЭВМ, могут быть использованы для получения дозиметрической программы облучения. Однако этот вариант неприемлем в современных условиях реализации дистанционного облучения.

Компьютерные томографы (КТ) первых пяти поколений работают при напряжении на рентгеновской трубке 80-140 кВ. При регистрации проекционных данных с высокой точностью передаются небольшие различия в числах Хоунсфилда (Hu), что реализуется на дисплее выбором ширины окна и изменением уровня яркости. Наличие трех окон для костных тканей (+2250 + -250 Hu), для мягких тканей (+150 + -250 Hu) и для легочных тканей (+250 -1450 Hu) позволяет четко выделить каждый гетерогенный участок тела с точным указанием его локализации и размеров. Эти сведения поступают на ЭВМ планирующей дозиметрической системы.

Таким образом, планирующая топометрическая система радиологического отделения включает симулятор и компьютерный томограф. Для размещения симулятора необходимо два помещения: процедурная (24 м<sup>2</sup> и выше) и комната управления (12 м<sup>2</sup>).

Для размещения компьютерного томографа необходимо наличие трех помещений:

- машинного отделения с генератором высокого напряжения (12-16 м<sup>2</sup>);
- процедурной, в которой расположены стол для пациента, сканеры (2-4 м<sup>2</sup>);
- пультовая, в которой расположены многоформатная камера, пульт управления и устройство обработки изображения (16-20 м<sup>2</sup>).

### **Дозиметрическая подготовка к проведению курса лучевой терапии**

Вне зависимости от применяемого метода лучевой терапии по полученным топометрическим данным разрабатывается методика облучения.

В ее основу входит определение условий подведения заданной дозы к

патологическому очагу и контроль за облучением окружающих органов и тканей. С этой целью используются разные математические программы, введенные в ЭВМ, базирующиеся на сведениях о дозных распределениях, создаваемых источниками дистанционного или контактного облучения [12, 13, 14 и др.]. Для реализации программы дозиметрического планирования лучевой терапии необходимо наличие специального помещения (2-3 комнаты площадью 12-16 м<sup>2</sup>), размер которого определяется числом обслуживаемых установок лучевой терапии (гамма-аппаратов, ускорителей электронов, установок для брахи-, внутритростной и лучевой терапии при хирургических процедурах).

В этих помещениях размещаются системы ЭВМ с программами для исследования применяемого метода лучевой терапии, оснащенные системами сканирования, дигитайзерами и другими приспособлениями. Естественно, что выполнение работ по дозиметрическому планированию должно осуществляться высококвалифицированными инженерами, прошедшими специальную подготовку. Здесь умышленно не упоминается методика планирования протонного, нейтронного и др. излучений, которые должны быть в крупных онкологических центрах, расположенных вблизи к источникам излучений. К сожалению, в настоящее время в нашей стране таких центров очень мало.

### **Терапевтические блоки**

Блоки лучевой терапии в основном составлены из помещений для дистанционной лучевой терапии. Установлено, что в развитых странах [14] одна установка для дистанционной лучевой терапии приходится на 80-100 тыс. насе-

ления. Преимущественно в настоящее время речь идет об ускорителях электронов, формирующих фотонные излучения с максимальной энергией 5-20 МэВ. Помещения, в которых монтируются установки для дистанционного облучения, состоят из трех функциональных частей: процедурной, комнаты управления, комнаты подготовки и ожидания больных. Размер процедурной зависит от типа и конструкции установки для лучевой терапии и должен быть не меньше 24-30 м<sup>2</sup>, а площадь комнаты управления 12-16 м<sup>2</sup>. Естественно, наиболее сложно обеспечить необходимую защиту от используемого вида ионизируемого излучения. В связи с этим необходим специальный расчет защиты от первичного и рассеянного излучения, который производится в процессе проектирования терапевтического блока [13].

В состав блока, как было отмечено выше, должен входить комплекс для контактной лучевой терапии. Каждая установка должна обеспечиваться как минимум двумя помещениями - процедурной (не менее 24 м<sup>2</sup>) и комнатой управления (12-16 м<sup>2</sup>).

В этих помещениях также необходимо обеспечивать защиту от первичного и рассеянного излучения.

В последнее время все шире используется брахитерапия и лучевая терапия в процессе операционного вмешательства. Здесь в первую очередь необходимо удовлетворение требований к хирургическим блокам — набор помещений, стерилизация, необходимое хирургическое оборудование и средства визуализации внутренней структуры тела человека. Нельзя забывать и о защите персонала.

Естественно, главное требование к реализации любого метода лучевой терапии — это обеспечение необходимой



численности высококвалифицированного персонала (радиологи, лучевые терапевты, лаборанты, радиохирурги, медицинские физики и инженеры и др.). Например, обслуживание одного ускорителя электронов должно осуществляться одним-двумя инженерами, одним радиологом, одним лучевым терапевтом, одним лаборантом.

В состав радиотерапевтического блока должны входить кабинеты для рентгенотерапии поверхностных заболеваний. Опыт показал, что попытка их замены на источники электронов не всегда себя оправдывает из-за сложности формирования электронного пучка необходимой энергии и поля облучения.

Таким образом, радиотерапевтический блок — это наиболее сложный по объему и набору помещений комплекс, требующий огромных затрат на его проектирование, строительство, оборудование и обслуживание. Следует учесть, что срок эксплуатации оборудования для лучевой терапии не превышает 10-15 лет, после которых его приходится заменять. За это время меняются подходы к созданию этого оборудования, совершенствуется его оснащение. Это требует постоянного повышения квалификации всех сотрудников, работающих в этом комплексе.

### **Контроль за состоянием организма и его систем в процессе лучевого лечения**

Эффективность лучевого лечения зависит от множества факторов, включающих не только обеспечение упомянутых выше технических характеристик, но также и индивидуальную чувствительность больного к применяемому методу лечения, степень повреждения организма и его систем при разных заболеваниях и т. д.

В практике лучевой терапии используют некоторые способы контроля за состоянием патологического очага (изменение размера [16], его плотности [12-14,16] и др.), контроль за состоянием организма по ряду критериев (анализы крови, измерения температуры, общая слабость и др.). Однако все эти параметры не дают достаточно глубокой оценки изменения состояния организма и его систем в процессе курса лучевой терапии. Они не позволяют своевременно заменить курс лучевой терапии, использовать методы медикаментозного и других способов восстановления организма. В результате эффект лучевого лечения колеблется от 10 до 60% [9].

В последнее время в нашей стране появился автоматизированный комплекс — АКС энофит [12, 13, 15, 16 и др.], позволяющий по набору показателей периферической крови, получаемого с помощью анализатора крови, количественно оценивать состояние организма и 11 его систем в процессе лучевой терапии онкологических заболеваний.

Многолетний опыт использования этого комплекса в ФГУРНЦ РР и онкоцентре показал высокую эффективность его использования на примерах лечения рака молочной железы, шейки матки, периферического рака легких, лимфогранулематоза и других заболеваний. Это свидетельствует о необходимости оснащения радиологических отделений этим комплексом. В результате следует констатировать:

- организация радиологических отделений является сложной и дорогостоящей проблемой;
- правильное оснащение радиологического отделения требует привлечения широкого круга профессионалов, позволяющих реализовать этот комп-

лекс на всех этапах его формирования от проектирования до реализации;  
 - многопрофильный характер радиологического отделения необходим для обеспечения возможности лечения поражений разного характера, распространенности, расположения и других специфических свойств, требующих применения разнородных методов хирургического, лучевого и полихимиотерапевтического лечения и их комбинации.

### Литература

1. Давыдов М. И., Долгушин Б. И., Костылев В. А. Концепция проекта «Создание системы онкорadiологических центров». // Мед. физика. 2006, № 2 (30), С. 5-19.
2. Костылев В. А. Обоснование и пути реализации Медицинского атомного проекта. // Мед. физика. 2006, № 4 (32), С. 70-76.
3. Костылев В. А. О развитии и внедрении медицинских ядерно- физических технологий в России. // Мед. физика. 2007, №2 (34), С. 5-17.
4. Костылев В.А. О подготовке медицинских физиков. // Мед. физика. 2007, №3 (35), С. 5-19.
5. Костылев В. А. О научном подходе к планированию и проектированию высокотехнологичных онкорadiологических комплексов. // Мед. физика. 2007, № 4 (36), С. 5-15.
6. Давыдов М. И., Долгушин Б. И., Костылев В. А. О системе высокотехнологичных онкорadiологических центров. // В сб.: «Высокотехнологичные онкорadiологические центры. Научные и методические аспекты». Вып. 1. - М., 2007, С. 5-15.
7. Костылев В.А. Медико-физическое обеспечение высокотехнологичных радиологических комплексов. // В сб.: «Высокотехнологичные онкорadiологические центры. Научные и методические аспекты». Вып. 1 - М., 2007, С. 61-72.
8. Давыдов М. И., Долгушин Б. И., Костылев В. А., Мардынский Ю. С., Ткачев С. И. Радиация и хирургия. Оценка ситуации и взгляд в будущее. //Мед. физика. 2008, №1 (37), С. 5-8.
9. В. А.Костылев. Мед. физика. 2008, № 2, С. 5-18.
10. Б. Я.Наркевич, В. А.Костылев, А. В. Левчук, С. И.Ткачев, Т. В.Юрьева. Радиотерапевтические риски и радиационные аварии в лучевой терапии.
11. Международная классификация болезней (МКБ-10). Разделы С и Д. Женева, 1989.
12. Аспекты клинической дозиметрии. — М., МНПИ, 2007, С. 390.
13. Количественные критерии оценки эффективности лечения рака молочной железы. М. Гарт., 2008, С. 218.
14. В. А. Костылев. Стратегия создания и развития радиотерапевтических центров. Мед. физика. 2008, №4, С. 5-15.
15. Кровь — индикатор состояния организма и его систем. М., 1999, МНПИ, С. 160.
16. Медицинская рентгенология: технические аспекты, клинические материалы, радиационная безопасность. М., МНПИ, 2003, С. 344.