

Физико-технические основы обеспечения качества рентгенотерапевтического оборудования

Аннотация

Рентгенотерапия является одним из разделов клинической радиологии и успешно применяется при многих заболеваниях неонкологического профиля, а также при злокачественных новообразованиях. Однако для данного вида лучевой терапии отсутствуют протоколы гарантии качества. Гарантия качества в лучевой терапии определяется как комплексная программа соблюдения физико-технических, дозиметрических, клинических, кадровых и организационных мероприятий с учетом индивидуальных особенностей организма больного. Она охватывает всю деятельность в радиотерапевтическом учреждении от момента поступления пациента до момента выписки и дальнейшее наблюдение. С точки зрения физико-технического обеспечения, контролю качества на рентгенотерапевтических аппаратах подлежат несколько групп характеристик. Целью рассматриваемой работы является разработка программы гарантии качества для рентгенотерапевтических аппаратов на основании этих характеристик. Исходя из требований к рентгенотерапевтическим аппаратам, предъявляемым в различных публикациях, авторами составлен перечень ежедневных и ежемесячных проверок.

Введение

С разработкой новых высокотехнологичных методов лучевой терапии большое внимание стало уделяться радиационной защите пациентов. В первую очередь она заключается в максимально возможном снижении дозы на нормальные ткани и органы, окружающие мишень. В этих условиях исключительно важным становится контроль качества всего процесса лучевой терапии, включая дозиметрическую калибровку аппаратов, а также всего применяемого оборудования. Большое внимание уделяется гарантии качества аппаратов для гамма-терапии и линейных ускорителей электронов ввиду их многозадачности и сложности, а также развитию новых методик облучения на этих аппаратах [1].

Контроль качества – это оценка функциональных характеристик оборудования, которые в конечном счете влияют на геометрическую и дозиметрическую точность подведения дозы. Эксплуатационные характеристики оборудования могут изменяться внезапно из-за неисправности какой-либо части или механической поломки или могут изменяться медленно из-за изношенности и старения деталей. Ввиду этого следует периодически тестировать все применяемое оборудование и проводить регулярный профилактический дозиметрический контроль.

С точки зрения физико-технического обеспечения, контролю качества на рентгенотерапевтических аппаратах подлежат следующие группы характеристик:

- 1) система радиационной безопасности;
- 2) геометрические характеристики аппарата;
- 3) дополнительные средства, применяемые при облучении;
- 4) характеристики системы управления;
- 5) дозиметрические характеристики, влияющие на отпуск дозы.

Материалы и методы

Авторами настоящей статьи были проанализированы требования, предъявляемые к рентгенотерапевтическим аппаратам. На основании описанных требований была составлена программа гарантии качества, включающая в себя ежедневные и ежемесячные проверки.

Система радиационной безопасности аппарата

В соответствии с классификацией радиационных объектов по потенциальной опасности рентгенотерапевтические кабинеты относятся к IV категории. Система обеспечения радиационной безопасности при проведении рентгенотерапевтических процедур должна предусматривать практическую реализацию трех основополагающих принципов радиационной безопасности: нормирования, обоснования и оптимизации [2].

При включении аппарата контролируется включение ламп, сигнализирующих о начале процедуры облучения. После

выключения аппарата снова контролируется выключение ламп, характеризующих выключенное состояние аппарата. При компьютерном управлении рентгенотерапевтическим аппаратом осуществляется проверка надписей на экране монитора, характеризующих включение и выключение пучка излучения.

Проверка дверных блокировок на входе в процедурное помещение осуществляется дежурным оперативным персоналом перед началом работы аппарата. Проверяются два вида блокирования аппарата:

- 1) после включения аппарата открывается дверь в процедурное помещение. При этом излучение должно выключиться;
- 2) производится попытка запуска процедуры облучения при открытой двери в процедурное помещение. Аппарат не должен включить излучение.

Согласно рекомендациям МАГАТЭ [2], помещение процедурной должно быть достаточно большим для размещения терапевтической установки с полным диапазоном движения лечебного стола. Для предотвращения несанкционированного доступа необходимо установить блокировку двери или другие соответствующие средства [3]. Входная дверь в процедурный кабинет должна легко открываться вручную изнутри и снаружи. Согласно ГОСТ 26140–84 [4], рентгенотерапевтические аппараты должны иметь возможность подключения в цепь управления дверных блокировок, отключающих высокое напряжение при открывании двери в помещении. Повторное включение высокого напряжения должно выполняться только с пульта управления аппарата после закрытия двери.

Пульттовую следует размещать непосредственно за пределами помещения облучения, и она должна обеспечивать видимость двери процедурного кабинета. В пульттовой также должно размещаться все компьютерное оборудование, относящееся к радиотерапевтической установке [5].

Аварийные выключатели располагаются на пульте рентгенотерапевтического аппарата. При проверке кнопки (клавиши) нажимаются при включенном излучении. В результате нажатия кнопки (клавиши) излучение должно быть прервано.

Геометрические характеристики аппарата

При проверке аппараты должны обеспечивать возможность торможения и (или) фиксации отдельных подвижных частей рентгеновских штативных устройств. Перечень подвижных частей, подлежащих торможению или фиксации, с указанием необходимых усилий должен быть установлен в технических условиях на аппараты конкретного типа.

Поскольку выпуск специальных кресел к большинству отечественных рентгенотерапевтических аппаратов не предусмотрен, в клиниках обычно используют стоматологические кресла, в которых легко придать выгодное положение больному и фиксировать его голову. При необходимости лечение может быть проведено при лежащем положении больного [6].

В процессе проверки характеристик кресла или стола, применяемого для размещения пациента, проверяется надежность его креплений.

Дополнительные средства, применяемые при облучении

Рентгенотерапевтический аппарат снабжается дополнительными (вторичными) сменными фильтрами и сменными тубусами, формирующими терапевтический пучок излучения в соответствии с определенными режимами облучения. Рентгенотерапевтические аппараты должны иметь блокировку сменных фильтров – не допускается проведение сеанса облучения без дополнительной фильтрации во избежание переоблучения поверхностных слоев кожи нефилтрованным рентгеновским излучением. Тип (материал и толщина) дополнительного фильтра должен быть виден извне [4]. Поскольку фильтр имеет выпукло-вогнутую форму и установлен в оправу, непосредственное измерение толщины затруднительно [7]. В рутинной практике достаточно проверки целостности фильтра и его фиксации на аппарате.

Комплект тубусов, поставляемых с аппаратом, обеспечивает возможность выбора размера поля облучения в соответствии с размерами и формой патологического очага. Тубусы для рентгенотерапевтических аппаратов должны ослаблять мощность дозы излучения вне прямого пучка до значений, не превышающих 1 % мощности дозы излучения по оси рабочего пучка. Испытание тубусов следует проводить при номинальном анодном напряжении и номинальном токе с применением фильтров. Измерение проводят на всей внешней поверхности тубуса при закрытом заглушкой окне тубуса.

Характеристики системы управления

Согласно ГОСТ 26140–84 [4], все рентгенотерапевтические аппараты должны иметь автоматическое ограничение дозы излучения при помощи реле времени с указанием оставшегося времени облучения (до отключения анодного напряжения). Погрешность выполнения установок времени облучения не должна быть более $\pm 5\%$.

Проверяется правильность показаний таймера для трех значений времени экспозиции: реального времени сеанса облучения на момент проверки, а также для вдвое большего и вдвое меньшего времени. Разница показаний основного и контрольного таймеров, а также момента выключения излучения не должна превышать 1 с для механического таймера и 0,01 мин для электронного. При отсутствии контрольного встроенного таймера проверка осуществляется при помощи переносного аттестованного секундомера.

Аппараты должны иметь устройство регулирования анодного напряжения и анодного тока. Погрешность установки анодного напряжения и анодного тока не должна превышать $\pm 10\%$.

Работоспособность пульта управления или управляющего компьютера проверяется при нескольких экспозициях, различ-

ных комбинациях физических параметров облучения. Программы облучения должны быть выполнены без сбоев и прерываний.

Проверка электрической безопасности аппарата осуществляется специалистами электроучастков учреждений либо соответствующих организаций, обслуживающих лечебное учреждение.

Дозиметрические характеристики, влияющие на отпуск дозы

Для учета физических факторов облучения, необходимых при выборе плана лучевого лечения, и сравнения различных методик облучения, применяемых в рентгенотерапии, должны быть известны следующие параметры:

- качество излучения, определяемое слоем половинного ослабления (СПО) или эффективной энергией квантов ($E_{эфф}$);
- глубинное распределение дозы в облучаемом объеме и величина слоя половинной дозы (СПД);
- геометрические условия облучения, такие как размеры и форма поля облучения (задаваемые формирующим устройством);
- режим облучения (анодное напряжение, сила тока, дополнительный фильтр);
- время выхода на рабочий режим облучения.

Дозиметрическая характеристика рентгенотерапевтического аппарата заключается в указании данных о количестве и качестве рентгеновских лучей, возникающих при различных условиях генерации. Несмотря на то что рентгенотехника имеет дело со сравнительно небольшим числом различных типов аппаратов и трубок, не существует сколько-нибудь единообразных данных по рентгеновской отдаче аппаратов. Причина этого заключается в том, что численные значения отдельных параметров установки оказывают значительное влияние на работу установки и очень затрудняют предсказание численных результатов генерирования излучения [8]. Однако разработаны методики для определения дозиметрических характеристик, влияющих на отпуск дозы на рентгенотерапевтических аппаратах [9], [10].

Результаты

Программа периодического контроля при гарантии качества строится таким образом, чтобы поддерживать характеристики системы лучевой терапии на уровне ее рабочих стандартов. Обычно программа включает в себя тесты, подобные базовому тестированию при сдаче в клиническую эксплуатацию нового аппарата. Тип и частота проверок диктуются в первую очередь вероятностью проявления ошибок в работе системы, их клиническими последствиями и временем, требуемым для проведения тестов.

В случае отсутствия формальных стандартов возможно на основании литературных данных, руководств по эксплуатации фирм-производителей, опыта пользователей оборудования для лучевой терапии разработать собственную программу гаран-

Дата	Контролируемая характеристика										Месяц	Год
	Пульт управления	Блокировка фильтра	Блокировка двери	Блокировка охлаждения	Аварийная кнопка	Аварийное освещение	Система охлаждения	Вращение по осям	Фиксация по осям вращения	Фиксация кресла	Фамилия И.О. медицинского физика	Подпись

Примечания:

Рис. 1. Протокол ежедневных проверок на рентгенотерапевтическом аппарате

тии качества. Любая программа гарантии качества должна пересматриваться с некоторой периодичностью с целью включения идей из новых протоколов и оптимизации ее структуры.

На основании перечисленных выше категорий характеристик рентгенотерапевтических аппаратов, разработанных протоколов для гамма-терапевтических аппаратов, линейных ускорителей, компьютерных томографов, а также ряда других статей и рекомендаций по контролю параметров рентгеновских установок автором была разработана программа ежедневного и ежемесячного тестирования рентгенотерапевтических аппаратов для отделений лучевой терапии.

Периодический контроль подразделяется на ежедневный, ежемесячный и годовой. Каждый из видов контроля включает в себя проверку ряда характеристик, осуществляемую:

- при ежедневном контроле – медицинским персоналом отделений лучевой терапии, работающим на аппарате (оператор или техник), при необходимости совместно с медицинскими физиками отделения;
- при ежемесячном контроле – медицинскими физиками отделения;
- при годовом контроле – медицинскими физиками отделения совместно с техниками обслуживающей организации. Программа годового контроля зависит от производителя и модели аппарата.

Результаты проверок заносятся в протоколы, формы которых представлены на рис. 1 и 2.

Выводы

Контроль качества рентгенотерапевтических аппаратов медицинскими физиками отделения не подменяет техническое обслуживание аппарата, которое осуществляется в соответствии с техническими требованиями, изложенными в инструкции по эксплуатации. Проведение ежемесячного и годового контроля качества работы аппаратов не отменяет ежедневного контроля. Спектр проверок, входящих в состав годового контроля, зависит от модели аппарата, а также от требований завода-производителя.

Список литературы:

1. Артемова Н.А., Минайло И.И., Тарутин И.Г. Программа гарантии качества лучевой терапии // Онкологический журнал. 2007. Т. 1. № 1. С. 24-42.

2. Разработка программы лучевой терапии: аспекты клинической практики, медицинской физики, радиационной защиты и безопасности. – Вена: МАГАТЭ, 2015. 268 с.
3. Тарутин И.Г., Титович Е.В., Гацкевич Г.В. Радиационная защита в лучевой терапии. – Минск: Litres, 2017. 212 с.
4. ГОСТ 26140–84 Аппараты рентгеновские медицинские. Общие технические условия.
5. СанПиН 2.6.1.1192–03 Гигиенические требования к устройству и эксплуатации рентгеновских кабинетов, аппаратов и проведению рентгенологических исследований.
6. Лучевая терапия на короткодистанционном аппарате РУМ-21М. Метод. рекомендации / М-во здравоохранения СССР, Упр. онкол. помощи Гл. упр. лечеб.-профилактик. помощи [сост. Подляшук Е.Л. и др.]. – М., 1986. 15 с.
7. Васильев В.Н., Коконцев А.А. Дозиметрия излучения рентгенотерапевтического аппарата «Рентген ТА-02» // Медицинская физика. 2008. № 4. С. 20-28.
8. Аглинцев К.К. Основы дозиметрии ионизирующих излучений. – Л.: Медгиз, 1954. 288 с.
9. Andreo P. et al. IAEA TRS-398 – Absorbed dose determination in external beam radiotherapy: An international code of practice for dosimetry based on standards of absorbed dose to water / International Atomic Energy Agency, 2000.
10. Ma C.M. et al. AAPM protocol for 40-300 kV x-ray beam dosimetry in radiotherapy and radiobiology // Medical Physics. 2001. Vol. 28. № 6. PP. 868-893.

Сергей Алексеевич Смолин,
 медицинский физик отделения радиотерапии,
 ГБУЗ «Областной онкологический диспансер»,
 аспирант,
 кафедра медицинской и биологической физики,
 ФГБОУ ВО «Иркутский государственный
 медицинский университет» Минздрава России,
 Елена Викторовна Шевченко,
 д-р биолог. наук, профессор,
 зав. кафедрой медицинской и биологической физики,
 ФГБОУ ВО «Иркутский государственный
 медицинский университет» Минздрава России,
 г. Иркутск,
 e-mail: millennium_s@mail.ru

Контролируемый параметр	Допустимое отклонение	Январь	Февраль	Март
Фильтры				
Тубусы				
Движение рентгеновской трубки				
Точность работы таймера	1 с			
Стабильность тока	0,1 мА			
Стабильность напряжения	1 кВ			
Электрическая безопасность				
Герметичность системы охлаждения				
Мощность дозы на поверхности				
Дата				
Фамилия И.О. медицинского физика				
Подпись				

Рис. 2. Протокол ежемесячных проверок на рентгенотерапевтическом аппарате