

**СЕРИЯ ИЗДАНИЙ МАГАТЭ ПО ЗДОРОВЬЮ ЧЕЛОВЕКА**

**№ 47**

**Справочник  
по основным тестам  
контроля качества  
в лучевой диагностике**



**IAEA**

Международное агентство по атомной энергии

## ПУБЛИКАЦИИ СЕРИИ ИЗДАНИЙ МАГАТЭ ПО ЗДОРОВЬЮ ЧЕЛОВЕКА

Мандат программы МАГАТЭ в области здоровья человека вытекает из статьи II его Устава, которая гласит, что «Агентство стремится к достижению более скорого и широкого использования атомной энергии для поддержания мира, здоровья и благосостояния во всем мире». Основная задача программы в области здоровья человека — расширение возможностей государств — членов МАГАТЭ для решения вопросов профилактики, диагностики и лечения заболеваний посредством разработки и применения ядерных методов на основе обеспечения качества.

В публикациях Серии изданий МАГАТЭ по здоровью человека содержится информация из следующих областей: радиационная медицина, включая лучевую диагностику, диагностическую и терапевтическую ядерную медицину и лучевую терапию, дозиметрия и медицинская радиационная физика и методы стабильных изотопов и другие ядерные применения в питании. Публикации имеют широкую читательскую аудиторию и рассчитаны на практикующих врачей, исследователей и других специалистов. В подготовке и рецензировании этих публикаций Секретариату МАГАТЭ оказывают помощь международные эксперты. Некоторые публикации этой серии могут также получать одобрение международных организаций и профессиональных обществ, работающих в соответствующих областях, или подготавливаться в соавторстве с ними.

В этой серии выделяются две категории публикаций:

### СЕРИЯ ИЗДАНИЙ МАГАТЭ ПО ЗДОРОВЬЮ ЧЕЛОВЕКА

В публикациях этой категории представлен анализ или приводится информация рекомендательного характера, например руководящие принципы, нормы и стандарты практики; в нее также входят пособия по обеспечению качества. В этой серии также издаются монографии и образовательные материалы высокого уровня, например для программ послеузовской подготовки.

### ДОКЛАДЫ МАГАТЭ ПО ЗДОРОВЬЮ ЧЕЛОВЕКА

Доклады по здоровью человека дополняют информацию, публикуемую в Серии изданий МАГАТЭ по здоровью человека, в таких областях, как радиационная медицина, дозиметрия и медицинская радиационная физика, а также питание. Эти публикации включают в себя отчеты технических совещаний, результаты проектов координированных исследований МАГАТЭ, промежуточные доклады о реализации проектов МАГАТЭ и образовательные материалы, подготавливаемые для учебных курсов МАГАТЭ по тематике здоровья человека. В некоторых случаях в этих докладах может содержаться дополнительный материал к публикациям, выходящим в Серии изданий МАГАТЭ по здоровью человека.

Все эти публикации можно бесплатно загрузить с веб-сайта МАГАТЭ:

<https://www.iaea.org/ru/publikacii>

За дополнительной информацией просьба обращаться в:

Marketing and Sales Unit  
International Atomic Energy Agency  
Vienna International Centre  
PO Box 100  
1400 Vienna, Austria

Читателям предлагается делиться своими впечатлениями от этих публикаций. Информацию можно направлять через веб-сайт МАГАТЭ, по почте на указанный выше адрес либо по электронной почте:

[Official.Mail@iaea.org](mailto:Official.Mail@iaea.org).

СПРАВОЧНИК  
ПО ОСНОВНЫМ ТЕСТАМ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА  
В ЛУЧЕВОЙ ДИАГНОСТИКЕ

Членами Международного агентства по атомной энергии являются следующие государства:

|   |  |  |
|---|--|--|
| АВСТРАЛИЯ                                 | ЙЕМЕН  | ПОЛЬША   |
| АВСТРИЯ                                   | КАБО-ВЕРДЕ   | ПОРТУГАЛИЯ   |
| АЗЕРБАЙДЖАН                               | КАЗАХСТАН  | РЕСПУБЛИКА МОЛДОВА   |
| АЛБАНИЯ                                   | КАМБОДЖА   | РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ   |
| АЛЖИР                                     | КАМЕРУН  | РУАНДА   |
| АНГОЛА                                    | КАНАДА   | РУМЫНИЯ  |
| АНТИГУА И БАРБУДА                         | КАТАР  | САЛЬВАДОР  |
| АРГЕНТИНА                                 | КЕНИЯ  | САМОА  |
| АРМЕНИЯ                                   | КИПР   | САН-МАРИНО   |
| АФГАНИСТАН                                | КИТАЙ  | САУДОВСКАЯ АРАВИЯ  |
| БАГАМСКИЕ ОСТРОВА                         | КОЛУМБИЯ   | СВЯТОЙ ПРЕСТОЛ   |
| БАНГЛАДЕШ                                 | КОМОРСКИЕ ОСТРОВА                                  | СЕВЕРНАЯ МАКЕДОНИЯ   |
| БАРБАДОС                                  | КОНГО  | СЕЙШЕЛЬСКИЕ ОСТРОВА  |
| БАХРЕЙН                                   | КОРЕЯ, РЕСПУБЛИКА                                  | СЕНЕГАЛ  |
| БЕЛАРУСЬ                                  | КОСТА-РИКА   | СЕНТ-ВИНСЕНТ И ГРЕНАДИНЫ   |
| БЕЛИЗ                                     | КОТ-Д'ИВУАР  | СЕНТ-КИТС И НЕВИС  |
| БЕЛЬГИЯ                                   | КУБА   | СЕНТ-ЛЮСИЯ   |
| БЕНИН                                     | КУВЕЙТ   | СЕРБИЯ   |
| БОЛГАРИЯ                                  | КЫРГЫЗСТАН   | СИНГАПУР   |
| БОЛИВИЯ, МНОГОНАЦИОНАЛЬНОЕ<br>ГОСУДАРСТВО | ЛАОССКАЯ НАРОДНО-<br>ДЕМОКРАТИЧЕСКАЯ<br>РЕСПУБЛИКА | СИРИЙСКАЯ АРАБСКАЯ<br>РЕСПУБЛИКА                                 |
| БОСНИЯ И ГЕРЦЕГОВИНА                      | ЛАТВИЯ   | СЛОВАКИЯ   |
| БОТСВАНА                                  | ЛЕСОТО   | СЛОВЕНИЯ   |
| БРАЗИЛИЯ                                  | ЛИБЕРИЯ  | СОЕДИНЕННОЕ КОРОЛЕВСТВО<br>ВЕЛИКОБРИТАНИИ И СЕВЕРНОЙ<br>ИРЛАНДИИ |
| БРУНЕЙ-ДАРУССАЛАМ                         | ЛИВАН  | СОЕДИНЕННЫЕ ШТАТЫ АМЕРИКИ  |
| БУРКИНА-ФАСО                              | ЛИВИЯ  | СУДАН  |
| БУРУНДИ                                   | ЛИТВА  | СЬЕРРА-ЛЕОНЕ   |
| ВАНУАТУ                                   | ЛИХТЕНШТЕЙН  | ТАДЖИКИСТАН  |
| ВЕНГРИЯ                                   | ЛЮКСЕМБУРГ   | ТАИЛАНД  |
| ВЕНЕСУЭЛА, БОЛИВАРИАНСКАЯ<br>РЕСПУБЛИКА   | МАВРИКИЙ   | ТОГО   |
| ВЬЕТНАМ                                   | МАВРИТАНИЯ   | ТОНГА  |
| ГАБОН                                     | МАДАГАСКАР   | ТРИНИДАД И ТОБАГО  |
| ГАИТИ                                     | МАЛАВИ   | ТУНИС  |
| ГАЙАНА                                    | МАЛАЙЗИЯ   | ТУРКМЕНИСТАН   |
| ГАМБИЯ                                    | МАЛИ   | ТУРЦИЯ   |
| ГАНА                                      | МАЛЬТА   | УГАНДА   |
| ГВАТЕМАЛА                                 | МАРОККО  | УЗБЕКИСТАН   |
| ГВИНЕЯ                                    | МАРШАЛЛОВЫ ОСТРОВА                                 | УКРАИНА  |
| ГЕРМАНИЯ                                  | МЕКСИКА  | УРУГВАЙ  |
| ГОНДУРАС                                  | МОЗАМБИК   | ФИДЖИ  |
| ГРЕНАДА                                   | МОНАКО   | ФИЛИППИНЫ  |
| ГРЕЦИЯ                                    | МОНГОЛИЯ   | ФИНЛЯНДИЯ  |
| ГРУЗИЯ                                    | МЬЯНМА   | ФРАНЦИЯ  |
| ДАНИЯ                                     | НАМИБИЯ  | ХОРВАТИЯ   |
| ДЕМОКРАТИЧЕСКАЯ РЕСПУБЛИКА<br>КОНГО       | НЕПАЛ  | ЦЕНТРАЛЬНОАФРИКАНСКАЯ<br>РЕСПУБЛИКА                              |
| ДЖИБУТИ                                   | НИГЕР  | ЧАД  |
| ДОМИНИКА                                  | НИГЕРИЯ  | ЧЕРНОГОРИЯ   |
| ДОМИНИКАНСКАЯ РЕСПУБЛИКА                  | НИДЕРЛАНДОВ, КОРОЛЕВСТВО                           | ЧЕШСКАЯ РЕСПУБЛИКА   |
| ЕГИПЕТ                                    | НИКАРАГУА  | ЧИЛИ   |
| ЗАМБИЯ                                    | НОВАЯ ЗЕЛАНДИЯ                                     | ШВЕЙЦАРИЯ  |
| ЗИМБАБВЕ                                  | НОРВЕГИЯ   | ШВЕЦИЯ   |
| ИЗРАИЛЬ                                   | ОБЪЕДИНЕННАЯ РЕСПУБЛИКА<br>ТАНЗАНИЯ                | ШРИ-ЛАНКА  |
| ИНДИЯ                                     | ОБЪЕДИНЕННЫЕ АРАБСКИЕ<br>ЭМИРАТЫ                   | ЭКВАДОР  |
| ИНДОНЕЗИЯ                                 | ОМАН   | ЭРИТРЕЯ  |
| ИОРДАНИЯ                                  | ПАКИСТАН   | ЭСВАТИНИ   |
| ИРАК                                      | ПАЛАУ  | ЭСТОНИЯ  |
| ИРАН, ИСЛАМСКАЯ РЕСПУБЛИКА                | ПАНАМА   | ЭФИОПИЯ  |
| ИРЛАНДИЯ                                  | ПАПУА — НОВАЯ ГВИНЕЯ                               | ЮЖНАЯ АФРИКА   |
| ИСЛАНДИЯ                                  | ПАРАГВАЙ   | ЯМАЙКА   |
| ИСПАНИЯ                                   | ПЕРУ   | ЯПОНИЯ   |
| ИТАЛИЯ                                    |  |  |

Устав Агентства был утвержден 23 октября 1956 года на Конференции по выработке Устава МАГАТЭ, которая состоялась в Центральных учреждениях Организации Объединенных Наций в Нью-Йорке. Устав вступил в силу 29 июля 1957 года. Центральные учреждения Агентства находятся в Вене. Главной целью Агентства является достижение «более скорого и широкого использования атомной энергии для поддержания мира, здоровья и благосостояния во всем мире».

СЕРИЯ ИЗДАНИЙ МАГАТЭ ПО ЗДОРОВЬЮ  
ЧЕЛОВЕКА, № 47

СПРАВОЧНИК  
ПО ОСНОВНЫМ ТЕСТАМ  
КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА  
В ЛУЧЕВОЙ ДИАГНОСТИКЕ

ОДОБРЕНО  
АМЕРИКАНСКОЙ АССОЦИАЦИЕЙ ФИЗИКОВ В МЕДИЦИНЕ,  
ЕВРОПЕЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИЕЙ ОРГАНИЗАЦИЙ  
МЕДИЦИНСКОЙ ФИЗИКИ  
И МЕЖДУНАРОДНЫМ ОБЩЕСТВОМ РЕНТГЕНОЛОГОВ  
И ТЕХНИКОВ-РАДИОЛОГОВ

МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ  
ВЕНА, 2024

## УВЕДОМЛЕНИЕ ОБ АВТОРСКОМ ПРАВЕ

Все научные и технические публикации МАГАТЭ защищены положениями Всемирной конвенции об авторском праве, принятой в 1952 году (Берн) и пересмотренной в 1972 году (Париж). Впоследствии авторские права были распространены Всемирной организацией интеллектуальной собственности (Женева) также на интеллектуальную собственность в электронной и виртуальной форме. Для полного или частичного использования текстов, содержащихся в печатных или электронных публикациях МАГАТЭ, должно быть получено разрешение, которое обычно оформляется соглашениями типа роялти. Предложения о некоммерческом воспроизведении и переводе приветствуются и рассматриваются в каждом случае в отдельности. Вопросы следует направлять в Издательскую секцию МАГАТЭ по адресу:

Группа маркетинга и сбыта (Marketing and Sales Unit)  
Издательская секция  
Международное агентство по атомной энергии  
Венский международный центр,  
а/я 100,  
А1400 Вена, Австрия  
Факс: +43 1 26007 22529  
Тел.: +43 1 2600 22417  
Эл. почта: [sales.publications@iaea.org](mailto:sales.publications@iaea.org)  
<https://www.iaea.org/ru/publikacii>

© МАГАТЭ, 2024

Отпечатано МАГАТЭ в Австрии

Май, 2024

STI/PUB/2021

СПРАВОЧНИК ПО ОСНОВНЫМ ТЕСТАМ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА В  
ЛУЧЕВОЙ ДИАГНОСТИКЕ  
МАГАТЭ, ВЕНА, 2024 ГОД  
STI/PUB/2021

ISBN 978-92-0-427223-9 (печатный формат)

ISBN 978-92-0-427023-5 (формат pdf) 978-92-0-427123-2 (формат epub)

ISSN 2788-4228

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Современная медицина, бесспорно, не существовала бы в ее нынешнем виде без рентгеновского излучения, которое широко используется для диагностики и лечения пациентов. В последние годы технологии медицинской визуализации бурно развивались, уверенно переходя от аналоговой рентгенологии к цифровой, от однослойной компьютерной томографии к многодетекторной компьютерной томографии, и от рентгеноскопии к сложным и высокотехнологичным ангиографическим системам. При проведении диагностической процедуры физические свойства пучков рентгеновского излучения используются для постановки диагноза или для проводки инвазивных устройств при выполнении интервенционных процедур в теле человека. Простая ошибка или неисправность рентгеновской системы может отрицательно сказаться на здоровье пациентов.

В соответствии с этим принципом в отношении рентгеновских аппаратов должен осуществляться постоянный мониторинг в рамках строгой системы контроля качества. Тесты контроля качества дают своего рода «моментальные снимки» показателей работы рентгеновского оборудования, которые помогают обеспечить его оптимальную работу в соответствии с клинической задачей, что позволяет получать диагностическую информацию требуемого качества при минимальном воздействии на пациента. Эти тесты также помогают медицинским учреждениям ответственно распоряжаться инвестициями в рентгеновское оборудование, поскольку на закупку и техническое обслуживание этих систем может уходить значительная часть их бюджета.

Во многих странах значительное количество рентгеновских систем, используемых в отделениях лучевой диагностики (диагностической радиологии), не охвачены регулярной программой обеспечения качества. Главным образом это связано с нехваткой специалистов, прошедших подготовку по обеспечению качества, дозиметрическому тестированию и детальной оценке показателей работы рентгеновских систем, а также с отсутствием соответствующих руководящих наставлений. Для решения этой проблемы МАГАТЭ организовало ряд проектов технического сотрудничества, направленных на повышение компетентности в создании и укреплении систем обеспечения качества и контроля качества в рентгенодиагностике и в применении передовых методов обеспечения качества и безопасности в лучевой диагностике. Настоящая публикация является результатом проведения двух семинаров-практикумов в Вене с участием специалистов из европейских стран и представителей профессиональных обществ, таких как Американская ассоциация физиков

в медицине, Европейская федерация организаций медицинской физики и Международное общество рентгенологов и техников-радиологов. Основной целью этих семинаров-практикумов была разработка справочника по согласованным процедурам контроля качества оборудования для лучевой диагностики на основе имеющихся материалов с учетом последних достижений в данной области.

Настоящая публикация была одобрена Американской ассоциацией физиков в медицине, Европейской федерацией организаций медицинской физики и Международным обществом рентгенологов и техников-радиологов. Ответственными за публикацию сотрудниками МАГАТЭ были Х. Делис и В. Цапаки из Отдела здоровья человека.

### *РЕДАКЦИОННОЕ ПРИМЕЧАНИЕ*

*Хотя для обеспечения точности информации, содержащейся в настоящей публикации, были приложены большие усилия, ни МАГАТЭ, ни его государства-члены не несут ответственности за последствия, которые могут возникнуть в результате ее использования.*

*В настоящем докладе не затрагиваются вопросы ответственности — юридической или иного рода — за действия или бездействие со стороны какого-либо лица.*

*Данные здесь руководящие указания с описанием положительной практики отражают мнение экспертов и не являются рекомендациями, сформулированными на основе консенсуса государствами-членами.*

*Использование тех или иных названий стран или территорий не означает какого-либо суждения со стороны издателя — МАГАТЭ — относительно правового статуса таких стран или территорий, их органов и учреждений либо относительно определения их границ.*

*Упоминание названий конкретных компаний или продуктов (независимо от того, указаны ли они как зарегистрированные) не означает какого-либо намерения нарушить права собственности и не должно рассматриваться как одобрение или рекомендация со стороны МАГАТЭ.*

*МАГАТЭ не несет ответственности за постоянство и точность приводимых в настоящей публикации адресов сайтов внешних или третьих сторон и не гарантирует того, что информационное наполнение таких сайтов является или останется точным и релевантным.*



## СОДЕРЖАНИЕ

|      |   |     |
|------|---|-----|
| 1.   | ВВЕДЕНИЕ .....  | 1   |
| 1.1. | Общие положения .....   | 1   |
| 1.2. | Цель .....  | 2   |
| 1.3. | Область применения .....  | 2   |
| 1.4. | Структура .....   | 3   |
| 2.   | РЕНТГЕНОГРАФИЯ .....  | 3   |
| 2.1. | Тесты контроля качества, выполняемые рентгенологами                 | 4   |
| 2.2. | Тесты контроля качества, выполняемые<br>медицинскими физиками ..... | 19  |
| 3.   | АППАРАТЫ ДЛЯ РЕНТГЕНОСКОПИИ И АНГИОГРАФИИ                           | 74  |
| 3.1. | Тесты контроля качества, выполняемые рентгенологами .               | 74  |
| 3.2. | Тесты контроля качества, выполняемые<br>медицинскими физиками ..... | 77  |
| 4.   | МАММОГРАФИЯ .....   | 94  |
| 4.1. | Тесты контроля качества, выполняемые рентгенологами .               | 95  |
| 4.2. | Тесты контроля качества, выполняемые<br>медицинскими физиками ..... | 101 |
| 5.   | КОМПЬЮТЕРНАЯ ТОМОГРАФИЯ .....                                       | 148 |
| 5.1. | Тесты контроля качества, выполняемые рентгенологами .               | 149 |
| 5.2. | Тесты контроля качества, выполняемые<br>медицинскими физиками ..... | 158 |
| 6.   | ТЕСТЫ ДЛЯ ВСЕХ СИСТЕМ ЛУЧЕВОЙ ДИАГНОСТИКИ                           | 176 |
| 6.1. | Тесты контроля качества, выполняемые рентгенологами                 | 176 |
| 6.2. | Тесты контроля качества, выполняемые<br>медицинскими физиками ..... | 185 |
| 6.3. | Документация .....  | 188 |
| 6.4. | Программное обеспечение для управления дозой .....                  | 190 |

|  |     |
|--|-----|
| 7. ПЛЕНОЧНО-ЭКРАННЫЕ СИСТЕМЫ .....                       | 192 |
| 7.1. Тесты контроля качества, выполняемые рентгенологами | 192 |
| ДОПОЛНЕНИЕ .....   | 209 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....                   | 231 |
| СОКРАЩЕНИЯ .....   | 235 |
| СОСТАВИТЕЛИ И РЕЦЕНЗЕНТЫ .....                           | 237 |

# 1. ВВЕДЕНИЕ

## 1.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Лучевая диагностика (диагностическая радиология), существует уже более ста лет и представляет собой один из самых мощных инструментов, используемых в современной медицине, поскольку эффективное лечение тесно связано со своевременной и точной диагностикой. Необходимо контролировать показатели работы медицинского оборудования, создающего ионизирующее излучение, чтобы обеспечить его безопасное и эффективное использование [1]. Этот процесс начинается с базового контроля качества (КК) и далее распространяется на комплексные системы менеджмента качества, в которую интегрированы все аспекты лечения пациентов [2].

КК представляет собой базовый элемент менеджмента качества и включает набор операций, используемых для поддержания или повышения качества [3]. Подразумевается, что КК является отражением функциональных характеристик продукта или услуги и может быть использован для верификации соответствия продукта или услуги предъявляемым требованиям.

На современном этапе лучевой диагностики для обеспечения оптимальных результатов необходима более эффективная организация работы. КК — это лишь один из элементов комплексной программы обеспечения качества (ОК), целью которой является обеспечение последовательного выполнения требований к качеству продукта или услуги во всех аспектах. Использование комплексной системы ОК начинается еще до закупки оборудования, поскольку покупке предшествуют оценка потребностей и разработка спецификаций. Эти компоненты необходимо оценивать в плане их интеграции в систему ОК.

Комплексная система менеджмента качества, будучи дальнейшим усовершенствованием системы ОК, может обеспечить для лучевой диагностики дополнительные преимущества. Согласованная политика, процедуры и элементы, такие как формулирование задачи и надлежаще подготовленные должностные инструкции, могут обеспечить ясность и последовательность предоставляемых услуг, что позволяет улучшить получаемые результаты и обеспечить прочную платформу для повышения качества.

МАГАТЭ содействует распространению этого комплексного подхода к обеспечению качества диагностической визуализации и поддерживает разработку соответствующих рекомендаций для персонала и подготовку

кадров по соблюдению стандартов качества. Проекты технического сотрудничества МАГАТЭ RER/6/032 («Укрепление обеспечения качества и контроля качества в рентгенодиагностике») и RER/6/028 («Введение мер по обеспечению качества/контроля качества в рентгенодиагностике») были направлены на повышение компетентности и внедрение процедур обеспечения качества и контроля качества в рентгенодиагностике с использованием передового опыта применительно к обеспечению качества и безопасности в лучевой диагностике. Настоящий справочник основан на результатах осуществления указанных проектов технического сотрудничества.

## 1.2. ЦЕЛЬ

Целью настоящего справочника является опубликование руководящих материалов по внедрению передовой практики, в которых сведена воедино детальная информация о тестах по контролю качества (КК), содержащаяся в других публикациях. Справочник представляет собой свод тестов, позволяющих выявить ключевые проблемы, связанные с рентгеновскими аппаратами, используемыми в отделении лучевой диагностики, и содержит краткое описание минимального рекомендуемого набора этих тестов на основе ресурсно-стратифицированного подхода. В более сложных программах ОК рекомендуется применять также другие процедуры КК, такие как более сложные тесты КК, анализ отбраковки снимков и выявление артефактов на снимках пациентов.

Представленные здесь руководящие наставления представляют собой изложение передовой практики и отражают экспертное мнение, но не являются рекомендациями, основанными на консенсусе, достигнутом государствами-членами.

## 1.3. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

В настоящем справочнике основное внимание уделяется приемочным испытаниям и регламентным (рутинным) тестам для контроля эффективности функционирования, таким как тесты для оценки состояния и тесты на постоянство параметров. Приводится описание регламентных (рутинных) тестов на эффективность функционирования, предназначенных для применения в рентгенографии, рентгеноскопии, ангиографии, маммографии и компьютерной томографии (КТ). Для этих тестов используются исключительно недорогостоящие приборы, воспроизводимые

и известные объекты (фантомы) и тест-объекты. Настоящая публикация содержит краткое справочное руководство по проведению каждого теста и информацию о распространенных проблемах и ошибках, способных влиять на результаты или оценку результатов теста. Пользователям настоящего справочника рекомендуется анализировать приведенные процедуры КК и разрабатывать и применять расширенные тесты в отделении медучреждения, в котором они работают, а также корректировать периодичность проведения тестов в соответствии с накопленным опытом и показателями стабильности работы данного рентгеновского оборудования.

#### 1.4. СТРУКТУРА

Настоящий справочник имеет разделы, в каждом из которых рассматривается определенный метод визуализации. Раздел 1 представляет собой введение в предмет. В разделе 2 описываются тесты КК, применяемые в рентгенографии, в разделе 3 — тесты, предназначенные для применения в рентгеноскопии и ангиографии, в разделе 4 — в маммографии и в разделе 5 — в компьютерной томографии. В разделе 6 приводится описание общих тестов для всех методов визуализации, а в разделе 7 изложены тесты, предназначенные для пленочно-экранных систем. И, наконец, в дополнении дана сводная таблица тестов.

Тесты подразделены на категории в зависимости от специализации персонала, ответственного за их выполнение: квалифицированные медицинские техники-радиологи (рентгенологи) или медицинские физики. Поскольку ОК — это командная работа, настоятельно рекомендуется, чтобы внедрением программы ОК в отделении медучреждения занималась группа опытных специалистов в составе врача-рентгенолога, рентгентехника и медицинского физика.

## 2. РЕНТГЕНОГРАФИЯ

В данном разделе изложены требования, предъявляемые к регламентным (рутинным) тестам контроля качества для компьютерной рентгенографии и цифровых рентгенографических систем. Последние также называют цифровой рентгенографией или прямой цифровой рентгенографией. Основной целью этих тестов является верификация стабильности работы оборудования. Предполагается, что на этапе такого

тестирования приемочные испытания и тесты по вводу в эксплуатацию были выполнены и что исходные значения были определены. Описанные ниже процедуры тестов являются примерными и служат в качестве ориентира для выполняющего их квалифицированного персонала. Некоторые из приведенных тестов могут также применяться для контроля рентгеноскопического (флюороскопического) оборудования.

## 2.1. ТЕСТЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА, ВЫПОЛНЯЕМЫЕ РЕНТГЕНОЛОГАМИ

### 2.1.1. Совмещение и центрирование пучка рентгеновского излучения

#### 2.1.1.1. Описание и цель

Неправильное совмещение и центрирование пучка может сказаться на рентгенографическом изображении. Установленное световое поле должно хорошо совмещаться с площадью рентгеновского пучка, чтобы ограничить поле облучения необходимым размером и не пропустить ни одной детали из-за возможных смещений. Таким образом, задачей данного теста является обеспечение совмещения и согласования коллимированного светового поля с полем рентгеновского излучения. Еще одним аспектом является совмещение перекрестия коллимированного светового луча с центром пучка рентгеновского излучения, который является исходной точкой изображения [4, 5].

#### 2.1.1.2. Оборудование

Для проведения тестов используются:

- а) соответствующий тест-объект для совмещения рентгеновского пучка и светового поля. Для теста на совмещение можно также использовать монеты или другие металлические предметы;
- б) цилиндр с аттенуатором в центре или другой тест-объект, который может быть использован для оценки перпендикулярного падения пучка на приемник изображения.

### 2.1.1.3. Процедура

При проведении тестов на совмещение и центрирование поля рентгеновского излучения с применением коммерчески доступного тест-объекта или монет применяются следующие процедуры:

- a) использование коммерчески доступного тест-объекта:
  - i) поместить приемник изображения на плоскую поверхность и установить ось рентгеновской трубки перпендикулярно изображению;
  - ii) поместить тест-объект на детекторе изображения так, чтобы цилиндр находился в центре перекрестия светового пучка (рис. 1);
  - iii) установить расстояние от источника до приемника изображения (SID), равное 100 см. Можно также использовать другое SID, но при значении 100 см легче интерпретировать результаты;
  - iv) использовать световое поле и маркировку на тест-объекте для точного совмещения поля;
  - v) провести облучение с параметрами 50 кВ и 3 мА·с или со значениями, рекомендованными медицинским физиком;
- b) использование монет:
  - i) поместить приемник изображения на плоскую поверхность и установить ось рентгеновской трубки перпендикулярно изображению;

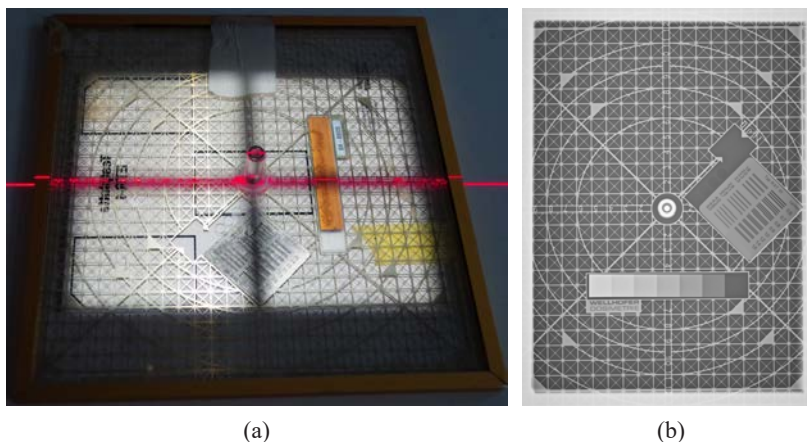


Рис. 1. (a) Конфигурация для совмещения и центрирования пучка рентгеновского излучения; (b) рентгеновское изображение тест-объекта, используемого для совмещения и центрирования пучка рентгеновского излучения.

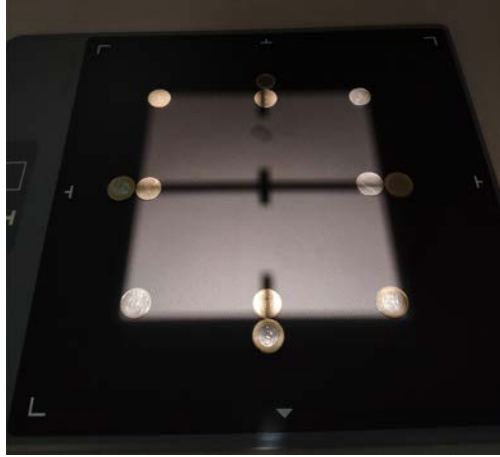


Рис. 2. Схема теста для совмещения пучка рентгеновского излучения с помощью монет.

- ii) расположить детектор изображения на SID 100 см;
- iii) отрегулировать коллимацию светового пучка в небольшом поле на детекторе изображения (например,  $20 \times 20$  см). Площадь приемника изображения должна быть больше светового поля;
- iv) поместить металлические метки (например, монеты) по каждому краю светового поля; отметить монетами угол светового поля (рис. 2);
- v) произвести экспозицию, используя параметры облучения 50 кВ и 3 мА·с или значения, рекомендованные медицинским физиком.

#### 2.1.1.4. Анализ и интерпретация

Для анализа и интерпретации результатов тестов используются следующие процедуры:

- a) совмещение поля рентгеновского излучения:  
измерить расстояние между краями изображения и отметками на тест-объекте или монетами;
- b) центрирование:  
оценить отклонение перекрестия светового пучка от центра рентгеновского пучка в соответствии со спецификациями изготовителя тест-объекта.



#### 2.1.1.5. *Исходные значения и допуски*

Используются следующие исходные значения и допуски:

- a) совмещение поля рентгеновского излучения:  
убедиться в том, что отклонение поля рентгеновского излучения от светового поля не превышает  $\pm 2$  см с любой стороны при SID 100 см или  $\pm 2\%$  при любом другом SID;
- b) центрирование:  
убедиться в том, что совпадение перекрестия светового пучка коллиматора с центром рентгеновского пучка не превышает  $\pm 1$  см при SID = 100 см.

#### 2.1.1.6. *Периодичность*

Данный тест выполняется 1 раз в три-шесть месяцев.

#### 2.1.1.7. *Корректирующие действия*

В случае превышения допуска, указанного в разделе 2.1.1.4, следует выполнить следующие действия:

- a) проверить геометрию схем измерения и повторить тест;
- b) если смещение сохраняется, попросить медицинского физика провести более тщательное исследование проблемы. Недорогим решением для тестирования могут стать флуоресцентные экраны (из старой кассеты), монеты или другие маркеры, а также использование мобильного телефона с функцией видеозаписи. В качестве альтернативы можно использовать самопроявляющуюся пленку;
- c) если при повторении этого теста наблюдается та же закономерность, следует обеспечить, чтобы сервисный инженер отрегулировал устройство ограничения пучка;
- d) если смещение происходит случайным образом, проверить, нет ли заметного провисания кабеля.

### 2.1.2. **Расстояния и масштабы**

#### 2.1.2.1. *Описание и цель*

Целью данного теста является определение точности индикатора SID рентгеновской системы. Этот тест играет важную роль для

рентгенографической визуализации и при использовании программного обеспечения для контроля дозы, поскольку показание расстояния может использоваться в качестве входных данных для определения расстояния от фокусного пятна до входной поверхности (кожи) [4].

#### *2.1.2.2. Оборудование*

Оборудование, необходимое для проведения теста: длинная линейка или мерная лента длиной не менее 100 см.

#### *2.1.2.3. Процедура*

Для проведения теста применяется следующая процедура:

- a) установить SID на 100 см с помощью индикатора SID системы;
- b) измерить фактическое SID с помощью линейки или мерной ленты, начиная с индикатора фокусного пятна на боковой стороне рентгеновской трубки и продолжая до поверхности стола или поверхности приемника изображения (рис. 3).

**Примечание.** Некоторые современные рентгеновские системы не имеют индикатора фокусного пятна. В этом случае в качестве ориентира для оценки положения пятна можно использовать документацию изготовителя оборудования, или местоположение фокусного пятна может определить медицинский физик, используя теорему Фалеса.

- c) записать результат.

#### *2.1.2.4. Анализ и интерпретация*

Сравнить измеренное значение с показанием индикатора SID рентгеновской системы.

#### *2.1.2.5. Исходные значения и допуски*

Разница между значением, измеренным с помощью линейки или мерной ленты, и показанием индикатора SID не должна превышать  $\pm 1,5$  см.

#### *2.1.2.6. Периодичность*

Данный тест выполняется 1 раз в шесть месяцев.

### 2.1.2.7. *Корректирующие действия*

В случае превышения допуска необходимо выполнить следующие действия:

- a) повторить тест;
- b) исправить систематические ошибки. Если используется цифровой дисплей SID, сервисному инженеру необходимо откалибровать дисплей. Если имеется только мерная лента, поправку следует рассчитывать в каждом конкретном случае;
- c) проверить, нет ли провисания мерной ленты. Следует обеспечить, чтобы сервисный инженер устранил его.

### 2.1.3. **Однородность изображения и артефакты**

#### 2.1.3.1. *Описание и цель*

Данный тест проводится для оценки степени и источника артефактов, визуализируемых на цифровых рентгенографических изображениях, а также чтобы убедиться в однородности изображения и отсутствии артефактов [4].

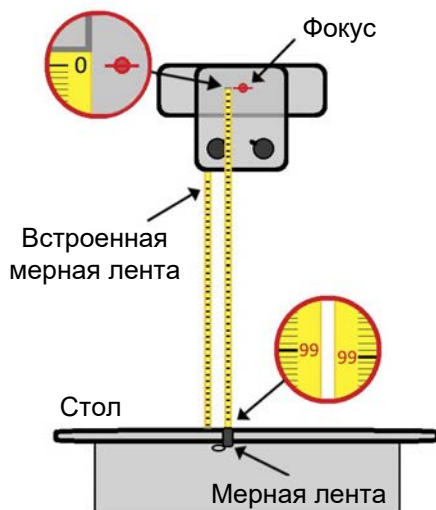


Рис. 3. *Схема рекомендуемой компоновки теста.*



Рис. 4. Схема теста для проверки однородности изображения с использованием блока ПММА.

#### 2.1.3.2. Оборудование

Рекомендуется использовать медный аттенюатор (толщиной 1 мм или аналогичный). Как вариант могут быть использованы другие аттенюаторы, такие как блок полиметилметакрилата (ПММА) толщиной 10 см. При этом необходимо последовательно использовать как минимум одни и те же материалы с одинаковыми свойствами, даже если это другой аттенюатор. Аттенюатор должен быть достаточно большим, чтобы охватывать все изображение, а также должен быть однородным. На рис. 4 показана описанная схема.

#### 2.1.3.3. Процедура

При проведении теста применяется следующая процедура:

- a) поместить аттенюатор в поле рентгеновского излучения;
- b) установить SID на 100 см;

**Примечание.** Для систем компьютерной рентгенографии может потребоваться большее SID (не менее 150 см) и две экспозиции,

чтобы определить, не связано ли отсутствие однородности с анодным пяточным эффектом. После выполнения первой экспозиции повернуть приемник изображения вокруг его оси, перпендикулярно плоскости изображения, на  $180^\circ$  и произвести вторую экспозицию. Затем сравнить два изображения.

- c) поместить медную пластину на коллиматор или расположить аттенуатор на таком расстоянии, чтобы он закрывал всю область приемника изображения;
- d) установить коллиматор так, чтобы облучался весь приемник изображения;
- e) установить параметры экспозиции на уровне 70 кВ и 3 мА·с или на рекомендуемые значения, утвержденные медицинским физиком; затем произвести экспозицию.

#### *2.1.3.4. Анализ и интерпретация*

Для анализа и интерпретации результатов теста применяется следующая процедура:

- a) визуально проверить изображение на предмет артефактов и однородности. Использовать окно узкой ширины для просмотра изображения на соответствующем дисплее;
- b) зарегистрировать статус изображения.

#### *2.1.3.5. Исходные значения и допуски*

Никаких заметных артефактов или выраженных неоднородных областей не должно быть видно.

#### *2.1.3.6. Периодичность*

Данный тест выполняется 1 раз в месяц.

#### *2.1.3.7. Корректирующие действия*

В случае пластин и пленок для компьютерной рентгенографии пятна указывают на необходимость очистки пластины, а линия говорит о том, что оптические элементы считывающего устройства нуждаются в обслуживании или чистке. Трещины по краям изображения могут означать, что использование этой пластины следует прекратить и заменить ее на новую.

Одновременная проверка всех кассет не является обязательной, но при этом должна быть установлена рутинная процедура, предусматривающая регулярную проверку всех кассет.

В системах цифровой рентгенографии линии и прямоугольные области на изображении указывают на необходимость повторной калибровки детектора или на наличие скоплений битых пикселей. Поскольку скопления битых пикселей могут затруднить клинический диагноз, возможно, потребуется заменить детектор; этот вопрос следует обсудить с сервисным инженером. Рентгенологи, оценивающие изображения, полученные с помощью данного рентгеновского аппарата, должны быть проинформированы о наблюдаемой проблеме и получить консультацию по использованию системы.

#### **2.1.4. Постоянство автоматического контроля экспозиции**

##### *2.1.4.1. Описание и цель*

Целью автоматического контроля экспозиции (АКЭ) является обеспечение последовательной, воспроизводимой экспозиции в широком диапазоне потенциалов трубки и компенсация различной анатомической толщины. С помощью этого теста оценивается стабильность системы АКЭ [4, 6].

##### *2.1.4.2. Оборудование*

Для этого теста используется медная пластина или другой аттенюатор, как описано в разделе 2.1.3.

##### *2.1.4.3. Процедура*

При проведении данного теста применяется следующая процедура:

- a) отцентрировать трубку на области приемника изображения;
- b) отрегулировать коллимацию пучка так, чтобы он покрывал весь приемник изображения. Размер поля должен быть установлен так, чтобы он охватывал датчик(и) АКЭ;
- c) надеть аттенюатор на рентгеновскую трубку или разместить его на соответствующем расстоянии от фокусного пятна до приемника изображения так, чтобы он покрывал всю область приемника изображения (рис. 5);

- d) выбрать параметры экспозиции в соответствии с локально применяемой регламентной (рутинной) процедурой или использовать параметры, применявшиеся при процедуре ввода в эксплуатацию (например, 70 кВ). Выбрать датчик АКЭ, предназначенный или использовавшийся ранее для этого теста. Напряжение на трубке должно оставаться одинаковым для всех измерений;
- e) произвести экспозицию и записать произведение тока трубки на время экспозиции («значение мА·с») и экспозиционный индекс, отображаемый на консоли оператора.

#### 2.1.4.4. Анализ и интерпретация

Сравнить значение мА·с и экспозиционный индекс с соответствующими исходными значениями.

#### 2.1.4.5. Исходные значения и допуски

Зарегистрированные значения экспозиционного индекса и мА·с должны находиться в пределах  $\pm 25\%$  от соответствующих исходных значений для цифровых рентгенографических систем и в пределах  $\pm 30\%$  для компьютерных рентгенографических систем.



Рис. 5. Схема расположения оборудования для проверки постоянства работы датчика автоматического контроля экспозиции с использованием медного аттенюатора.

#### *2.1.4.6. Периодичность*

Данный тест выполняется 1 раз в три месяца.

#### *2.1.4.7. Корректирующие действия*

В случае превышения допуска, действовать следующим образом:

- a) повторить тест для исключения возможности ошибки измерения;
- b) если проблему устранить не удастся, следует обратиться с просьбой к медицинскому физика провести более тщательное расследование.

Поскольку функционирование АКЭ зависит от генератора и самой системы АКЭ, следует проверить стабильность работы генератора. Выявленные тенденции могут указывать на необходимость проведения сервисным инженером повторной калибровки системы АКЭ.

### **2.1.5. Состояние кассет и рентгенографических запоминающих пластин (только компьютерная рентгенография)**

#### *2.1.5.1. Описание и цель*

Чтобы убедиться в чистоте пластин, используемых для компьютерной рентгенографии, и в отсутствии у них механических дефектов, которые могут привести к возникновению артефактов на изображении, можно использовать описанный ниже процесс подготовки. В литературе ссылок на этот тест нет, но можно воспользоваться руководством поставщика по эксплуатации. Не допускается использование чистящих растворов или методов, кроме тех, которые прямо указаны в руководстве поставщика по эксплуатации кассет для компьютерной рентгенографии.

#### *2.1.5.2. Оборудование*

Для этого теста требуются чистящий раствор и тряпка, согласно руководству поставщика по техническому обслуживанию.



### 2.1.5.3. Процедура

При проведении данного теста применяется следующая процедура:

- a) провести визуальный осмотр каждой кассеты на предмет наличия внешних дефектов. Обратит особое внимание на петли и замки (рис. 6);
- b) каждую кассету следует открыть и вынуть рентгенографическую запоминающую пластину для проверки на наличие пыли и царапин (рис. 7). Записать результаты проверки;
- c) очистку рентгенографической запоминающей пластины следует выполнять в соответствии с руководством поставщика по техническому обслуживанию;
- d) стереть все кассеты и не оставлять пластины на значительное время без использования или стирания.



*Рис. 6. Неисправная кассета, в которой не закрывается замок справа.*



*Рис. 7. Неисправная кассета, в которой царапины на экране не позволяют считывающему устройству считывать ее должным образом.*

#### *2.1.5.4. Анализ и интерпретация*

Эту процедуру рекомендуется проводить для всех рентгенографических запоминающих пластин 1 раз в месяц, а также всякий раз, когда на изображениях, полученных с рентгенографической запоминающей пластины, обнаруживается ряд артефактов в виде мелких белых пятнышек. Обратите внимание на то, что слишком частая очистка рентгенографических запоминающих пластин или использование неутвержденного к применению чистящего раствора могут привести к обесцвечиванию люминофора.

#### *2.1.5.5. Исходные значения и допуски*

На рентгенографических запоминающих пластинах не должно быть грязи или повреждений.

#### *2.1.5.6. Периодичность*

Тесты повторять с периодичностью, рекомендованной поставщиком, или 1 раз в месяц, если на изображениях видны артефакты.

#### *2.1.5.7. Корректирующие действия*

При обнаружении артефактов или дефектов, которые могут влиять на клиническое использование кассет, их следует тщательно очистить в соответствии с инструкциями поставщика и проверить возможность дальнейшего использования. В противном случае кассету следует заменить.

### **2.1.6. Чувствительность системы автоматического контроля экспозиции**

#### *2.1.6.1. Описание и цель*

Как описано в разделе 2.1.4.1, система автоматического контроля экспозиции (АКЭ) используется для компенсации изменения напряжения на рентгеновской трубке и изменения толщины облучаемой анатомической области пациента. Все рентгенографические системы, оснащенные АКЭ, используют датчики АКЭ, которые обычно представляют собой ионизационные камеры, определяющие количество фотонов, падающих на приемник изображения. Для стабильного качества изображения необходимо, чтобы каждый датчик выдавал одинаковый выходной сигнал

(или по меньшей мере последовательно отличающееся значение, если он настроен по-иному) для заданной настройки и работал устойчиво [4, 6].

#### *2.1.6.2. Оборудование*

Для этого теста используется медная пластина или другой аттенюатор, как описано в разделе 2.1.3.

#### *2.1.6.3. Процедура*

При проведении данного теста применяется следующая процедура:

- a) отцентрировать трубку по приемнику изображения, расположенному на стойке «Букки»;
- b) отрегулировать коллимацию рентгеновского пучка так, чтобы он покрывал всю площадь аттенюатора, и убедиться в том, что выбранная ионизационная камера АКЭ находится внутри рентгеновского пучка;
- c) вставить медную пластину в направляющую для принадлежностей рентгеновской трубки или поместить аттенюатор между фокусным пятном и стойкой «Букки»;
- d) задать напряжение 70 кВ и выбрать центральную ионизационную камеру (рис. 8). При проведении этого теста напряжение должно оставаться неизменным, как и другие настройки АКЭ, такие как чувствительность пленки или коррекция плотности, если они задаются. Их значения должны быть установлены по умолчанию или на нормальный уровень (чувствительность: 400 (D); коррекция плотности: 0,0);
- e) произвести экспозицию и записать значения мА·с и экспозиционного индекса, отображаемые в рентгеновской системе после экспозиции. Затем выбрать датчик или датчики, которые не были протестированы, и повторить предыдущий шаг.

#### *2.1.6.4. Анализ и интерпретация*

Сравнить значения мА·с и экспозиционного индекса с соответствующими исходными значениями.

#### *2.1.6.5. Исходные значения и допуски*

Значения экспозиционного индекса и мА·с не должны отличаться более чем на  $\pm 50\%$  от соответствующих исходных значений.



Рис. 8. Система управления, используемая для выбора ионизационных камер автоматического контроля экспозиции (здесь выбрана центральная ионизационная камера).

#### 2.1.6.6. Периодичность

Данный тест выполняется 1 раз в один-три месяца, в зависимости от наблюдаемой стабильности системы.

#### 2.1.6.7. Корректирующие действия

В случае превышения предельных значений повторить тест, чтобы исключить возможность ошибки в схеме теста. В случае постоянного превышения предельных значений проверить, не настроены ли датчики АКЭ иначе, чем предполагалось. Следует обеспечить, чтобы медицинский физик выяснил, соблюдаются ли соответствующие требования, предъявляемые к показателям работы генератора рентгеновского излучения. Всякий раз при обнаружении нарушения в системе АКЭ следует избегать ее использования до тех пор, пока это нарушение не будет устранено. Распространенной ошибкой является несоответствующая настройка приемника изображения для данного рентгеновского аппарата. Выполнить рекомендации, изложенные в разделах 2.2.17–2.2.19, и рассмотреть вопрос о целесообразности приостановки или ограничения использования системы.

## 2.2. ТЕСТЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА, ВЫПОЛНЯЕМЫЕ МЕДИЦИНСКИМИ ФИЗИКАМИ

### 2.2.1. Совмещение и центрирование пучка рентгеновского излучения

Данный тест проводится так, как описано в разделе 2.1.1 [4, 5]. Медицинский физик, осуществляющий надзор за оборудованием, должен проводить этот тест 1 раз в год. Применяются те же допуски. Если обнаруживается существенное отличие от предыдущих измерений, то следует пересмотреть методику и эффективность этого теста.

### 2.2.2. Точность потенциала трубки

#### 2.2.2.1. Описание и цель

В лучевой диагностике напряжение на трубке является одним из наиболее важных параметров, влияющих как на облучение, так и на контрастность изображения. Точность измерения напряжения на трубке имеет решающее значение, поскольку даже незначительное изменение оказывает значительное влияние на конечное рентгенографическое изображение. Данный тест обеспечивает соответствие точности напряжения на трубке, заданного на консоли оператора рентгеновской системы, его фактическому значению [4].

#### 2.2.2.2. Оборудование

Используется твердотельный киловольтметр с действующей калибровкой и возможностью измерения в диапазоне 40–150 кВ. При каждом измерении точности потенциала трубки следует последовательно использовать один и тот же показатель прибора (например, практическое пиковое напряжение или среднее или максимальное значение пикового напряжения на трубке). Выбор показателя может слегка влиять на результаты. Если приемник изображения не снимается со стойки «Букки», необходима свинцовая пластина или фартук толщиной 0,35 мм, 0,5 мм или 1,0 мм.

### 2.2.2.3. Процедура

При проведении данного теста применяется следующая процедура:

- a) снять приемник изображения или, если он несъемный, накрыть его свинцовой пластиной;
- b) поместить прибор на плоскую поверхность так, чтобы его чувствительная область была обращена к рентгеновской трубке. Убедиться в том, что рентгеновский пучок направлен перпендикулярно прибору и центрирован на нем;
- c) установить расстояние между фокусным пятном и прибором, равное 100 см. Это не обязательно, однако данную настройку удобно использовать для последующего расчета радиационного выхода;  
**Примечание.** В случае некоторых приборов до выполнения первой экспозиции требуется проведение проверки положения. Следует воспользоваться руководством по применению, поставляемым изготовителем в комплекте с прибором.
- d) рекомендуется расположить киловольтметр так, чтобы его активная область была ориентирована перпендикулярно оси анод — катод рентгеновской трубки и чтобы размер поля был минимальным (например, 5 × 8 см) для уменьшения рассеяния. Следует использовать перекрестие светового поля, чтобы установить детектор в центре поля рентгеновского излучения (рис. 4);  
**Примечание.** Убедиться в отсутствии дополнительной фильтрации там, где это применимо.
- e) задать такое значение произведения тока трубки на время, которое не будет перегружать рентгеновскую трубку, но при этом обеспечивать достаточную дозу для получения достоверного измерения (например, 40 мА·с при половине максимально допустимого тока в трубке);
- f) измерить установленное вручную напряжение на трубке и записать результаты как минимум для пяти клинически значимых настроек (например, 60, 70, 80, 100 и 120 кВ).  
**Примечание.** Некоторые приборы могут измерять несколько параметров (например, киловольтное напряжение, дозу, время, слой половинного ослабления (СПО)) при одной экспозиции.

### 2.2.2.4. Анализ и интерпретация

Вычислить отклонение измеренных значений киловольтного напряжения от номинальных значений.

#### 2.2.2.5. *Исходные значения и допуски*

Отклонение измеренных значений киловольтного напряжения от номинальных должно находиться в пределах  $\pm 5\%$  или  $\pm 5$  кВ, в зависимости от того, что больше. Эти значения указаны в качестве уровней корректировки в литературе, на которую даны ссылки, что означает, что при обнаружении таких отклонений следует принимать меры. Однако в [4] и Международной электротехнической комиссией (МЭК) рекомендуется использовать уровень приостановки эксплуатации  $\pm 10\%$  или  $\pm 10$  кВ, в зависимости от того, что больше. В случае уровня  $\pm 10\%$  или  $\pm 10$  кВ систему не следует использовать до тех пор, пока не будут приняты корректирующие меры.

#### 2.2.2.6. *Периодичность*

Данный тест выполняется 1 раз в год.

#### 2.2.2.7. *Корректирующие действия*

В случае превышения допусков проверить настройку, позиционирование и калибровку киловольтметра и повторить тест. Если прибор может измерять напряжение генератора и форму импульса излучения, проконтролировать их; на результаты измерений могут влиять колебания напряжения в электросети, или может иметь место неисправность в электрической цепи. Если после повторного теста проблему устранить не удастся, следует обратиться к поставщику рентгеновской системы.

### 2.2.3. **Постоянство радиационного выхода**

#### 2.2.3.1. *Описание и цель*

Радиационный выход (мГр/(мА·с)) рентгенографической системы при определенном напряжении на трубке должен оставаться постоянным при выборе какого-либо конкретного значения произведения тока на время в любой комбинации тока и времени. В данном тесте отслеживается влияние изменений тока в трубке, времени и их произведения (значения мА·с) на радиационный выход. Кроме того, требуется, чтобы радиационный выход рентгенографической системы имел линейную зависимость от выбранного значения тока или времени (например, без изменения тока в трубке), но при удвоении времени экспозиции радиационный выход также должен удваиваться.

В некоторых рентгеновских системах, особенно в мобильных рентгенографических установках, можно устанавливать лишь произведение тока на время. В таком случае может быть проверена только линейность  $mA \cdot c$  этой системы [4, 7].

#### 2.2.3.2. Оборудование

Используется твердотельный детектор или соответствующая ионизационная камера, калиброванная в соответствии с характеристиками рентгенографического пучка. Если приемник изображения не снимается со стойки «Букки», необходима свинцовая пластина.

#### 2.2.3.3. Процедура

- a) Снять приемник изображения или, если он несъемный, закрыть его свинцовой пластиной;
- b) поместить прибор на плоскую поверхность так, чтобы его чувствительная область была обращена к рентгеновской трубке. Убедиться в том, что рентгеновский пучок направлен перпендикулярно прибору и центрирован на нем;
- c) в случае использования ионизационной камеры ее следует разместить так, чтобы обратное рассеяние не влияло на результаты измерений. Если задняя панель прибора экранирована, то устанавливать его ближе к фокусному пятну необходимости нет;
- d) установить расстояние между фокусным пятном и прибором, равное 100 см. Это не обязательно, однако данную настройку удобно использовать для расчета радиационного выхода;

**Примечание.** Для некоторых твердотельных детекторов до выполнения первой экспозиции требуется проведение проверки положения. Следует воспользоваться руководством по применению, поставляемым изготовителем в комплекте с прибором.

- e) рекомендуется расположить твердотельный детектор так, чтобы его активная область была ориентирована перпендикулярно оси анод — катод рентгеновской трубки и чтобы размер поля был минимальным (например,  $5 \times 10$  см) для уменьшения рассеяния и обеспечения узкой геометрии пучка. Использовать перекрестие светового поля, чтобы расположить детектор в центре поля рентгеновского излучения (рис. 9);

**Примечание.** Убедиться в отсутствии дополнительной фильтрации там, где она не требуется, и в наличии соответствующих калибровочных коэффициентов там, где это требуется.



- f) использовать ручной режим экспозиции и задать напряжение 80 кВ. Выбрать параметры экспозиции, которые дают постоянное значение  $\text{мА}\cdot\text{с}$  (пример настроек представлен в таблице 1).

#### 2.2.3.4. Анализ и интерпретация

Рассчитать радиационный выход ( $\text{мкГр}/(\text{мА}\cdot\text{с})$ ) для всех экспозиций, используя ур-ние (1):

$$Y = \frac{M_c}{Q} \times \left( \frac{d_{\text{FDD}}}{d_{\text{ref}}} \right)^2, \quad (1)$$

где:

- $Y$  – радиационный выход ( $\text{мГр}/(\text{мА}\cdot\text{с})$ );  
 $M_c$  – скорректированные показания прибора ( $\text{мкГр}$ );  
 $Q$  – заряд или произведение тока на время ( $\text{мА}\cdot\text{с}$ );  
 $d_{\text{FDD}}$  – расстояние от фокусного пятна до прибора (м);  
 $d_{\text{ref}}$  – референсное расстояние (м; в данном случае,  $d_{\text{ref}} = 1 \text{ м}$ ).

#### 2.2.3.5. Исходные значения и допуски

Используются следующие исходные значения и допуски:

- a) отклонения должны находиться в пределах  $\pm 20\%$  от исходного уровня, определенного при вводе в эксплуатацию в качестве уровня корректировки, и  $\pm 50\%$  в качестве уровня приостановки эксплуатации;  
b) радиационный выход при общей фильтрации  $\text{Al } 2,5 \text{ мм}$  и экспозиции 80 кВ должен находиться в диапазоне от 25–80  $\text{мкГр}/(\text{мА}\cdot\text{с})$ .

**Примечание.** При рассмотрении радиационного выхода важным фактором является полная фильтрация. При повышенной толщине фильтрации эти критерии следует адаптировать для данной ситуации. Верхнее значение данного диапазона может быть еще выше в случае некоторых рентгеновских систем, функционирующих удовлетворительно.

#### 2.2.3.6. Периодичность

Данный тест выполняется 1 раз в год.



*Рис. 9. Компоновка теста для проверки точности киловольтного напряжения с использованием твердотельного неинвазивного киловольтметра.*

**ТАБЛИЦА 1. ПРИМЕРЫ ПОСТОЯННЫХ КОМБИНАЦИЙ ТОКА И ВРЕМЕНИ**

| Ток (мА) | Время (с) | Значение мА·с |
|----------|-----------|---------------|
| 320      | 0,125     | 40            |
| 160      | 0,25      | 40            |
| 80       | 0,5       | 40            |

**Примечание.** В качестве альтернативы линейность системы можно проверить, если задано постоянное время (например, 100 мс), а ток трубки изменяется для каждой экспозиции (например, 100 мА, 200 мА, 400 мА и 800 мА). При каждой проверке линейности ток также может поддерживаться постоянным (например, 100 мА) для серии экспозиций, при которой время экспозиции удваивается каждый раз (например, от 10 мс до 3200 мс).

#### 2.2.3.7. *Корректирующие действия*

В случае постоянного отклонения от референсного значения может потребоваться повторная калибровка генератора. Если отклонение не является постоянным, в генераторе может быть электрическая неисправность. Для проверки правильности работы генератора следует выполнить другие тесты, описанные в данном разделе (например, кратковременная воспроизводимость радиационного выхода, точность киловольтного напряжения и СПО). Кроме того, может быть выполнен тест на общую фильтрацию, чтобы выяснить, не остались ли какие-либо дополнительные настройки фильтра в рентгеновском пучке после предыдущих экспозиций.

#### 2.2.4. **Кратковременная воспроизводимость радиационного выхода и времени экспозиции**

##### 2.2.4.1. *Описание и цель*

В данном тесте оценивается кратковременная воспроизводимость показателей работы генератора. Хотя в клинической практике большинство систем, оснащенных АКЭ, используется почти исключительно в режиме АКЭ, данный тест может выявить связанные с генератором неполадки в тех случаях, когда имеются проблемы в системе АКЭ [4, 5, 7].

##### 2.2.4.2. *Оборудование*

Для проведения теста требуется дозиметр с твердотельным детектором или соответствующая ионизационная камера, калиброванная по показателям рентгенографического пучка и способная измерять время экспозиции в диапазоне 5–5000 мс. Если используемый прибор не способен измерять время экспозиции, для его оценки можно использовать мощность дозы и интегральную дозу облучения. Этот метод менее надежен.

Важно подчеркнуть значимость метода расчета времени экспозиции, поскольку твердотельные детекторы могут быть настроены так, чтобы дифференцировать различные уровни киловольтного напряжения или дозовые кривые, что может существенно влиять на их показания.

Если приемник изображения не снимается со стойки «Букки», необходима свинцовая пластина.

### 2.2.4.3. Процедура

При проведении данного теста применяется следующая процедура:

- a) снять приемник изображения или, если он несъемный, закрыть его свинцовой пластиной или свинцовым фартуком;
- b) поместить прибор на плоскую поверхность так, чтобы его чувствительная область была обращена к рентгеновской трубке. Убедиться в том, что рентгеновский пучок направлен перпендикулярно прибору и отцентрирован на нем;
- c) в случае использования ионизационной камеры ее следует размещать на расстоянии не менее 20 см от стола, чтобы обратное рассеяние не влияло на результаты измерений. Если детектор сзади экранирован, то устанавливать его ближе к фокусному пятну необходимости нет;
- d) установить расстояние между фокусным пятном и прибором, равное 100 см. Это не обязательно, однако эту настройку удобно использовать для последующего расчета радиационного выхода;

**Примечание.** В случае некоторых твердотельных детекторов до выполнения первой экспозиции требуется проведение проверки положения. Следует воспользоваться руководством по применению, поставляемым изготовителем в комплекте с прибором.

- e) рекомендуется расположить твердотельный детектор так, чтобы его активная область была ориентирована перпендикулярно оси анод — катод рентгеновской трубки и чтобы размер поля был минимальным (например,  $5 \times 10$  см) для уменьшения рассеяния и обеспечения узкой геометрии пучка. Использовать перекрестие светового поля, чтобы расположить детектор в центре поля рентгеновского излучения (рис. 9);

**Примечание.** Убедиться в отсутствии дополнительной фильтрации там, где она не требуется, и в наличии соответствующих калибровочных коэффициентов там, где они требуются.

- f) использовать ручной режим экспозиции и выбрать 80 кВ и комбинацию ток — время, которая обеспечивает экспозицию около  $40 \text{ мА} \cdot \text{с}$  (например, 400 мА и 100 мс);
- g) произвести пять экспозиций с использованием одних и тех же настроек и записать результаты.

#### 2.2.4.4. Анализ и интерпретация

Анализ и интерпретация результатов теста осуществляются следующим образом:

- a) рассчитать радиационный выход с помощью ур-ния (1) для всех измерений и определить их среднее значение;
- b) рассчитать коэффициент вариации (КВ) для всех измеренных значений времени экспозиции.

#### 2.2.4.5. Исходные значения и допуски

Исходные значения и допуски следующие:

- a) отклонение измеренного радиационного выхода должно находиться в пределах  $\pm 20\%$  от среднего значения;
- b) КВ времени экспозиции должен составлять менее  $\pm 5\%$ .

#### 2.2.4.6. Периодичность

Данный тест выполняется 1 раз в год.

#### 2.2.4.7. Корректирующие действия

Если после повторения тестов отклонение сохраняется, проверить напряжение на трубке и формы импульсов дозы облучения, если такие данные имеются. Сервисному инженеру следует выполнить проверку на возможные неисправности электрических систем или электронных устройств.

### 2.2.5. Точность времени экспозиции

#### 2.2.5.1. Описание и цель

Генератор должен останавливать экспонирование по истечении заранее выбранного интервала времени. В данном тесте отслеживается соответствие времени экспозиции номинальным значениям, установленным на консоли рентгеновской системы [4].

#### 2.2.5.2. Оборудование

Требуется прибор с возможностью измерять время экспозиции в диапазоне 5–5000 мс. Короткое время экспозиции и расчетное время экспозиции могут зависеть от настроек чувствительности прибора. Следует воспользоваться руководством по применению, поставляемым изготовителем в комплекте с прибором. Если приемник изображения не снимается со стойки «Букки», необходима свинцовая пластина.

#### 2.2.5.3. Процедура

При проведении данного теста применяется следующая процедура:

- a) снять приемник изображения или, если он несъемный, закрыть его свинцовой пластиной;
- b) поместить прибор на плоскую поверхность так, чтобы его чувствительная область была обращена к рентгеновской трубке. Убедиться в том, что рентгеновский пучок направлен перпендикулярно прибору и отцентрирован на нем;
- c) установить расстояние между фокусным пятном и прибором, равное 100 см (рис. 9);

**Примечание.** Для некоторых твердотельных детекторов до выполнения первой экспозиции требуется проведение проверки положения. Следует воспользоваться руководством по применению, поставляемым изготовителем в комплекте с прибором.

- d) использовать ручной режим экспозиции и задать 80 кВ и 200 мА;
- e) произвести как минимум пять экспозиций с использованием одних и тех же настроек, наиболее часто применяемых в клинической практике, и записать результаты.

#### 2.2.5.4. Анализ и интерпретация

Рассчитать отклонение измеренных значений времени экспозиции от номинальных.

#### 2.2.5.5. Исходные значения и допуски

Используются следующие исходные значения и допуски:

- a) при времени экспозиции свыше 100 мс:  $\pm 10\%$  от номинального значения;

- b) при времени экспозиции менее 100 мс:  $\pm 15\%$  или  $\pm 2$  мс от номинального значения, в зависимости от того, что больше.

#### 2.2.5.6. Периодичность

Данный тест выполняется 1 раз в год.

#### 2.2.5.7. Корректирующие действия

В случае превышения допуска повторить тест. Если наблюдается постоянное отклонение, проверить настройки чувствительности прибора и проконтролировать в случае, если прибор может регистрировать формы импульсов, совпадают ли формы импульсов при одних и тех же настройках экспозиции.

### 2.2.6. Слой половинного ослабления

#### 2.2.6.1. Описание и цель

Целью данного теста является измерение СПО и подтверждение того, что пучок рентгеновского излучения имеет достаточную фильтрацию для удаления излучения низкой энергии в соответствии с минимальными требованиями национальных и международных стандартов [6, 8, 9].

#### 2.2.6.2. Оборудование

Для проведения теста необходимы:

- a) ионизационная камера или твердотельный детектор, калиброванный по характеристикам рентгенографического пучка;
- b) аттенюаторы из алюминия высокой чистоты ( $\geq 99,9\%$ );
- c) мерная лента;
- d) металлическая пластина для экранирования приемника изображения от рентгеновских лучей (можно использовать свинцовую пластину или фартук, как упоминалось ранее) достаточно большого размера, чтобы закрывалась активная область детектора, когда приемник изображения не снимается со стойки «Букки»;
- e) держатель для ионизационной камеры.

### 2.2.6.3. Процедура

Для проведения теста применяется следующая процедура:

- а) При использовании алюминиевых аттенюаторов:
- i) установить экранирование на приемник изображения, если он не снимается со стойки «Букки», или переместить рентгеновский пучок в положение, при котором он не может облучать приемник изображения (режим свободной экспозиции), чтобы защитить приемник изображения от чрезмерной экспозиции, которая может привести к появлению артефактов;
  - ii) установить напряжение на уровне 80 кВ и выбрать такое произведение тока на время (например, 40 мА·с), которое обеспечивает достаточную дозу на дозиметре;  
**Примечание.** Убедиться в отсутствии дополнительной фильтрации там, где она не требуется.
  - iii) установить детектор на соответствующей высоте (1 м или 50 см) над приемником изображения, чтобы избежать обратного рассеяния, с центрированием в поле излучения. Если задняя панель прибора экранирована, устанавливать его ближе к фокусному пятну необходимости нет;
  - iv) отрегулировать коллимацию поля излучения так, чтобы оно охватывало чувствительную область дозиметра;
  - v) произвести экспозицию без аттенюатора и записать показания (рис. 10);
  - vi) установить алюминиевый аттенюатор достаточной толщины (на выходе рентгеновского пучка, либо между фокусным пятном и прибором, если имеется держатель). Алюминиевый аттенюатор должен располагаться так, чтобы он закрывал активную область детектора, а его толщина соответствовала ожидаемому значению СПО (например, для измерения ожидаемого значения СПО 2,5 мм следует использовать алюминиевый аттенюатор толщиной  $\geq 2,0$  мм, близкой к ожидаемому значению);
  - vii) произвести экспозицию с теми же параметрами, что и раньше;
  - viii) записать результаты и повторить предыдущие шаги, увеличивая или уменьшая толщину алюминиевых аттенюаторов до тех пор, пока два значения дозы не упадут ниже и выше 50% от неослабленного значения;  
**Примечание.** Рекомендуется при вводе в эксплуатацию проводить измерения СПО с помощью соответствующим образом откалиброванных ионизационных камер повышенной точности.



Другие детекторы следует использовать только для измерения постоянства показателей.

б) при использовании твердотельного детектора, способного измерять СПО:

i) установить экранирование на приемник изображения, если он не снимается со стойки «Букки», или переместить рентгеновский пучок в положение, при котором он не может облучать приемник изображения (режим свободной экспозиции), чтобы защитить приемник изображения от чрезмерной экспозиции, которая может привести к появлению артефактов;

**Примечание.** Приемник изображения следует снять или, если он несъемный, накрыть его свинцовой пластиной.

ii) установить напряжение на уровне 80 кВ и использовать фиксированное значение мА·с (например, 40 мА·с), которое обеспечивает достаточную дозу на приборе;

**Примечание.** Убедиться в отсутствии дополнительной фильтрации там, где она не требуется.



Рис. 10. Компонировка теста с ионизационной камерой для измерения воздушной кермы без аттенуаторов.

- iii) установить прибор на держатель для пациента и совместить его с пучком; затем настроить прибор на измерение и отображение СПО;
- iv) произвести три экспозиции и записать результаты (СПО).

#### 2.2.6.4. Анализ и интерпретация

Анализ и интерпретация результатов тестов осуществляются следующим образом:

- a) при использовании алюминиевых аттенюаторов:
  - i) вычислить среднее значение для трех экспозиций без аттенюатора в пучке;
  - ii) построить график результатов измерений в полулогарифмическом масштабе (измеренная доза в зависимости от толщины аттенюатора в миллиметрах) и определить толщину алюминиевого аттенюатора, необходимую для уменьшения неослабленного пучка на 50%. Значение, полученное при помощи этого метода, является слоем половинного ослабления (СПО или HVL). В качестве альтернативы СПО может быть рассчитан методом двух точек с использованием ур-ния (2).

$$\text{HVL} = \frac{t_2 \ln(2M_1/M_0) - t_1 \ln(2M_2/M_0)}{\ln(M_1/M_2)}, \quad (2)$$

где:

- HVL – СПО (слой половинного ослабления);
- $M_0$  – скорректированное значение показаний прибора, полученное без каких-либо аттенюаторов;
- $M_1, M_2$  – скорректированное значение показаний прибора, ближайшее к половине неослабленного выхода;
- $t_1, t_2$  – толщина алюминиевого аттенюатора (в миллиметрах), использованного для определения соответствующих результатов;

- b) при использовании твердотельного детектора, способного измерять СПО: вычислить среднее значение трех экспозиций.

#### *2.2.6.5. Исходные значения и допуски*

Уровень СПО должен соответствовать минимальным значениям, указанным в национальных нормативных актах. Если такие требования в нормативных актах отсутствуют, могут быть применены международные и национальные стандарты [6, 8, 9]. В стандарте IEC 60601-1-3 рекомендуется, чтобы при напряжении 80 кВ первое значение СПО для рентгеновских систем, поставившихся до 1 июня 2012 года, составляло не менее 2,3 мм Al; для систем, поставляемых после этой даты, рекомендуемое значение составляет 2,9 мм Al [8]. Дополнительные рекомендуемые первые значения СПО для различных напряжений на трубке можно найти в [6].

#### *2.2.6.6. Периодичность*

Данный тест выполняется 1 раз в год.

#### *2.2.6.7. Корректирующие действия*

При несоответствии измеренного уровня СПО указанным минимальным требованиям национальных нормативных актов повторить тест и проверить прибор и геометрию схемы теста, а также убедиться в том, что аттенуаторы соответствуют требованиям. Если эти тесты подтвердят несоответствие, проверить точность измеренного киловольтного напряжения (раздел 2.2.2) и радиационного выхода (разделы 2.2.3 и 2.2.4). Если значение СПО слишком низкое, то может потребоваться установка дополнительной несъемной фильтрации, хотя это может привести к ускоренному старению рентгеновской трубки. Если значение СПО выше ожидаемого, следует проверить наличие съемной дополнительной фильтрации в рентгеновском пучке.

### **2.2.7. Точность измерителя произведения кермы на площадь**

#### *2.2.7.1. Описание и цель*

Произведение кермы на площадь (ПКП) используется для описания дозы, получаемой пациентом. ПКП может быть определено путем умножения воздушной кермы на центральной оси рентгеновского пучка на площадь пучка, перпендикулярную этой оси, на том же расстоянии от фокусного пятна. Этот тест проводится для обеспечения точности измерителя ПКП, которое показывает входную дозу на поверхности тела пациента. Некоторые рентгеновские системы не оснащены измерителем



*Рис. 11. Компонка теста с использованием ионизационной камеры и самопроявляющейся пленки для определения точности измерителя произведения воздушной кермы на площадь.*

ПКП, но имеют индикатор, информирующий оператора о радиационном воздействии. Точность измерения ПКП во всех случаях можно оценить с помощью данного теста (т.е. верификации показаний) [9–11].

#### *2.2.7.2. Оборудование*

Для проведения теста необходимы:

- a) дозиметр с калиброванной ионизационной камерой или твердотельным детектором;
- b) пластина для компьютерной рентгенографии или самопроявляющаяся пленка (рис. 11) или другой приемник изображения, откалиброванный для выполнения измерений размера поля;
- c) линейка или мерная лента;
- d) свинцовая пластина, если приемник изображения не является съемным.

### 2.2.7.3. Процедура

При проведении данного теста применяется следующая процедура:

- a) снять приемник изображения или, если он несъемный, закрыть его свинцовой пластиной;
- b) поместить референсный прибор на центральную ось рентгеновского пучка на высоте не менее 20 см над кушеткой (столешницей), чтобы избежать воздействия обратного рассеяния излучения (для твердотельного детектора с экранированием задней панели это не требуется). В качестве опоры прибора можно использовать блок из экструдированного пенополистирола на держателе/подставке;
- c) отрегулировать коллимацию рентгеновского пучка так, чтобы он покрывал площадь размером приблизительно  $10 \times 10$  см на чувствительной области референсного прибора. Не изменять размер поля на протяжении всего этого измерения;
- d) произвести экспозицию вручную, одновременно облучая референсный прибор и измеритель ПКП и при этом используя такие комбинации напряжения на трубке и полной фильтрации, которые обычно применяются в клинической практике;

**Примечание.** В случае рентгеноскопии следует применять наиболее часто используемый протокол визуализации и фиксировать этот факт. Когда для определения параметров экспозиции требуется автоматическое управление мощностью экспозиционной дозы (AERC), может возникнуть необходимость накрыть приемник изображения медной пластиной или поместить фантом под референсным прибором для получения более высокой мощности экспозиционной дозы. Если используемая ионизационная камера чувствительна к обратному рассеянию, то следует учитывать этот факт. В рентгеноскопии, в зависимости от расположения референсного прибора, аттенуация стола может влиять на результаты измерения.

- e) записать значения, полученные с помощью измерителя ПКП, и значения, измеренные с помощью референсного прибора;
- f) снять референсный прибор и расположить соответствующий приемник изображения перпендикулярно центральной оси рентгеновского пучка на том же расстоянии от фокусного пятна;
- g) произвести экспозицию приемника изображения для определения размера поля, используя малую величину экспозиции (например, 50 кВ и 4 мА·с).

#### 2.2.7.4. Анализ и интерпретация

Анализ и интерпретация результатов тестов осуществляются следующим образом:

- a) измерить точный размер поля с помощью линейки или с помощью соответствующего видеодисплейного устройства и компьютерной программы для определения площади пучка при данном положении детектора во время экспозиции. Если используется компьютерная программа, то настройки электронных средств измерения расстояния должны быть соответствующим образом откалиброваны;
- b) рассчитать измеренное ПКП путем умножения результатов, полученных с помощью референсного прибора, на площадь пучка и оценить отклонение между измеренными и отображаемыми значениями. При сравнении показаний измерителя ПКП и скорректированных показаний референсного прибора следует убедиться в том, что все полученные единицы измерения скорректированы и преобразованы соответствующим образом.

#### 2.2.7.5. Исходные значения и допуски

Ожидается, что погрешность измерителя ПКП не будет превышать  $\pm 25\%$  [10]. Если в системе вместо индивидуального измерителя ПКП установлен индикатор, его точность должна быть выше  $\pm 35\%$  [11].

#### 2.2.7.6. Периодичность

Данный тест выполняется 1 раз в год.

#### 2.2.7.7. Корректирующие действия

Если погрешность измерителя ПКП превышает  $\pm 25\%$ , провести верификацию поправок, калибровочных коэффициентов и согласованности единиц измерения, используемых для сравнения показаний референсных приборов и измерителя ПКП. Если отклонение от показаний референсного прибора является постоянным, можно ввести поправочный коэффициент. Если отклонение выходит за пределы допусков или является нестабильным, может потребоваться новая калибровка. Если показатели работы других элементов рентгеновского аппарата приемлемы, аппарат можно использовать до тех пор, пока измеритель ПКП не будет отремонтирован.

## **2.2.8. Кратковременная воспроизводимость экспозиционного индекса**

### *2.2.8.1. Описание и цель*

Системы цифровой рентгенографии и компьютерной рентгенографии обладают широким диапазоном чувствительности, что позволяет им работать в широком диапазоне экспозиций и обеспечивать визуально приемлемое изображение даже в случае недостаточной или чрезмерной экспозиции. Экспозиционный индекс показывает поглощенную дозу на детекторе и может рассматриваться как цифровой эквивалент оптической плотности для пленочно-экранных систем. Экспозиционный индекс не всегда линейно связан с дозой детектора, поскольку разные изготовители определяют его по-разному. При оценке результатов тестирования экспозиционного индекса следует всегда обращаться к руководству по применению данной системы. Поскольку экспозиционный индекс используется для проверки АКЭ, то при отсутствии линейной зависимости от воздушной кермы, измеряемой детектором, его необходимо линеаризовать. Линеаризованный экспозиционный индекс можно определить, используя обратную зависимость между воздушной кермой, измеряемой детектором, и экспозиционным индексом. При вводе в эксплуатацию точность экспозиционного индекса должна быть проверена в соответствии с протоколом изготовителя.

В случае цифровой рентгенографии важно проводить регулярный мониторинг экспозиционного индекса. Задачей данного теста является подтверждение отсутствия существенных долгосрочных изменений в экспозиционном индексе приемника изображения. Следует обратить внимание на то, что для этого теста требуется устанавливать исходный уровень по возможности при вводе в эксплуатацию [4, 12].

### *2.2.8.2. Оборудование*

Используются медная пластина или другой аттенюатор в соответствии с описанием в разделе 2.1.3.

### *2.2.8.3. Процедура*

При проведении данного теста применяется следующая процедура:

- a) скомпоновать схему теста так, чтобы рентгеновская трубка была направлена на приемник изображения и отцентрирована. Для SID подходит значение 100 см.

- b) вручную выбрать параметры экспозиции (например, 70 кВ);
- c) отрегулировать коллимацию так, чтобы рентгеновский пучок совпадал с приемником изображения;
- d) подвинуть медную пластину к выходному окну коллиматора или поместить ее в пучок так, чтобы она закрывала всю его площадь;
- e) выбрать такое значение мА·с, которое дает 10 мкГр на приемнике изображения;

**Примечание.** В случае пластин для компьютерной рентгенографии необходимо проводить считывание пластины по истечении установленного периода времени после экспозиции (например, через 1 мин). При выполнении этого измерения следует использовать алгоритм линейного считывания.

- f) произвести не менее трех экспозиций и записать экспозиционные индексы выполненных измерений.

#### *2.2.8.4. Анализ и интерпретация*

Сравнить зарегистрированные экспозиционные индексы с исходными значениями для тех же параметров экспозиции и оценить их отклонение от исходных значений.

#### *2.2.8.5. Исходные значения и допуски*

Отклонение экспозиционного индекса от исходного значения должно составлять менее  $\pm 10\%$ . Если наблюдаются отклонения, погрешности следует подтвердить измерениями дозы.

#### *2.2.8.6. Периодичность*

Данный тест выполняется 1 раз в год.

#### *2.2.8.7. Корректирующие действия*

В случае превышения допуска повторить тест, с тем чтобы убедиться в том, что используются те же геометрические параметры и параметры экспозиции, что и при вводе в эксплуатацию. Если неисправность устранить не удалось, измерить воздушную керму в плоскости детектора и сравнить ее со значением, измеренным при вводе в эксплуатацию. В случае системы компьютерной рентгенографии, возможно, потребуется очистить или перекалибровать считывающее устройство с целью компенсации дрейфа системы.



Если рентгеновский аппарат функционирует удовлетворительно, его использование допускается при условии проведения проверки в ближайшее время.

## **2.2.9. Точность экспозиционного индекса**

### *2.2.9.1. Описание и цель*

В этом тесте проверяется точность экспозиционного индекса для ряда произведенных экспозиций. Для этого теста важно определить исходное значение [4, 6, 12].

### *2.2.9.2. Оборудование*

Необходимое оборудование: медная пластина или другой аттенюатор, как описано в разделе 2.1.3.

### *2.2.9.3. Процедура*

При проведении данного теста применяется следующая процедура:

- a) создать схему теста, аналогичную описанной в разделе 2.2.8.3, где рентгеновская трубка направлена на приемник изображения и отцентрирована. Для SID подходит значение 100 см;
- b) отрегулировать коллимацию так, чтобы рентгеновский пучок совпадал с приемником изображения;
- c) подвинуть медную пластину к выходному окну коллиматора или поместить ее в пучок так, чтобы она закрывала всю его площадь;
- d) вручную выбрать напряжение на трубке (например, 70 кВ);
- e) в случае пластины для компьютерной рентгенографии провести считывание пластины по истечении установленного периода времени (например, через 1 мин) и применить алгоритм линейного считывания;
- f) произвести экспозицию приемника изображения один раз, используя значение  $\text{мА}\cdot\text{с}$ , обеспечивающее около 10 мкГр. Затем произвести еще две экспозиции с двумя разными значениями  $\text{мА}\cdot\text{с}$  (доля, например, 20% и кратное число, например, в 10 раз больше исходного значения  $\text{мА}\cdot\text{с}$ ) для получения более широкого диапазона экспозиционных индексов.

#### 2.2.9.4. Анализ и интерпретация

Рассчитать КВ для пяти измерений.

#### 2.2.9.5. Исходные значения и допуски

Отклонение экспозиционного индекса от исходного значения должно составлять меньше  $\pm 20\%$ .

**Примечание.** Если наблюдаются отклонения, погрешности следует проверить путем измерения дозы.

#### 2.2.9.6. Периодичность

Данный тест выполняется 1 раз в год.

#### 2.2.9.7. Корректирующие действия

В случае превышения допуска, повторить тест, чтобы убедиться в том, что используются те же геометрические параметры и параметры экспозиции, что и при вводе в эксплуатацию. Если неисправность устранить не удастся, измерить воздушную керму в плоскости детектора и сравнить ее со значением, измеренным при вводе в эксплуатацию. В случае системы компьютерной рентгенографии, возможно, потребуется очистить или перекалибровать считывающее устройство с целью компенсации дрейфа системы. Если изменение экспозиционного индекса в ходе последовательных тестов демонстрирует тенденцию (например, постоянное увеличение или уменьшение значения), следует обсудить эти результаты с сервисным инженером поставщика.

Если в остальном рентгеновский аппарат функционирует удовлетворительно, допускается использовать его при условии проведения в кратчайшие сроки исследования данной проблемы.

### 2.2.10. Доза на приемнике изображения

#### 2.2.10.1. Описание и цель

Данный тест используется для оценки дозы на приемнике изображения, которая определяется системой АКЭ. Результат тестирования зависит от конкретной системы, и его необходимо сравнивать с исходными значениями, определенными при вводе в эксплуатацию и при калибровке АКЭ. При калибровке системы АКЭ может использоваться большое количество

параметров (например, воздушная керма в плоскости детектора, отношение разности сигналов к шуму (SDNR), значение пикселя, экспозиционный индекс), а геометрия измерений может быть с рассеянием или без него. В данном тесте воздушная керма на приемнике изображения используется для оценки дозы АКЭ в геометрии без рассеяния. Однако важно задать геометрию и параметры, использованные при вводе в эксплуатацию [4, 6].

#### 2.2.10.2. Оборудование

Для проведения теста необходимы:

- a) медная пластина или другой аттенюатор, как описано в разделе 2.1.3 (рис. 12);
- b) дозиметр с откалиброванной ионизационной камерой или твердотельным детектором.



Рис. 12. Рентгеновское изображение, показывающее схему измерения дозы на приемнике изображения. Положения твердотельного детектора и ионизационной камеры системы АКЭ указаны под блоками ПММА во время измерения.

### 2.2.10.3. Процедура

Для проведения теста применяется следующая процедура:

- a) отцентрировать рентгеновский пучок на центральной ионизационной камере АКЭ и использовать коллиматор, чтобы направить пучок на этот датчик;
- b) снять решетку и измеритель ПКП, если они имеются и их можно снять; в противном случае оставить их на месте и зафиксировать этот факт;
- c) поместить прибор на крышку приемника изображения по центру внутри пучка рентгеновского излучения. Если невозможно поместить прибор непосредственно на поверхность приемника изображения, поместить его между источником и приемником изображения для предотвращения обратного рассеяния (в случае твердотельных мультиметров это необязательно);
- d) поместить медную пластину перед пучком рентгеновского излучения;
- e) выбрать минимальные параметры экспозиции, используемые в клинической практике;
- f) произвести экспозицию и записать показания; затем внести соответствующие поправки;
- g) повторить предыдущие шаги и выбрать средние и максимальные параметры экспозиции, используемые в клинической практике.

### 2.2.10.4. Анализ и интерпретация

Анализ и интерпретация результатов теста осуществляются следующим образом:

- a) вычислить дозу на приемнике изображения, используя ур-ние (3):

$$D_{\text{IR}} = D_{\text{M}} \times T_{\text{PR}} \times \frac{r^2}{\text{SID}^2}, \quad (3)$$

где:

$D_{\text{IR}}$  – доза на приемнике изображения;

$D_{\text{M}}$  – скорректированное значение показаний прибора (с учетом калибровочного коэффициента, температуры, давления и всех других необходимых коэффициентов пересчета);

- $T_{PR}$  – коэффициент пропускания, который необходим только в том случае, если решетка не была снята; его можно найти в документации изготовителя (в противном случае  $T_{PR} = 1$ );
- $r$  – расстояние от источника рентгеновского излучения до референсной точки прибора;
- SID – расстояние от фокусного пятна до приемника изображения;
- б) сравнить вычисленные значения дозы на приемнике изображения с исходными значениями.

#### *2.2.10.5. Исходные значения и допуски*

Отклонение дозы приемника изображения от исходного значения должно находиться в пределах  $\pm 30\%$ .

#### *2.2.10.6. Периодичность*

Данный тест выполняется 1 раз в год.

#### *2.2.10.7. Корректирующие действия*

В случае превышения допуска повторить тест, чтобы убедиться в том, что все используемые схемы соответствуют схемам, которые применялись при вводе в эксплуатацию. Провести тщательное исследование возможных источников ошибок. Систематическое отклонение может указывать на неисправность АКЭ, что требует повторной калибровки. Изменение дозы на приемнике изображения может указывать на неисправность генератора рентгеновского излучения или рентгеновской трубки. Проверить радиационный выход, используя тесты, описанные в разделах 2.2.2–2.2.4, чтобы убедиться в отсутствии неисправности генератора рентгеновского излучения и трубки. Если система АКЭ нуждается в повторной калибровке, то ее использование ограничивается режимом ручной экспозиции.

### **2.2.11. Излучение утечки**

#### *2.2.11.1. Описание и цель*

Данный тест предназначен для определения излучения утечки системы коллиматора и блока рентгеновской трубки. Особенно важно проводить этот тест на мобильных рентгеновских установках и на любой системе

после сервисных работ, связанных с корпусом аппарата или системой коллиматора [13].

### 2.2.11.2. Оборудование

Для проведения теста необходимы:

- a) радиометр с ионизационной камерой под давлением или ионизационная камера, откалиброванная по мощности воздушной кермы для тех показателей рентгеновского пучка, которые используются в лучевой диагностике. Может подойти прибор, откалиброванный по мощности амбиентного эквивалента дозы, с внесением при необходимости соответствующих поправок.
- b) свинцовый лист толщиной 4 мм, закрывающий выходное окно коллиматора.
- c) линейка или мерная лента.

### 2.2.11.3. Процедура

При проведении данного теста применяется следующая процедура:

- a) расположить рентгеновскую трубку так, чтобы к ней был доступ с любого направления на расстоянии 1 м. В случае невозможности установить трубку таким образом, зафиксировать те положения, в которых она обычно используется, и направления, на которые она обычно наводится в клинической практике (рис. 13);
- b) параметры рентгеновского излучения системы должны соответствовать максимально высоким возможным настройкам. Системы, в которых автоматическое управление мощностью экспозиционной дозы (AERC) определяет параметры экспозиции, должны быть установлены на значения, максимально допускаемые протоколом визуализации;

**Примечание.** Использовать максимально допустимые параметры экспозиции не требуется (в целях предотвращения излишней нагрузки на трубку и персонал). Излучение утечки также можно рассчитать, выбрав максимально возможное киловольтное напряжение и долю от максимального значения мА·с при этой настройке (например, 150 мА·с для максимума 600 мА·с при 150 кВ), поскольку этой экспозиции будет достаточно для целей измерения.

- c) отрегулировать коллимацию пучка до минимально возможного размера;
- Примечание.** Некоторые рентгеновские аппараты не позволяют выполнять экспозицию при полностью закрытом коллиматоре. В

этом случае достаточным для защиты от прямого излучения будет свинцовый лист толщиной 4 мм.

- d) поместить свинцовый лист на выходное окно коллиматора или его блока, чтобы полностью его закрыть. Если это рентгеноскопическое оборудование, при выполнении измерений вокруг блока рентгеновской трубки на расстоянии 1 м от фокусного пятна следует надевать свинцовый фартук. Если оборудование предназначено только для рентгенографии, измерение возможно только в режиме интегрирования и оценки экспозиции в течение 1 ч с использованием установленных и максимально допустимых значений  $\text{мА}\cdot\text{с}$ ;

**Примечание.** Измерения, проводимые в данном тесте, должны охватывать как минимум анодную и катодную стороны трубки и, как в наиболее часто используемой схеме, любое направление, в котором может находиться персонал во время экспозиции.

- e) записать измеренные значения, точное направление выборки и расстояние от фокусного пятна.



*Рис. 13. Измерение излучения утечки.*

#### *2.2.11.4. Анализ и интерпретация*

При необходимости показания дозиметра корректируются с учетом измеренной величины, а затем сравниваются с предельными значениями. Для этой оценки следует использовать максимально допустимый номинальный ток.

#### *2.2.11.5. Исходные значения и допуски*

Максимальная мощность воздушной кермы не должна превышать 1 мГр в течение 1 ч на расстоянии 1 м в любом направлении.

#### *2.2.11.6. Периодичность*

Данный тест следует выполнять во время приемки и после внесения существенных изменений в коллиматор или блок трубки.

#### *2.2.11.7. Корректирующие действия*

Повторить измерение и убедиться в правильности настроек. Проверить, не было ли каких-либо сервисных работ, влияющих на блок рентгеновской трубки, включая устройство ограничения пучка. У изготовителя могут быть другие спецификации для максимальных настроек; поэтому следует свериться с документацией, чтобы найти соответствующие параметры рентгеновского излучения. Более тщательный контроль можно провести с использованием классических или самопроявляющихся пленок, закрыв ту сторону трубки, где были получены самые высокие результаты измерений. Не рекомендуется использовать оборудование с неисправным устройством ограничения пучка.

### **2.2.12. Рассеянное излучение**

#### *2.2.12.1. Описание и цель*

Данный тест проводится для оценки профессионального облучения персонала, присутствующего в помещении во время клинических процедур. Измерение рассеянного излучения весьма тесно связано с радиационной защитой персонала и оценкой экранирования помещения. Данный тест следует проводить на системах, которые могут использоваться в режиме рентгеноскопии [14].



### 2.2.12.2. Оборудование

Для проведения теста необходимы:

- a) дозиметр;
- b) водный фантом толщиной 25 см или блоки ПММА общей толщиной 25 см, достаточно большие, чтобы закрыть приемник изображения;
- c) мерная лента.

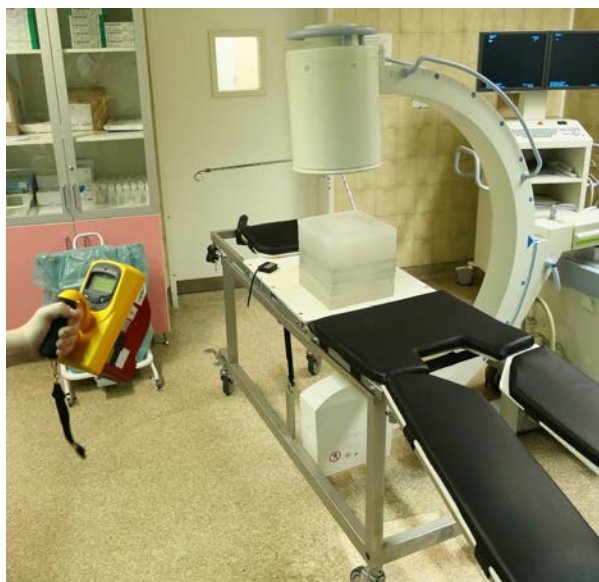
### 2.2.12.3. Процедура

При проведении данного теста применяется следующая процедура:

- a) установить держатель рентгеновской трубки и приемник изображения в вертикальное положение. Экранирование вокруг стола можно выполнить так же, как это выполняется в клинической практике;
- b) установить параметры системы на значения настроек, наиболее часто используемые в клинической практике; как вариант можно использовать настройки из документации изготовителя для карты распределения рассеянного излучения;

**Примечание.** Рентгеновские аппараты для рентгеноскопии по умолчанию работают в режиме автоматического управления мощностью экспозиционной дозы (AERC). В этом случае выбранный протокол визуализации определяет дополнительную фильтрацию и параметры экспозиции; следовательно, они также должны быть документированы.

- c) выбрать наибольший размер поля и открыть коллиматор для обеспечения максимально возможного размера поля, охватывающего всю площадь фантома;
- d) разместить фантом на столе и подвинуть его как можно ближе к приемнику изображения. Зарегистрировать геометрическое расположение и настройки;
- e) находясь в свинцовом фартуке, выполнить измерения мощности дозы вокруг блока рентгеновской трубки в точках, представляющих интерес, включая зоны, отведенные для операторов и персонала (рис. 14);
- f) записать измеренные значения и зарегистрировать точное направление их отбора и расстояния.



*Рис. 14. Компоновка теста для измерения рассеянного излучения вокруг передвижной рентгеноскопической установки с С-дугой в зоне нахождения персонала.*

#### *2.2.12.4. Анализ и интерпретация*

При необходимости измеренные мощности доз следует скорректировать, а затем сравнить с исходными значениями.

#### *2.2.12.5. Исходные значения и допуски*

Допустима разница  $\pm 50\%$  от исходного значения. Изготовитель прилагает карту рассеянного излучения в документации к системе, соответствие которой можно проверить, но обычно она не учитывает эффект какого-либо экранирования, которое может использоваться.

#### *2.2.12.6. Периодичность*

Данный тест выполняется 1 раз в год.

#### *2.2.12.7. Корректирующие действия*

Повторить тест после проверки параметров экспозиции, расчетов и настройки геометрии, особенно если изменилось размещение

экранирования. Если измеренные значения неприемлемы, то может потребоваться дополнительное экранирование или новое размещение экранирования. В зависимости от характера изменения рассеянного излучения может потребоваться ограничение или приостановка эксплуатации до тех пор, пока не будут обеспечены надлежащие средства радиационной защиты.

### **2.2.13. Способность выявления низкоконтрастных объектов**

#### *2.2.13.1. Описание и цель*

Целью данного теста является проверка возможности выявления низкоконтрастного объекта с помощью простого тест-объекта на регулярной основе. Результат теста оценивается простым подсчетом количества низкоконтрастных деталей, видимых на тест-объекте; наряду с этим предлагается проводить более тщательный анализ изображения. Постоянная регистрация этих значений позволяет выявить любую тенденцию к ухудшению качества обработки изображений. Для этого теста требуется установить исходное значение (по возможности при вводе в эксплуатацию) [12, 15].

#### *2.2.13.2. Оборудование*

Для проведения теста необходимы:

- a) тест-объект с низкой контрастностью (примеры на рис. 15);  
**Примечание.** Следует воспользоваться руководством по применению, поставляемым изготовителем в комплекте с тест-объектом, для выяснения его технических характеристик и получения возможных дальнейших рекомендаций.
- b) медная пластина или другой аттенюатор, как описано в разделе 2.1.3.

#### *2.2.13.3. Процедура*

При проведении данного теста применяется следующая процедура:

- a) разместить тест-объект с низкой контрастностью на столе как можно ближе к приемнику изображения;
- b) установить расстояние от фокусного пятна до приемника изображения, равное примерно 100 см;

- c) отрегулировать коллимацию пучка рентгеновского излучения так, чтобы он охватывал весь тест-объект;
- d) положить медную пластину на блок трубки;
- e) в случае компьютерной рентгенографии стереть пластину перед экспонированием;
- f) произвести экспозицию в соответствии со спецификациями изготовителя тест-объекта (например, 70 кВ с АКЭ) или использовать параметры, определенные при вводе в эксплуатацию.

#### 2.2.13.4. Анализ и интерпретация

Оценить изображение на дисплее, используемое в диагностических целях. Отрегулировать размер окна и увеличение, чтобы оптимизировать видимость деталей. Подсчитать количество разрешаемых объектов с низкой контрастностью на изображении, записать его и сравнить с исходным значением. Тест прост и основан на субъективной визуальной проверке, и он должен выявить тенденции к ухудшению показателей работы системы при визуализации объектов с низкой контрастностью.

#### 2.2.13.5. Исходные значения и допуски

В зависимости от данного тест-объекта медицинским физиком вместе с врачом-рентгенологом и техником-радиологом должно быть определено

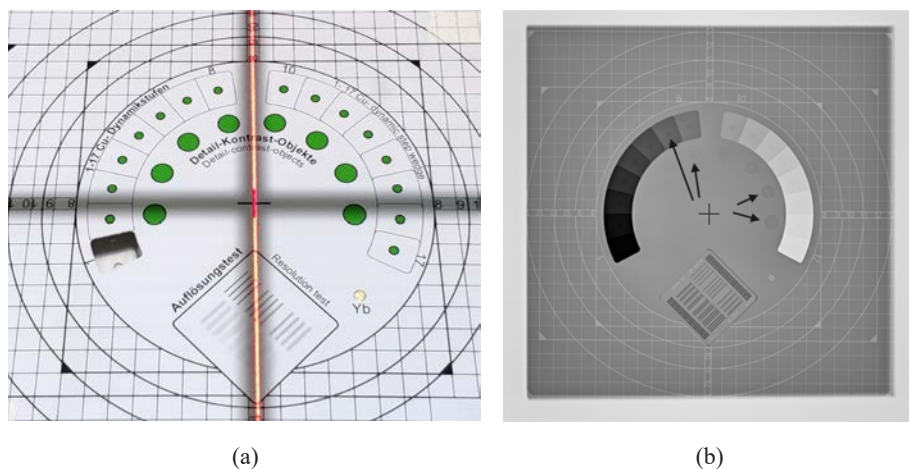


Рис. 15. Изображения низкоконтрастного тест-объекта: (a) фантом; (b) рентгеновское изображение.

и предложено отклонение от исходного значения. Следует использовать согласованные параметры визуализации (клинические протоколы) и обработку изображений.

#### *2.2.13.6. Периодичность*

Данный тест выполняется 1 раз в шесть месяцев.

#### *2.2.13.7. Корректирующие действия*

В случае превышения установленного допуска сначала следует проверить параметры экспозиции и расположение/ориентацию тест-объекта и аттенюатора, а затем повторить тест. Изменение низкоконтрастной видимости может быть вызвано изменением протоколов визуализации, изменением схемы измерений или изменением радиационного выхода и СПО. Проверить их, чтобы убедиться в согласованности изображений. Старение приемников изображения, особенно пластин для компьютерной рентгенографии, также может привести к ухудшению видимости при низкой контрастности. Следует проконсультироваться со специалистами, оценивающими изображения с помощью этой системы, чтобы убедиться в том, что изменение видимости не влияет на клиническую визуализацию. Дальнейшие действия могут включать ограничение использования или приостановку эксплуатации, в зависимости от уровня качества изображения, получаемого на рентгеновском аппарате.

### **2.2.14. Ограничение пространственного разрешения**

#### *2.2.14.1. Описание и цель*

Одной из рабочих характеристик приемника изображения является пространственное разрешение. Для определения этого показателя системы можно использовать простой тест-объект, такой как тест-объект с разрешением по парам линий. Пространственное разрешение измеряется путем простой оценки того, какие группы пар линий видны на изображении. Постоянная регистрация этих значений позволяет выявить любую тенденцию к ухудшению показателей визуализации. Для этого теста необходимо задать исходное значение (предпочтительно во время ввода в эксплуатацию) [4].

### 2.2.14.2. Оборудование

Для этого теста используется тест-объект с пространственным разрешением (штриховой шаблон) (пример приведен на рис. 16).

### 2.2.14.3. Процедура

Для проведения теста применяется следующая процедура:

- a) разместить тест-объект на приемнике изображения. Если это невозможно, разместить тест-объект на столе или стойке «Букки» и повернуть его примерно на  $45^\circ$  относительно краев приемника изображения. Таким образом можно избежать помех, и с помощью этого метода можно получить максимально высокое разрешение;
- b) в случае компьютерной рентгенографии обязательно стереть пластину перед проведением теста;
- c) произвести экспозицию в соответствии со спецификациями изготовителя тест-объекта. При отсутствии такой рекомендации следует использовать достаточно высокую экспозицию для исключения появления шума на изображении. Для тест-объектов толщиной в несколько миллиметров соответствующими значениями могут быть 50 кВ и 10 мА·с; однако для тест-объектов с ПММА толщиной в несколько сантиметров может потребоваться увеличение параметров экспозиции;
- d) зарегистрировать факт использования решетки во время теста;



Рис. 16. Изображение штрихового шаблона, используемого для визуального определения ограниченного пространственного разрешения.

- е) выполнить этот тест для двух размеров фокусного пятна и каждого клинически значимого режима обработки изображений (если такие данные имеются).

**Примечание.** Если этот тест проводится с фантомом (например, 20 см ПММА), необходимо более высокое напряжение на трубке (70–80 кВ).

#### *2.2.14.4. Анализ и интерпретация*

Просмотреть изображение на дисплее, используемом для диагностики. Отрегулировать размер окна и увеличение, чтобы оптимизировать визуализацию тест-объекта. Проверить, какие группы пар линий видны на фантоме. Пары линий должны быть видны по всей длине каждой группы, чтобы считаться «видимыми». Последняя группа, в которой каждая полоса видна в виде отдельной линии, указывает на ограниченное пространственное разрешение (в парах линий на миллиметр) системы. Найти соответствующее пространственное разрешение в спецификациях тест-объекта и сравнить с предыдущим значением.

#### *2.2.14.5. Исходные значения и допуски*

Пространственное разрешение не должно изменяться по сравнению с исходным значением. Убедиться в том, что условия наблюдения аналогичны тем, которые использовались ранее.

#### *2.2.14.6. Периодичность*

Данный тест выполняется 1 раз в шесть месяцев.

#### *2.2.14.7. Корректирующие действия*

В случае подозрений на ухудшение разрешения изображения повторить данный тест. Проверить качество пучка и выбранный размер фокусного пятна вместе с решеткой. Более низкое, чем ожидалось, разрешение может быть вызвано условиями просмотра или субъективным характером теста. Обратиться к последнему тесту, чтобы проверить качество изображения и выполнить корректирующие действия с целью исключения возможных источников наблюдаемых изменений.



*Рис. 17. Приемник цифрового рентгенографического изображения, закрытый свинцовым фартуком для проверки темнового шума.*

## **2.2.15. Шум темнового тока**

### *2.2.15.1. Описание и цель*

Данный тест характеризует еще один аспект функционирования приемника изображения. Он используется для оценки уровня шума, присущего системе считывания; т.е. шума, возникающего от самой системы, без сигнала. Для этого теста требуется установить исходные данные (если возможно, это следует сделать во время ввода в эксплуатацию) [4, 12, 16].

### *2.2.15.2. Оборудование*

Для проведения теста необходимы свинцовые листы или свинцовый фартук (только в случае цифровых рентгенографических систем).

### *2.2.15.3. Процедура*

При проведении данного теста применяется следующая процедура:

- a) отцентрировать рентгеновскую трубку на приемнике изображения, затем закрыть ее свинцовым фартуком или свинцовыми листами (рис. 17);



- b) в случае систем компьютерной рентгенографии использовать свежестертую кассету и оставить ее в заданном положении примерно на 5 мин;
- c) в случае цифровой рентгенографической системы получить изображение с очень малой величиной экспозиции для запуска считывания приемника изображения (например, 40 кВ и 1 мА·с);  
**Примечание.** Можно использовать коллиматор, а также рентгенонепрозрачный поглотитель. Некоторые рентгеновские системы, однако, не могут производить экспонирование при использовании коллиматора, и поэтому на консоли может появиться сообщение об ошибке.
- d) В случае систем компьютерной рентгенографии следует использовать рекомендации по обработке пластины, указанные изготовителем.

#### *2.2.15.4. Анализ и интерпретация*

Обработать изображение и нанести область интереса (ОИ) в центральной части изображения (например, 10% от размера рентгенографической запоминающей пластины). Измерить среднее значение пикселя (MPV) и записать экспозиционный индекс.

Кроме того, провести визуальную оценку и просмотреть изображение. При просмотре с клинически используемыми настройками ширины окна и параметрами уровня должно получаться четкое, однородное изображение без артефактов.

#### *2.2.15.5. Исходные значения и допуски*

Убедиться в том, что зарегистрированный экспозиционный индекс и MPV отличаются не более чем на  $\pm 50\%$  от исходных значений.

#### *2.2.15.6. Периодичность*

Данный тест выполняется 1 раз в год.

#### *2.2.15.7. Корректирующие действия*

В случае систем компьютерной рентгенографии повторить цикл стирания и тест. Если проблему устранить не удастся, следует выполнить проверку на наличие утечек света в кассете или считывающем устройстве, затем обратиться в службу сервисной поддержки. Чрезмерный шум темного тока также может свидетельствовать о потере мощности лазера.

Если тестируется цифровая рентгенографическая система, повышение MPV или экспозиционного индекса может указывать на то, что для коррекции смещения требуется повторная калибровка.

При невозможности компенсировать в системе шум темнового тока следует обсудить качество изображения с пользователями системы и выяснить, влияет ли эта ошибка на клиническую оценку изображения. Если повторная калибровка или корректирующие меры не позволяют устранить данную проблему, следует рассмотреть целесообразность замены приемника изображения. Обсудить результаты с сервисным инженером.

## **2.2.16. Точность измеренных размеров**

### *2.2.16.1. Описание и цель*

Изображение, формируемое на приемнике изображения, часто используется для измерения или масштабирования размеров и расстояний до некоторых объектов. Этот тест может быть использован для того, чтобы убедиться в соответствии расстояний от изображения, измеренных с помощью автоматизированных индикаторов расстояния, фактическим расстояниям [4, 12].

### *2.2.16.2. Оборудование*

Для проведения данного теста необходим ослабляющий излучение тест-объект известных размеров или свинцовая линейка.

### *2.2.16.3. Процедура*

При проведении данного теста применяется следующая процедура:

- a) отцентрировать рентгеновский пучок на приемнике изображения;
- b) установить расстояние от фокусного пятна до приемника изображения, равное примерно 100 см, и измерить его;
- c) поместить тест-объект на приемнике изображения или максимально близко к нему, чтобы уменьшить увеличение. Данная схема должна быть такой, чтобы измерения расстояния можно было выполнять в центре и на периферии приемника изображения. В зависимости от объекта могут потребоваться дополнительные экспозиции;
- d) произвести экспозицию при низком потенциале трубки и достаточном значении  $mA \cdot s$  для визуализации тест-объекта с приемлемым

контрастом. В зависимости от объекта могут потребоваться дополнительные экспозиции.

#### 2.2.16.4. Анализ и интерпретация

Вывести изображение на монитор, используемый для диагностики. Измерить размеры тест-объекта с помощью измерительных инструментов на просмотровой стойке и сравнить результаты измерений с реальными расстояниями (рис. 18). Если приходится использовать увеличение, применить поправки.

#### 2.2.16.5. Исходные значения и допуски

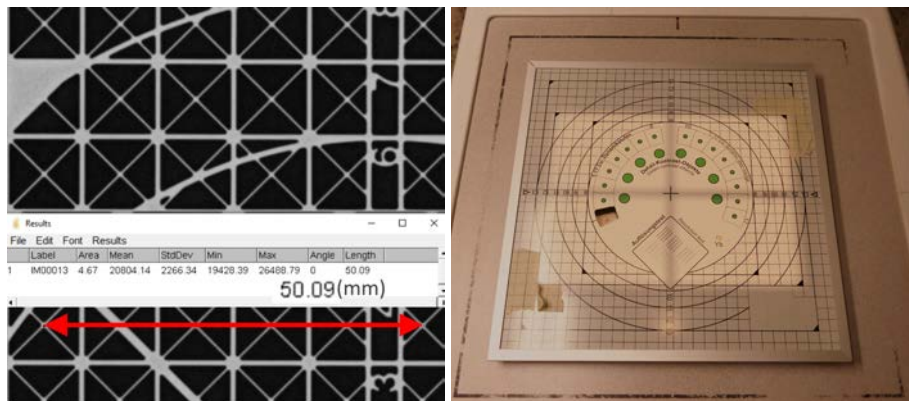
Измеренные размеры должны находиться в пределах  $\pm 2\%$  и предпочтительно в пределах  $\pm 1\%$  от ожидаемых значений.

#### 2.2.16.6. Периодичность

Данный тест выполняется 1 раз в год.

#### 2.2.16.7. Корректирующие действия

Повторить тест и убедиться в том, что линейки в используемом программном обеспечении точно расположены на изображении



(a)

(b)

Рис. 18. (a) Схема теста; (b) оцененное рентгеновское изображение тест-объекта.

тест-объекта. Неправильная настройка в программном обеспечении также может привести к ошибкам в измерениях (например, размер пикселя не соответствует реальному значению). Проверить настройки, регулируемые пользователем. Если проблему устранить не удастся, следует обратиться в службу сервисной поддержки. Если размеры отображаются неправильно, следует сообщить об этом пользователям системы и обратиться в службу сервисной поддержки для проведения калибровки измеренных размеров.

### **2.2.17. Система автоматического контроля экспозиции — согласованность между датчиками**

#### *2.2.17.1. Описание и цель*

В системе автоматического контроля экспозиции (АКЭ) может использоваться несколько датчиков для определения необходимой экспозиции визуализируемого объекта. С помощью данного теста можно проверить согласованность между датчиками и различными комбинациями датчиков в одной системе АКЭ. Очень важно иметь в виду, что не все датчики системы обладают одинаковой чувствительностью, поскольку некоторые системы (например, системы для скрининга грудной клетки) по своему конструктивному исполнению предназначаются для решения конкретной задачи визуализации [4, 12].

#### *2.2.17.2. Оборудование*

Оборудование, необходимое для проведения теста, включает соответствующий аттенуатор (например, блоки ПММА, наполненная водой емкость, другие однородные фантомы, покрывающие всю область датчиков АКЭ). Аттенуатор должен иметь достаточную толщину для обеспечения соответствующего срабатывания системы АКЭ (например, 15 см).

#### *2.2.17.3. Процедура*

При проведении данного теста применяется следующая процедура:

- a) отцентрировать трубку на приемнике изображения, который расположен на стойке «Букки». Установить SID на значение расстояния фокусировки решетки и убедиться в том, что решетка находится на месте;
- b) разместить аттенуатор на столе и отцентрировать его так, чтобы он закрывал датчики АКЭ;

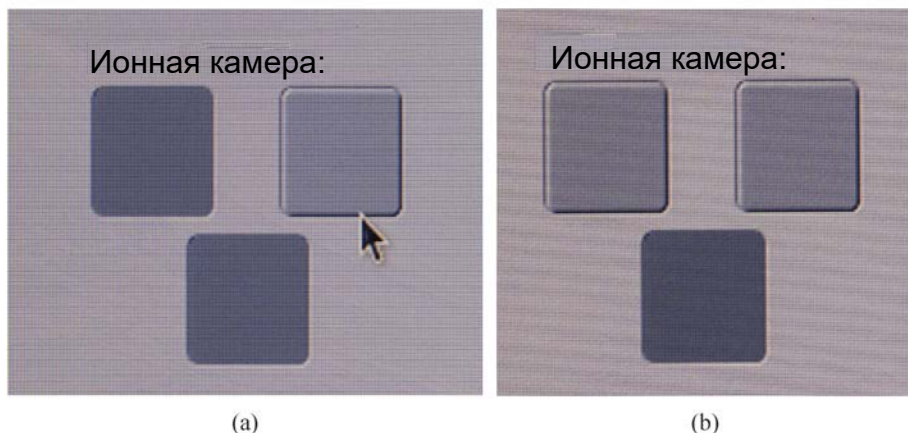


Рис. 19. Различные варианты выбора ионизационных камер системы АКЭ: (а) выбраны левая и центральная ионизационные камеры; (б) выбрана центральная ионизационная камера.

- с) отрегулировать коллимацию пучка так, чтобы были задействованы все датчики АКЭ;
- д) задать центральный датчик АКЭ и напряжение на трубке 70 кВ;
- е) произвести экспозицию и записать значение  $\text{мА}\cdot\text{с}$  после экспозиции и экспозиционный индекс;
- ф) повторить эту же процедуру для всех возможных комбинаций датчиков АКЭ: центрального; левого; правого; левого и правого; левого и центрального; центрального и правого; левого, центрального и правого датчиков АКЭ (рис. 19). Для всех экспозиций следует использовать одинаковое киловольтное напряжение.

#### 2.2.17.4. Анализ и интерпретация

Рассчитать среднее значение  $\text{мА}\cdot\text{с}$  и экспозиционного индекса для всех измерений. Сравнить каждое измеренное значение  $\text{мА}\cdot\text{с}$  и экспозиционного индекса с соответствующими средними значениями.

#### 2.2.17.5. Исходные значения и допуски

Зарегистрированные значения  $\text{мА}\cdot\text{с}$  и экспозиционного индекса должны быть в пределах  $\pm 30\%$  от исходных значений и в пределах  $\pm 20\%$  от средних значений.

Некоторые специализированные системы могут использовать датчики АКЭ с различными калибровочными коэффициентами, что влияет на критерии приемлемости; следовательно, основой для определения правильности функционирования могут быть только исходные значения и датчики АКЭ с аналогичной калибровкой. Датчики, используемые в клинической практике, должны иметь надлежащую калибровку.

#### *2.2.17.6. Периодичность*

Данный тест выполняется 1 раз в год.

#### *2.2.17.7. Корректирующие действия*

В случае получения резко отклоняющегося отклика повторить данный тест. Для этого полностью изменить геометрическую компоновку и настройки, чтобы исключить возможность ошибок, и каждый раз обеспечивать, чтобы выбиралась соответствующая ионизационная камера.

После повторения теста проверить, выдает ли данный датчик значение, выходящее за пределы допусков. В случае обнаружения превышения пределов может потребоваться повторная калибровка.

Кроме того, в случае подозрений на ошибку в элементах управления системы АКЭ следует проверить кратковременную воспроизводимость (раздел 2.2.18).

Если повторные тесты подтверждают, что проблему с системой решить не удастся, следует обратиться в службу сервисной поддержки для настройки системы АКЭ. Когда для АКЭ требуется повторная калибровка, ее использование ограничивается исключительно режимом ручной экспозиции

### **2.2.18. Система автоматического контроля экспозиции — кратковременная воспроизводимость**

#### *2.2.18.1. Описание и цель*

Как и генератор рентгеновского излучения, система АКЭ должна реагировать согласованно. Совершенно необходимо, чтобы при одинаковых условиях система АКЭ определяла одинаковые параметры экспозиции, с тем чтобы обеспечить минимально возможную дозу для получения требуемого качества изображения. Данный тест используется для проверки согласованности работы системы АКЭ при последовательно производимых экспозициях [4, 12].

### *2.2.18.2. Оборудование*

Для данного теста необходим соответствующий аттенюатор (например, блоки ПММА, наполненная водой емкость, другие однородные фантомы, покрывающие всю область датчиков АКЭ). Аттенюатор должен иметь достаточную толщину для обеспечения соответствующего срабатывания системы АКЭ (например, 15 см). Данная схема аналогична схеме, описанной в разделе 2.2.17.

### *2.2.18.3. Процедура*

При проведении данного теста применяется следующая процедура:

- a) отцентрировать трубку на приемнике изображения, который находится на стойке «Букки». Установить SID на значение расстояния фокусировки решетки и убедиться в том, что решетка находится на месте;
- b) установить аттенюатор на столе так, чтобы он закрывал датчики АКЭ;
- c) отрегулировать коллимацию пучка так, чтобы он покрывал весь аттенюатор;
- d) выбрать для трубки значение напряжения, которое использовалось ранее для этого теста (например, 70 кВ), и наиболее часто используемый(е) датчик(и) АКЭ;
- e) произвести экспозицию и записать полученное значение мА·с и экспозиционного индекса;
- f) повторить предыдущий шаг еще четыре раза. Для всех этих экспозиций следует использовать одни и те же настройки.

### *2.2.18.4. Анализ и интерпретация*

Рассчитать среднее значение мА·с и экспозиционного индекса для всех пяти измерений. Сравнить каждое значение мА·с и экспозиционного индекса с соответствующими средними значениями.

### *2.2.18.5. Исходные значения и допуски*

Значение мА·с и экспозиционного индекса должны быть в пределах  $\pm 40\%$  от соответствующих средних значений.

### *2.2.18.6. Периодичность*

Данный тест выполняется 1 раз в год.

### *2.2.18.7. Корректирующие действия*

В случае превышения допуска повторить тест, убедившись, что каждая схема соответствует схемам, которые использовались ранее (например, проверить, на месте ли решетка). Если результат теста снова получается неудовлетворительным, следует обратиться в службу сервисной поддержки. Когда для АКЭ требуется повторная калибровка, ее использование ограничивается режимом ручной экспозиции.

## **2.2.19. Система автоматического контроля экспозиции — компенсация киловольтного напряжения и толщины**

### *2.2.19.1. Описание и цель*

У данного теста две цели. Во-первых, он используется для проверки того, что система АКЭ выдает согласованный отклик в диапазоне значений киловольтного напряжения. Во-вторых, он позволяет убедиться в том, что система АКЭ компенсирует толщину визуализируемого объекта и обеспечивает достаточную дозу на поверхности приемника изображения. Для сочетания этих требований необходимо, чтобы этот тест проводился на регулярной основе [4, 12].

### *2.2.19.2. Оборудование*

Для этого теста требуется соответствующий аттенюатор (например, блоки ПММА, наполненная водой емкость или другие однородные фантомы, покрывающие всю площадь датчика АКЭ). В тесте на компенсацию толщины общая толщина аттенюатора варьируется, поэтому следует использовать блоки общей толщиной 10, 15 и 20 см, с тем чтобы ограничить тест той толщиной, которая наиболее часто используется в клинической практике. В случае регулярного использования аппарата для исследования детей или конечностей следует рассмотреть целесообразность проведения тестов с более тонкими аттенюаторами. Описание такой схемы приведено в разделе 2.2.17.

### *2.2.19.3. Процедура*

При проведении данного теста применяется следующая процедура:

- a) компенсация киловольтного напряжения:



- i) отцентрировать трубку на приемнике изображения, который находится на стойке «Букки», и установить SID на значение расстояния фокусировки решетки. Убедиться в том, что решетка находится на месте;
  - ii) разместить аттенюатор на столе так, чтобы он закрывал датчики АКЭ. Выбранная толщина аттенюатора должна быть средней из имеющихся в наличии;
  - iii) отрегулировать коллимацию пучка так, чтобы он покрывал весь аттенюатор;
  - iv) выбрать для трубки обычно используемое значение напряжения (например, 70 кВ) и наиболее часто используемый(е) датчик(и) АКЭ;
  - v) произвести экспозицию с выбранными значениями и далее записать полученное значение мА·с и экспозиционного индекса;
  - vi) повторить предыдущий шаг с двумя другими значениями напряжения на трубке — более высоким и более низким (например, 60 кВ и 85 кВ);
- b) компенсация толщины:
- i) отцентрировать трубку на приемнике изображения, который находится на стойке «Букки». Установить SID на значение расстояния фокусировки решетки и убедиться в том, что решетка находится на месте;
  - ii) разместить аттенюатор на столе так, чтобы он закрывал датчики АКЭ;
  - iii) отрегулировать коллимацию пучка так, чтобы он покрывал весь аттенюатор;
  - iv) выбрать для трубки обычно используемое значение напряжения (например, 70 кВ) и наиболее часто используемый(е) датчик(и) АКЭ. Сохранять это напряжение на трубке в течение данной части теста;
  - v) произвести экспозицию и записать полученное значение мА·с и экспозиционного индекса;
  - vi) повторить предыдущий шаг с двумя другими значениями толщины аттенюатора — более высоким и более низким, как указано в разделе 2.2.19.2.

**Примечание.** Для удобства можно использовать комбинации значений киловольтного напряжения и толщины аттенюатора, что дает в общей сложности девять комбинаций вместо трех, рекомендованных выше. Это может помочь в распознавании закономерностей в работе системы АКЭ.

#### *2.2.19.4. Анализ и интерпретация*

Анализ и интерпретация результатов тестов осуществляются следующим образом:

- a) компенсация киловольтного напряжения:  
сравнить значение мА·с и экспозиционного индекса с соответствующими исходными значениями и рассчитать их разницу;
- b) компенсация толщины:  
рассчитать среднее значение мА·с и экспозиционного индекса для всех измерений, выполненных при различной толщине аттенюатора. Сравнить каждое измеренное значение мА·с и экспозиционного индекса с соответствующими средними значениями.

#### *2.2.19.5. Исходные значения и допуски*

Для каждого этапа этого теста рассчитанная разница не должна превышать  $\pm 40\%$  от исходного значения и фактического среднего значения.

#### *2.2.19.6. Периодичность*

Данный тест выполняется 1 раз в год.

#### *2.2.19.7. Корректирующие действия*

В случае превышения допуска повторить тест, убедившись, что каждая используемая схема соответствует схемам, которые применялись ранее (например, проверить, на месте ли решетка). Значительных отклонений от зарегистрированных значений не должно быть, даже если имеют место незначительные изменения в компоновке. Если АКЭ не компенсирует толщину или киловольтное напряжение, как ожидалось, его работоспособность можно оценить с помощью теста на кратковременную воспроизводимость после проверки общих показателей работы генератора (например, точность киловольтного напряжения, линейность, воспроизводимость). При подозрении на неисправность системы АКЭ или генератора следует обратиться в службу сервисной поддержки.

## 2.2.20. Срабатывание защитного таймера автоматического контроля экспозиции

### 2.2.20.1. Описание и цель

В случае отказа системы или технической ошибки экспонирование должно останавливаться в течение определенного периода времени (называемого «задержкой срабатывания») или при определенном значении мА·с. Данный тест гарантирует, что система АКЭ будет останавливать экспонирование при достижении соответствующей уставки срабатывания защитного таймера [4, 12].

### 2.2.20.2. Оборудование

Для проведения теста необходимы:

- a) прибор, способный измерять время экспозиции в диапазоне 5–5000 мс;
- b) свинцовый лист толщиной не менее 2 мм, достаточно большой, чтобы закрыть всю площадь датчиков АКЭ.

### 2.2.20.3. Процедура

При проведении данного теста применяется следующая процедура:

- a) отцентрировать трубку на приемнике изображения, который находится на стойке «Букки». Установить SID на достаточное значение расстояния (например, 100 см);
- b) поместить свинцовый лист перед пучком;
- c) расположить прибор по главной оси рентгеновского пучка так, чтобы его чувствительная область была обращена к рентгеновской трубке (рис. 20);
- d) отрегулировать коллимацию пучка на области, где расположены датчики АКЭ;

**Примечание.** Для удобства трубка также может быть направлена в сторону от приемника изображения (например, направлена на пол), а коллиматор может быть полностью закрыт. Некоторые рентгеновские системы не позволяют производить экспозицию при такой компоновке, поэтому эта схема может быть использована не всегда.

- e) выбрать низкое напряжение для трубки ( $\leq 60$  кВ) и установить защитный таймер на достаточно низкий уровень срабатывания (например,



*Рис. 20. Компоновка теста для проверки защитного таймера системы АКЭ со свинцовым листом, расположенным под твердотельным дозиметром.*

40 мА·с). Выбрать для этого теста наиболее часто используемые датчики АКЭ;

- f) произвести экспозицию с указанными выше настройками;
- g) записать время экспозиции и отметить появляющиеся сообщения об ошибках, получаемых в качестве обратной связи по этой экспозиции.

**Примечание.** Следует регистрировать также измеренную дозу, если прибор позволяет делать это.

#### *2.2.20.4. Анализ и интерпретация*

Убедиться, что работа АКЭ останавливается при достижении защитной уставки или до достижения данной настройки.

#### *2.2.20.5. Исходные значения и допуски*

Режим работы системы АКЭ устанавливается во время ввода в эксплуатацию. В нем не должно быть изменений на протяжении всего жизненного цикла оборудования. При возникновении изменений следует обратиться за консультацией к сервисному инженеру, поскольку изменение в управляющем программном обеспечении или настройках может повлиять на работу защитного таймера АКЭ.

#### *2.2.20.6. Периодичность*

Данный тест выполняется 1 раз в год.

#### *2.2.20.7. Корректирующие действия*

Изменения в режиме работы системы маловероятны. Если это происходит, следует проконтролировать надлежащее функционирование АКЭ. Если АКЭ функционирует не должным образом, следует обратиться в службу сервисной поддержки для выяснения причины изменения. Если в целом аппарат работает удовлетворительно, его можно использовать с должной осторожностью.

### **2.2.21. Соответствие однородности изображения и чувствительности пластины для компьютерной рентгенографии**

#### *2.2.21.1. Описание и цель*

Данный тест используется для оценки артефактности и источника артефактов, наблюдаемых на цифровых рентгенографических изображениях, и для подтверждения того, что изображение однородного тест-объекта действительно является однородным. Тест включает как визуальную, так и количественную оценку однородности изображения.

Поскольку в системах компьютерной рентгенографии используются разные приемники изображения, каждая пластина должна тестироваться индивидуально. Хотя данный тест несколько отличается от теста, который применяется в цифровой рентгенографии, он также может быть использован для подтверждения однородности/чувствительности пластин для компьютерной рентгенографии и для определения наличия артефактов, связанных с пластинами [4, 12, 16].

### 2.2.21.2. Оборудование

Для данного теста используется блок ПММА одинаковой толщины приблизительно 20 см или медная пластина толщиной 1 мм, предпочтительно достаточно большая, чтобы закрыть весь приемник изображения (35 см × 43 см).

### 2.2.21.3. Процедура

При проведении данного теста применяется следующая процедура:

- a) отцентрировать рентгеновскую трубку на стойке «Букки», используя расстояние от фокусного пятна до изображения, равное 100 см;  
**Примечание.** Для систем компьютерной рентгенографии следует использовать большее SID (не менее 150 см) и две экспозиции, одна под углом 45° к другой, чтобы зафиксировать изменения интенсивности из-за анодного пяточного эффекта и фактического отсутствия однородности.
- b) отрегулировать коллимацию пучка так, чтобы покрыть всю область приемника изображения, и убедиться в том, что все датчики АКЭ закрыты;
- c) поместить блок ПММА перед стойкой «Букки» или вставить медную пластину в соответствующее гнездо коллиматора. Конфигурация для измерений аналогична той, которая используется для тестов на согласованность АКЭ (раздел 2.2.17);
- d) экспозицию предпочтительно производить с помощью АКЭ. Если оборудование не имеет АКЭ, то выбрать экспозиционные индексы вручную (например, 70 кВ и 3 мА·с для медной пластины). Для систем компьютерной рентгенографии важно использовать одни и те же параметры экспозиции;  
**Примечание.** В случае систем компьютерной рентгенографии каждый раз, когда новая пластина вставляется в стойку «Букки», следует регистрировать ее идентификационные данные и состояние (например, защелки, петли, целостность), а также экспозиционный индекс, полученный на основании показаний прибора.
- e) произвести экспозицию и записать использованные показатели (например, режим и настройки АКЭ, киловольтное напряжение, значение мА·с);
- f) выполнить обработку пластины с постоянной задержкой по времени (например, 30 с) для минимизации эффекта потускнения скрытого

изображения, используя при этом одни и те же варианты меню и обработки изображения для каждой пластины;

- g) записать экспозиционный индекс и значение мА·с, использованные для каждой кассеты;
- h) повторить шаги d)–g) для всех пластин.

#### 2.2.21.4. Анализ и интерпретация

Анализ и интерпретация результатов тестов осуществляются следующим образом:

- a) визуально просмотреть каждое изображение на АРМ (рабочей станции) и проверить изображение на артефактность (например, следы царапин, зазубрин, вмятин, битых пикселей, пятен) и однородность. Для просмотра изображения следует использовать окно узкой ширины. Фиксировать наличие или отсутствие значимых артефактов;
- b) выбрать пять ОИ: одну в центре изображения и четыре в центрах каждого квадранта. Размер ОИ должен составлять примерно  $100 \times 100$  пикселей;
- c) вычислить среднее количество пикселей в ОИ. Рассчитать максимальную разность для каждой ОИ по сравнению со средним значением;  
**Примечание.** При отсутствии линейной зависимости между значением пикселя и экспозицией для средних значений потребуются коррекция, если характеристики передачи сигнала приемника изображения не являются линейными.
- d) кроме того, в случае систем компьютерной рентгенографии выполнить следующие действия:
  - i) рассчитать средний экспозиционный индекс и значение мА·с для всех пластин одинакового размера;
  - ii) для каждой пластины определить разность и процентное различие между значением мА·с и экспозиционным индексом для данной пластины и соответствующими средними значениями.

#### 2.2.21.5. Исходные значения и допуски

Скорректированные значения ОИ должны быть в пределах  $\pm 20\%$  от среднего значения. Изображение не должно содержать артефактов, которые могли бы помешать его клиническому использованию (например, пыль, интерференционные (муаровые) линии, сбои в пикселях, видимые линии сетки, искажения).

Изготовитель обычно указывает допуск на экспозиционный индекс системы компьютерной рентгенографии. Как правило, значение мА·с, используемое для конкретной пластины, должно быть в пределах  $\pm 5\%$  от среднего значения для пластин одного размера.

#### *2.2.21.6. Периодичность*

Данный тест выполняется 1 раз в год. В случае систем компьютерной рентгенографии рекомендуется проводить этот тест чаще — 1 раз в шесть месяцев и после любого обслуживания считывающего устройства системы компьютерной рентгенографии, которое может влиять на эффективность его функционирования.

#### *2.2.21.7. Корректирующие действия*

В случае превышения допуска в цифровой рентгенографической системе выполнить коррекцию плоского поля по методике изготовителя или для проведения данного теста обратиться за помощью к сервисному инженеру.

В случае пластин для компьютерной рентгенографии следует сначала попробовать их почистить и проверить, регулярно ли обслуживалась оптика считывающего устройства. Затем повторить тест. Если проблему устранить не удастся, следует удалить или заменить пластины.

Если проблему устранить не удастся и сервисный инженер не может выполнить коррекцию (например, битый пиксель) или калибровку, следует зафиксировать положение артефакта и обсудить его с рентгенологами, чтобы оценить его влияние на диагностическую визуализацию.

Пластины, которые не соответствуют разрешенным допускам, должны быть изъяты из клинического использования. Пластины со значительными артефактами, которые невозможно удалить чисткой, следует заменить. Пластины для компьютерной рентгенографии имеют ограниченный срок службы, и при значительном снижении их чувствительности их следует заменять. Неоднородность изображения не должна влиять на клиническую визуализацию и оценку; если это происходит, рентгенографическую запоминающую пластину следует заменить.



## **2.2.22. Эффективность стирания (только компьютерная рентгенография)**

### *2.2.22.1. Описание и цель*

Для того чтобы рентгенографические запоминающие пластины в компьютерной рентгенографии можно было использовать повторно для получения изображений, они должны быть считаны и стерты. Технологические особенности процесса получения изображений в компьютерной рентгенографии обуславливают возможность появления остаточных сигналов на последующих снимках. Стирание следует выполнять тщательно для того, чтобы предотвратить появление ложных контуров (повторное появление скрытых изображений), и необходимо проводить регулярное тестирование стирания с целью оценки его эффективности [16].

### *2.2.22.2. Оборудование*

Для проведения теста необходимо иметь:

- a) кусок материала с высоким коэффициентом ослабления, размеры которого меньше размеров используемой рентгенографической запоминающей пластины (например, это может быть свинцовый лист толщиной 2 мм или медная пластина толщиной свыше 3 мм и площадью 5–15 см<sup>2</sup>);
- b) свинцовый фартук.

### *2.2.22.3. Процедура*

При проведении данного теста применяется следующая процедура:

- a) положить свинцовый фартук на стол;
- b) поместить свежестертую пластину для компьютерной рентгенографии на свинцовый фартук и отцентрировать рентгеновскую трубку на пластине на достаточно большом расстоянии, порядка 150–180 см;
- c) отрегулировать коллиматоры так, чтобы экспонировалась вся площадь пластины для компьютерной рентгенографии, и установить аттенуатор по центру (рис. 21);
- d) задать напряжение 60 кВ и соответствующее значение мА·с так, чтобы пластину для компьютерной рентгенографии можно было



Рис. 21. Схема теста для проверки эффективности стирания изображений на запоминающих пластинах (ЗП) для компьютерной рентгенографии. (а) Экспозиция пластины для компьютерной рентгенографии с ослабляющим материалом; (б) экспозиция пластины для компьютерной рентгенографии без ослабляющего материала.

- экспонировать примерно на уровне 50 мкГр в режиме ручной экспозиции. Никакой дополнительной фильтрации не требуется;
- е) обработать пластину для компьютерной рентгенографии, по умолчанию применив процедуру визуализации, рекомендованную изготовителем. Сохранить это изображение, а затем подготовить пластину для следующей экспозиции и стереть ее;
  - ф) поместить эту же пластину для компьютерной рентгенографии на свинцовый фартук в том же положении, что и при первой экспозиции;
  - г) снова экспонировать пластину для компьютерной рентгенографии, применяя часть значения мА·с, использованного ранее. Установить соответствующее значение мА·с таким расчетом, чтобы пластину можно было экспонировать примерно на уровне 1 мкГр, но без аттенуатора во время экспонирования;
  - h) считать данные пластины для компьютерной рентгенографии с теми же параметрами.

**Примечание.** Количественный анализ подробно описан в [16], включая последующую обработку пластины для компьютерной рентгенографии.

#### *2.2.22.4. Анализ и интерпретация*

Визуально просмотреть изображение на предмет обнаружения каких-либо следов первого изображения. Оценить изображения, просмотрев их на дисплее, используемом в клинической практике для диагностики пациентов, с соответствующими параметрами выравнивания и ширины окна.

#### *2.2.22.5. Исходные значения и допуски*

Отсутствие ареола ослабляющего материала на втором изображении свидетельствует о достаточной эффективности стирания. В любом случае следов ареола быть не должно, так как ареол может влиять на результаты клинического использования системы визуализации.

#### *2.2.22.6. Периодичность*

Данный тест выполняется 1 раз в год.

#### *2.2.22.7. Корректирующие действия*

При наличии ложных контуров стереть пластину для компьютерной рентгенографии и повторить тест. Некоторые системы считывания компьютерной рентгенографии имеют регулируемое время стирания, и повторной калибровки этого параметра может быть достаточно для устранения появления ложных контуров. При появлении сохраняющегося изображения может потребоваться замена источника света, используемого для стирания, и сохраняющееся изображение может указывать на то, что произошел износ пластин для компьютерной рентгенографии при их интенсивном использовании; в этом случае следует обратиться в службу сервисной поддержки для изучения причины появления ложных контуров. Неоднородность изображения не должна влиять на клиническую визуализацию и оценку. Если неоднородность изображения влияет на результаты клинической визуализации и оценки, данная рентгенографическая запоминающая пластина подлежит замене.

### 3. АППАРАТЫ ДЛЯ РЕНТГЕНОСКОПИИ И АНГИОГРАФИИ

Применительно к стационарным рентгенографическим и рентгеноскопическим аппаратам следует выполнять все соответствующие тесты, указанные в разделе 2, поскольку многие из этих рентгеновских аппаратов работают также в режиме рентгенографической визуализации. В случае мобильных устройств (например, рентгеновского аппарата типа «С-дуга») соответствующее тестирование параметров трубки следует проводить в режиме рентгеноскопии с помощью автоматического управления мощностью экспозиционной дозы (AERC), также называемого автоматической регулировкой яркости или автоматическим выбором мощности дозы. Информация о тестах генератора излучения приведена в разделе 2, поскольку для правильной работы AERC требуется аттенюатор. При работе в режиме рентгеноскопии дополнительная фильтрация может значительно варьироваться в зависимости от настроек системы и протокола визуализации. Поэтому при выполнении тестов очень важно использовать те же настройки визуализации, которые применяются в клинической практике.

#### 3.1. ТЕСТЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА, ВЫПОЛНЯЕМЫЕ РЕНТГЕНОЛОГАМИ

##### 3.1.1. Воспроизводимость автоматического управления мощностью экспозиционной дозы

###### 3.1.1.1. *Описание и цель*

Воспроизводимость автоматического управления мощностью экспозиционной дозы (AERC) является обязательной для всех рентгеноскопических аппаратов. Система AERC автоматически настраивает параметры экспозиции, чтобы обеспечить заданное качество изображения при постоянно меняющихся условиях ослабления рентгеновского пучка. Постоянство настроек системы AERC при различных нагрузках, фантомах и настройках следует регулярно проверять, чтобы убедиться в том, что система AERC работает надлежащим образом [7].

### 3.1.1.2. Оборудование

Для проведения теста необходимы:

- a) блоки ПММА толщиной 10–20 см, которые могут закрывать всю площадь приемника изображения. В качестве альтернативы можно использовать медные пластины толщиной 1 и 2 мм, которые закрывают всю площадь приемника изображения;
- b) мерная лента или линейка.

### 3.1.1.3. Процедура

При проведении данного теста применяется следующая процедура:

- a) установить расстояние от фокусного пятна до приемника изображения, равное 100 см или другому клинически значимому расстоянию, использованному ранее, и установить держатель рентгеновской трубки и приемника изображения в вертикальное положение;  
**Примечание.** Во многих случаях удобнее повернуть рентгеновскую трубку в перевернутое положение, когда трубка находится на верхнем конце «С-дуги», а не в обычном положении «под кушеткой».
- b) поставить стол или кушетку рядом с приемником изображения;
- c) установить блок ПММА толщиной 10 см на кушетку или стол или положить медную пластину толщиной 1 мм на коллиматор, либо на стол (рис. 22);
- d) отметить или нарисовать точную геометрию этой схемы и измерить расстояние от фокусного пятна до приемника изображения, расстояние от фокусного пятна до стола и расстояние от фокусного пятна до тест-объекта;
- e) задать наиболее часто используемый протокол визуализации (т.е. дополнительную фильтрацию), размер фокусного пятна и режим работы (например, режим высокой, средней или низкой мощности дозы, частота импульсов). Поле зрения (ПЗ) также должно быть максимально большим. Убедиться в том, что решетка расположена так же, как и при определении исходных условий. Записать эти настройки;
- f) выставить достаточно длительную экспозицию для того, чтобы система АЕРС выдавала постоянное значение (например, свыше 5 с), и записать киловольтное напряжение, ток, выбранные дополнительные фильтры, длительность импульса и количество кадров в секунду. Проверить правильность заданных параметров на предыдущем шаге. Записать все соответствующие значения, получаемые в качестве обратной связи;

- g) изменить выбранный размер поля и повторить шаги d)–f) для каждого клинически значимого увеличения ПЗ;
- h) повторить шаги с)–g) с различной толщиной ослабляющих объектов (например, 15 см и 20 см ПММА, медная пластина 2 мм и (2 + 1) мм).

#### 3.1.1.4. Анализ и интерпретация

Для каждой настройки и параметра сравнить результаты показаний с ранее установленным исходным уровнем.

#### 3.1.1.5. Исходные значения и допуски

Допуск по отношению к исходному уровню для киловольтного напряжения составляет  $\pm 5\%$ ; для тока  $\pm 20\%$ .



Рис. 22. Простая компоновка теста с использованием блока ПММА для проверки выполнения настроек системы AERC.

### *3.1.1.6. Периодичность*

Частоту проведения теста следует корректировать в соответствии с полученными результатами и решением медицинского физика.

### *3.1.1.7. Корректирующие действия*

При каждом выявлении различия, выходящего за пределы указанных допусков, следует проверять параметры экспозиции и геометрию схемы теста. Если данная схема такая же, как схема, которая применялась для установления исходных значений, повторить тест после полного сброса результатов измерения и настройки.

Если отклонение устранить не удастся, следует обратиться к медицинскому физика с просьбой изучить данную проблему более тщательно, поскольку она может серьезно влиять на качество изображения. В конечном счете, если ошибка воспроизводится, следует обратиться к сервисному инженеру. Рентгеновский аппарат не допускается к эксплуатации, если блок AERC не работает должным образом.

## **3.2. ТЕСТЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА, ВЫПОЛНЯЕМЫЕ МЕДИЦИНСКИМИ ФИЗИКАМИ**

### **3.2.1. Верификация коллимации пучка**

#### *3.2.1.1. Описание и цель*

Убедиться в том, что коллимация пучка рентгеновского излучения отрегулирована так, чтобы общая экспонированная площадь при наибольшем ПЗ оставалась в границах краев приемника изображения [14].

#### *3.2.1.2. Оборудование*

Для проведения теста необходимы:

- a) фантом для проверки коллимации поля, содержащий сетку и метки известных размеров, или флуоресцентный экран с метками;
- b) пластина для компьютерной рентгенографии или самопроявляющаяся пленка;
- c) мерная лента или линейка.

### 3.2.1.3. Процедура

Для проведения теста применяется следующая процедура:

- a) измерение размера поля с помощью устройства визуализации:
  - i) установить держатель рентгеновской трубки и приемник изображения в вертикальное положение;  
**Примечание.** В некоторых случаях целесообразным может оказаться перевернутое положение рентгеновской трубки и приемника изображения.
  - ii) поместить пластину для компьютерной рентгенографии или аналогичное устройство визуализации на приемник изображения рентгеноскопического аппарата или максимально близко к нему;
  - iii) установить фантом на устройство визуализации. Записать расстояние до каждого объекта в такой схеме и рассчитать коэффициент увеличения;
  - iv) переместить рентгеновскую трубку в максимально возможное близкое положение к приемнику изображения и выбрать максимально возможный размер поля путем полного открытия устройства ограничения пучка;
  - v) экспонировать фантом соответствующим образом для получения изображения и записать параметры экспозиции;
  - vi) получить изображение с устройства визуализации;
  - vii) повторить шаги ii)–vi), расположив устройство визуализации в самом дальнем положении от приемника изображения;
- b) измерение размера поля с помощью флуоресцентного экрана:
  - i) переместить рентгеновскую трубку в максимально возможное близкое положение к приемнику изображения и выбрать максимально возможный размер ПЗ;
  - ii) приглушить общий свет в помещении;
  - iii) надев свинцовый фартук, перемещать флуоресцентный экран по краям приемника изображения во время экспозиции и оценить, облучает ли пучок области за краями приемника изображения рентгеноскопического аппарата;
  - iv) выяснить, не отсутствует ли коллимация рентгеновского пучка по краям приемника изображения, и измерить его протяженность (рис. 23).



#### 3.2.1.4. Анализ и интерпретация

Изображения оцениваются путем измерения расстояния между краем поля рентгеновского излучения и номинальным краем приемника изображения в плоскости визуализационного устройства или флуоресцентного экрана. Измерения должны быть скорректированы с учетом коэффициента увеличения. См. разделы 2.1.1 и 2.2.1.

#### 3.2.1.5. Исходные значения и допуски

Независимо от применяемого метода поле рентгеновского излучения не должно отклоняться от области приемника изображения более чем на 2% расстояния от фокусного пятна до приемника изображения.

#### 3.2.1.6. Периодичность

Данный тест выполняется 1 раз в год.

#### 3.2.1.7. Корректирующие действия

Повторить тест после полного сброса настроек. Проверить блок рентгеновской трубки и коллиматор на наличие видимых механических дефектов. Убедиться в отсутствии нарушений в работе устройства ограничения пучка при всех выбранных размерах полей (раздел 3.3.8).

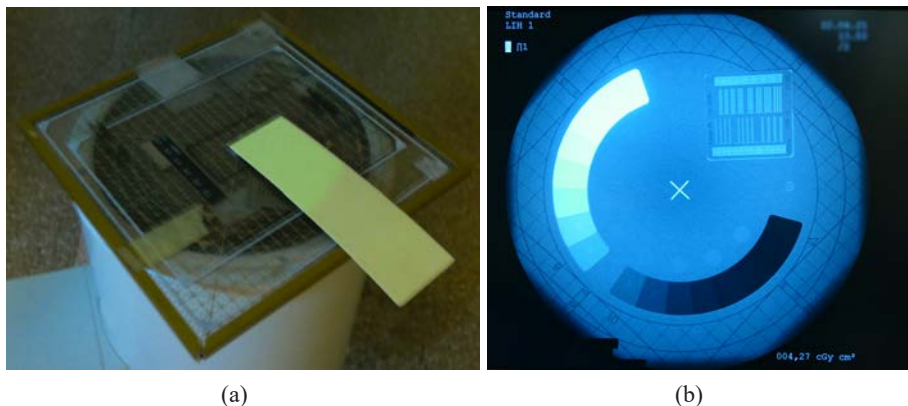


Рис. 23. (а) Схема теста для верификации коллимации рентгеновского пучка с помощью флуоресцентного экрана. (б) На краю изображения виден ирисовый коллиматор, что указывает на приемлемое ограничение пучка.

В зависимости от ситуации может потребоваться ограничение или приостановка эксплуатации до выполнения ремонта устройства ограничения пучка.

### **3.2.2. Верификация геометрии пучка**

Большинство рентгеноскопических аппаратов не имеют индикатора светового поля. Но если он в системе имеется, провести тест, описанный в разделе 2.1.1 (скорректированный в зависимости от типа оборудования, например стационарный аппарат или аппарат типа «С-дуга») [4, 5], а также тест, описанный в разделе 3.3.6. Эти тесты должны проводиться 1 раз в год старшим медицинским физиком.

### **3.2.3. Верификация полей различных размеров**

#### *3.2.3.1. Описание и цель*

Увеличение и правильная коллимация играют важную роль в ограничении облучения пациента. Этот тест полезен для оценки размера поля, а также для обеспечения правильной работы коллиматора. Он используется для проверки соответствия номинального и автоматически устанавливаемого ПЗ [14].

#### *3.2.3.2. Оборудование*

Необходимым оборудованием является фантом (с метками или сеткой с соответствующими ячейками, размеры которых известны), перекрывающий всю площадь приемника изображения. Для этого теста монеты или другие подобные маркеры использовать неудобно.

#### *3.2.3.3. Процедура*

При проведении данного теста применяется следующая процедура:

- a) установить держатель рентгеновской трубки и приемник изображения в вертикальное положение;
- b) поместить тест-объект на приемнике изображения и выполнить центрирование;
- c) выбрать наибольшее ПЗ и увеличение и полностью открыть коллиматор;
- d) выбрать следующий размер ПЗ;

- е) экспонировать фантом и позволить системе AERC установить параметры для получения изображения; записать эти параметры при оценке изображения;
- ф) выбрать меньшее ПЗ и повторять шаги d) и е) до тех пор, пока не будут проверены все значения ПЗ (рис. 24).

#### 3.2.3.4. Анализ и интерпретация

Анализ и интерпретация результатов тестов осуществляются следующим образом:

- а) оценить отображаемый на дисплее размер поля для каждого ПЗ;
- б) определить, нет ли отклонения от номинального ПЗ.

#### 3.2.3.5. Исходные значения и допуски

Размер поля рентгеновского излучения не должен отклоняться от номинальной площади более чем на  $\pm 2\%$  SID.

#### 3.2.3.6. Периодичность

Данный тест выполняется 1 раз в год.

#### 3.2.3.7. Корректирующие действия

Тест следует повторять после полного сброса настроек. Проверить блок рентгеновской трубки и коллиматор на наличие видимых механических

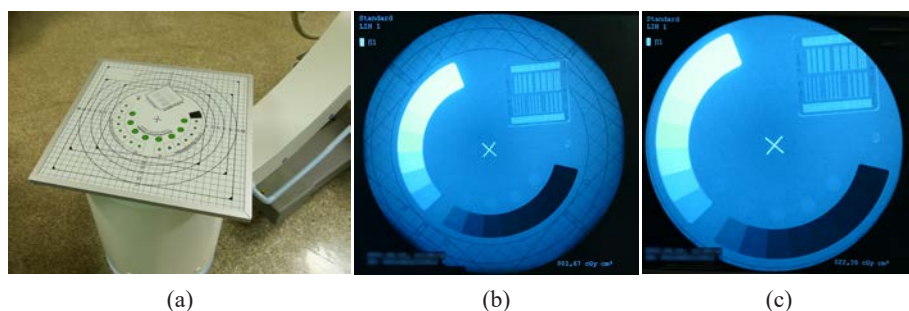


Рис. 24. (а) Схема теста для верификации размера поля рентгеноскопического аппарата с «С-дугой» с использованием тест-объекта. Изображения с диаметром поля зрения (b) 23 см и (c) 16 см.

дефектов. Следует обратиться к сервисному инженеру компании-изготовителя с просьбой отрегулировать устройство ограничения пучка.

### **3.2.4. Мощность воздушной кермы на входной поверхности тела пациента**

#### *3.2.4.1. Описание и цель*

Целью этого теста является верификация того, что максимально достижимая мощность воздушной кермы на входной поверхности (ESAK) находится ниже предела, установленного в данном медицинском учреждении или на национальном уровне. Кроме того, результаты измерений полезны для оценки ожидаемых пиковых уровней дозы на коже [6, 9, 11]. Важно подчеркнуть, что этот тест следует дополнять мониторингом максимальной дозы на коже во время данной процедуры и оценкой облучения пациента.

#### *3.2.4.2. Оборудование*

Для проведения теста необходимы:

- a) дозиметр с калиброванной ионизационной камерой или твердотельным детектором. Детектор не должен влиять на настройки автоматического управления мощностью экспозиционной дозы (AERC); **Примечание.** Не следует использовать твердотельные дозиметры, содержащие свинцовую защиту от обратного рассеяния, если только они специально не предназначены для измерения мощности дозы на рентгеноскопических аппаратах, поскольку свинцовая вставка в приборе может значительно влиять на AERC и приводить к облучению, превышающему установленное значение.
- b) водяной фантом толщиной 20 см, закрывающий приемник изображения. В качестве альтернативы можно использовать набор пластин из ПММА толщиной 18,5 см, но в этом случае следует внести коррективы в соответствии с [9] (дополнения VII и VIII).

#### *3.2.4.3. Процедура*

Схема для проведения этого измерения показана на рис. 25. Процедура состоит в следующем:

- a) если в условиях клинической практики используется отсеивающий растр (решетка), убедиться в том, что она находится на своем месте;

- b) положить фантом на кушетку;  
**Примечание.** Для имитации пациента крупного сложения можно добавить дополнительно 10 см воды или эквивалентное количество ПММА.  
 c) расположить измерительный прибор так, чтобы он соприкасался с фантомом и находился в центре его входной поверхности, с направлением в сторону рентгеновского пучка;  
 d) установить расстояние от фокусного пятна до приемника изображения таким, какое используется в клинической практике. Стандартных значений для этого расстояния не существует; однако аналогично другим тестам можно использовать значение 100 см или максимально близкое к 100 см;  
 e) открыть коллиматоры до размера приемника изображения;

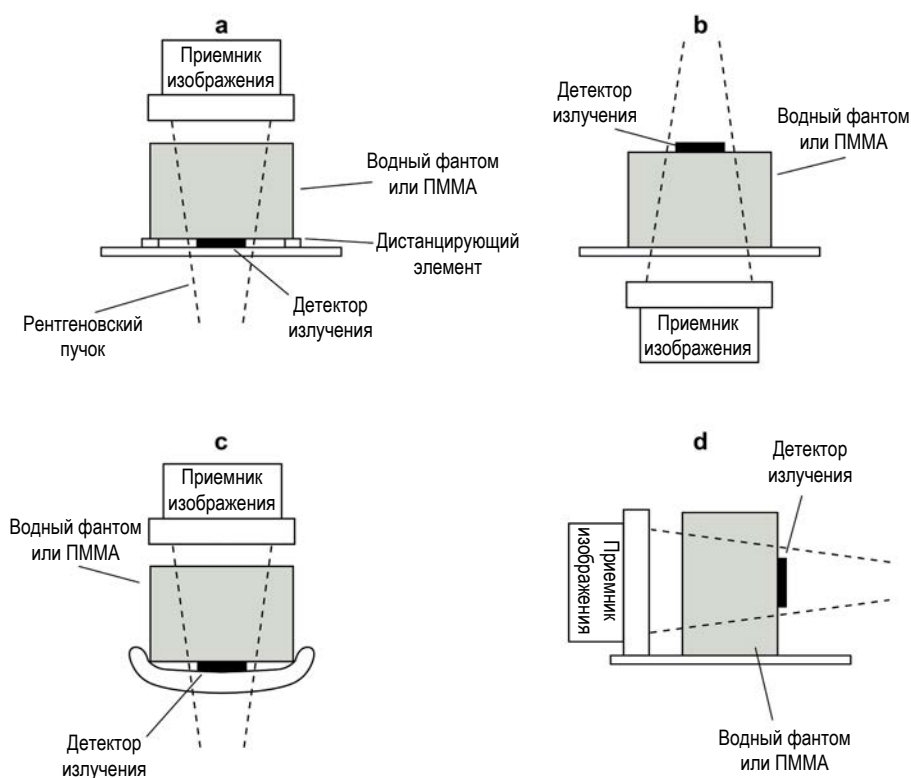


Рис. 25. Схема теста для измерения мощности воздушной кермы на входной поверхности тела пациента: (a) установка под кушеткой; (b) установка над кушеткой; (c) аппарат типа «С-дуга» со вспомогательной кушеткой; (d) аппарат типа «С-дуга» для боковых экспозиций или для случаев, когда кушетка недоступна для клинического использования.

- f) измерить и записать расстояния от фокусного пятна до приемника изображения и от фокусного пятна до детектора излучения;
- g) облучить фантом в соответствии с протоколом клинической визуализации и записать показания дозиметра, киловольтное напряжение и ток, а также настройки приемника изображения; затем повторить это облучение еще два раза;
- h) повторить шаг g) для всех ПЗ, настроек мощности дозы и различных протоколов визуализации, используемых в нормальной клинической практике.

#### *3.2.4.4. Анализ и интерпретация*

Применить для прибора соответствующие поправочные коэффициенты (например, давление, температура, коэффициент калибровки) и скорректировать измеренные значения мощности ESAK относительно опорной точки, используя закон обратных квадратов. При выполнении оценки иметь в виду, что ESAK включает обратное рассеяние, в то время как у падающей воздушной кермы этого нет.

В случае ангиографического аппарата входная опорная точка пациента устанавливается изготовителем аппарата, и она в основном зависит от типа интервенционной системы, в соответствии со стандартом IEC 60601-2-54 [11]:

- когда трубка установлена под опорой для пациента, входная опорная точка пациента находится на высоте 1 см над столом;
- когда трубка находится над опорой пациента, входная опорная точка пациента расположена на 30 см выше опоры пациента;
- для аппарата типа «С-дуга» входная опорная точка пациента находится в 15 см от изоцентра в направлении фокусного пятна (например, в 35 см от фокусного пятна, если изоцентр определен и расстояние от фокусного пятна до приемника изображения составляет 1 м).

#### *3.2.4.5. Исходные значения и допуски*

Изготовитель оборудования часто предоставляет справочную информацию о мощности падающей воздушной кермы, которая может быть использована в качестве основы для сравнения. Это относится только к ситуациям, в которых обратное рассеяние полностью отсутствует, поэтому измерения, проведенные в соответствии с указанным выше методом, следует корректировать на обратное рассеяние с использованием коэффициентов, приведенных в [8].

В национальных регулирующих документах указаны определенные значения ESAK, которые необходимо принимать во внимание. В случае отсутствия национальных регулирующих документов можно использовать значения из различных международных стандартов или руководств. Например, максимальное значение 100 мГр/мин для нормального режима можно использовать в соответствии с [5, 6]. Согласно стандарту IEC 60601-2-54, мощность падающей воздушной кермы должна быть менее 88 мГр/мин при любой настройке режима работы с нормальной или низкой мощностью дозы, а при высокой мощности дозы или при включении режима управления на высоком уровне дозы (HLC) допускается значение 176 мГр/мин. [11].

#### *3.2.4.6. Периодичность*

Данный тест выполняется 1 раз в год.

#### *3.2.4.7. Корректирующие действия*

Проверить параметры экспозиции, расчеты и схему теста. Повторить тест, полностью изменив геометрическую схему. В зависимости от наблюдаемых отклонений может потребоваться ограничение или приостановка эксплуатации аппарата до выполнения его ремонта. Провести тщательное исследование возможных источников ошибок или отклонений в результатах.

### **3.2.5. Мощность воздушной кермы на входной плоскости приемника изображения**

#### *3.2.5.1. Описание и цель*

При проведении данного теста отслеживается постоянство цепочки визуализации. Этот тест используется для верификации того, что мощность воздушной кермы на входной плоскости детектора соответствует максимально допустимому уровню [4, 7].

#### *3.2.5.2. Оборудование*

Для проведения теста необходимы:

- a) дозиметр с калиброванной ионизационной камерой или твердотельным детектором;

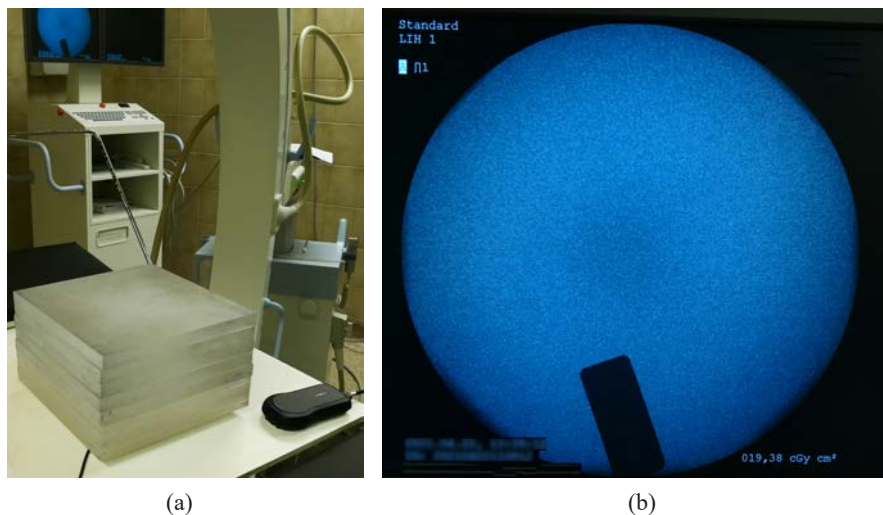


Рис. 26. (а) Схема теста для проверки мощности воздушной кермы на входной плоскости детектора с твердотельным детектором, расположенным под блоками ПММА. (б) Полученное рентгеновское изображение.

- b) алюминиевый аттенюатор толщиной 25 мм и при необходимости медные пластины.

**Примечание.** В качестве альтернативы можно использовать водяной фантом толщиной 20 см или аналогичный фантом, закрывающий приемник изображения.

### 3.2.5.3. Процедура

Схема, используемая для этого измерения, аналогична схеме, описанной ранее (см. рис. 8), но при этом прибор размещается на приемнике изображения. На рис. 26 показана возможная схема с рентгеновской трубкой сверху.

При проведении данного теста применяется следующая процедура:

- a) если в клинической практике используется отсеивающий растр (решетка), убедиться в том, что это устройство находится на своем месте;
- b) положить фантом на кушетку;

**Примечание.** Для имитации пациента крупного сложения можно добавить дополнительно 10 см воды или эквивалентное количество ПММА.



- c) привести прибор в контакт с приемником изображения как можно ближе к его входной поверхности и с направлением в сторону рентгеновского пучка. В случае присутствия дополнительных ослабляющих элементов (например, стойки «Букки», стола, датчиков AERC) при проведении измерения зарегистрировать это;
- d) установить расстояние от фокусного пятна до приемника изображения таким, какое используется в клинической практике. Стандартных значений для этого расстояния не существует; однако аналогично другим тестам можно использовать значение 100 см или максимально близкое к 100 см.
- e) открыть коллиматоры до размера приемника изображения;
- f) измерить и записать расстояния от фокусного пятна до приемника изображения и от фокусного пятна до детектора излучения;
- g) облучить фантом в соответствии с протоколом клинической визуализации и записать показания дозиметра, киловольтное напряжение и ток, а также настройки приемника изображения; затем повторить это облучение еще два раза;  
**Примечание.** МЭК рекомендует использовать дополнительные медные аттенюаторы, позволяющие системе AERC устанавливать напряжение на трубке в диапазоне от 70 до 80 кВ.
- h) повторить предыдущий шаг для всех полей обзора, настроек мощности дозы и различных протоколов визуализации, используемых в нормальной клинической практике.

#### 3.2.5.4. Анализ и интерпретация

Применить соответствующие поправочные коэффициенты для прибора и скорректировать измеренные значения мощности воздушной кермы на входной поверхности детектора, используя закон обратных квадратов. Выполнить коррекцию с учетом ослабляющих слоев, находящихся между прибором и приемником изображения. Коэффициенты передачи обычно указываются в документации изготовителя.

#### 3.2.5.5. Исходные значения и допуски

В режиме рентгеноскопии мощность воздушной кермы обычно составляет 0,2–1 мкГр/с, если используется алюминиевый аттенюатор и добавлены фильтры для достижения напряжения на трубке от 70 до 80 кВ. Это значение применяется при ослаблении решеткой.

По данным Института физики и инженерии в медицине, результаты измерений не должны отличаться от установленных исходных значений

более чем на  $\pm 25\%$  («уровень корректировки») [4]. В противном случае значение  $\pm 50\%$  применяется в качестве уровня приостановки использования аппарата.

#### *3.2.5.6. Периодичность*

Данный тест выполняется 1 раз в год.

#### *3.2.5.7. Корректирующие действия*

Проверить параметры экспозиции, расчеты и схему теста. Повторить тест, полностью изменив геометрическую схему. При любой проблеме с системой AERC рекомендуется, чтобы эта система была повторно откалибрована сервисным инженером. До повторной калибровки или ремонта, в зависимости от наблюдаемых отклонений, может потребоваться ограничение или полная остановка использования данного рентгеновского аппарата.

### **3.2.6. Калибровка измерителя произведения кермы на площадь**

Данный тест выполняется, как описано в разделе 2.2.7.

### **3.2.7. Излучение утечки**

Данный тест выполняется, как описано в разделе 2.2.11.

### **3.2.8. Рассеянное излучение**

Данный тест выполняется, как описано в разделе 2.2.12.

### **3.2.9. Качество изображения в режиме рентгеноскопии**

#### *3.2.9.1. Описание и цель*

Оценка качества изображения в режиме рентгеноскопии включает тестирование нескольких показателей, связанных с качеством изображения. Описание рекомендуемых тестов приведено в разделе 2 (не повторяется здесь для упрощения подачи материала), и адаптация для применения в

режиме рентгеноскопии не требуется. Рекомендуемые тесты для оценки качества изображения систем рентгеноскопии включают следующее:

- a) тест на выявляемость при низкой контрастности (см. раздел 2.2.13);
- b) тест на пространственное разрешение (см. раздел 2.2.14);
- c) тест на однородность изображения (см. раздел 2.2.21).

Тест на однородность изображения, как правило, включает только оценку однородного тестового изображения, в то время как в случае рентгеноскопии его целью является подтверждение отсутствия в изображении искажений и артефактов.

При повторении теста с использованием различных аттенюаторов, имитирующих пациента и клинически применимые условия рассеяния, можно также проверить, как система AERC компенсирует ослабляющие свойства изображаемого объекта (см. раздел 2.2.19).

Ниже описывается комбинированный тест. Следует отметить, что это весьма упрощенный тест, и в случае получения изображений тест-объектов с различными фантомами следует повторить экспонирование [4, 15].

### 3.2.9.2. Оборудование

Фантом для контроля качества изображения, рекомендованный для рентгенографии, подходит и для рентгеноскопии. Вместе с тем комбинированный фантом для контроля качества изображения позволяет упростить тест, поскольку он включает:

- a) вставки с низкой контрастностью;
- b) сетку, решетку или другой тест-объект для проверки геометрических искажений (в особенности при использовании усилителей изображения);
- c) схему тестирования пространственного разрешения;
- d) высококонтрастный (медный) ступенчатый клин (для проверки видеодисплейного устройства).

Такой фантом показан на рис. 27.

Для проведения этого теста рекомендуется использовать блоки ПММА или водной фантом (покрывающий область приемника изображения и имеющий общую толщину 20 см) или действовать в соответствии с рекомендациями изготовителя тест-объекта.

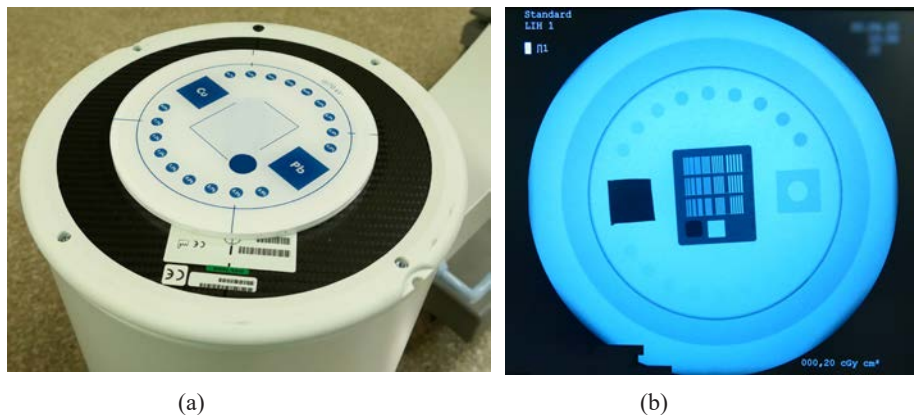


Рис. 27. Схема теста для проверки качества изображения в режиме рентгеноскопии с использованием фантома для контроля качества изображения. (а) Фантом для контроля качества рентгеноскопического изображения; (б) соответствующее рентгеновское изображение.

### 3.2.9.3. Процедура

При проведении данного теста применяется следующая процедура:

- a) если в условиях клинической практики используется отсеивающий растр (решетка), убедиться в том, что это устройство находится на своем месте;
- b) поместить комбинированный тест-объект на приемник изображения или как можно ближе к нему;
- c) установить расстояние от фокусного пятна до приемника изображения таким, какое используется в клинической практике. Стандартных значений для этого расстояния не существует; однако, аналогично другим тестам, можно использовать значение 100 см или максимально близкое к 100 см;
- d) открыть коллиматоры до размера приемника изображения;
- e) измерить и записать расстояния от фокусного пятна до приемника изображения;
- f) облучить тест-объект в соответствии с протоколом клинической визуализации и записать показания дозиметра, киловольтное напряжение и ток, а также настройки приемника изображения;
- g) повторить предыдущий шаг для всех полей обзора, настроек мощности дозы и различных протоколов визуализации, используемых в нормальной клинической практике;

- h) при необходимости повторить шаг g), поместив блоки ПММА толщиной 10, 15 и 20 см или другие подходящие аттенюаторы перед фантомом для контроля качества изображения.

#### *3.2.9.4. Анализ и интерпретация*

Полученные изображения оцениваются на видеодисплейном устройстве, используемом в клинической практике. Для проверки настроек яркости дисплея используется высококонтрастная ступенчатая клиновидная вставка фантома для контроля качества изображения. Оценивание проводится без какого-либо дополнительного аттенюатора.

Условия и результаты теста оцениваются после каждой экспозиции.

#### *3.2.9.5. Исходные значения и допуски*

Оценить, изменилась ли низкоконтрастная чувствительность с течением времени, и сравнить результаты с исходными значениями. Низкоконтрастное разрешение не должно существенно измениться. Поскольку стандартных тест-объектов не существует, дополнительные числовые значения не могут быть даны.

На изображении не должно быть артефактов, но могут появиться параллельные линии сетки.

Если тест проводится с различными рассеивающими объектами и изменение параметров визуализации документально зарегистрировано, их следует сравнить с исходными значениями. Ожидается, что при тех же условиях киловольтное напряжение, ток, добавленные фильтры и другие параметры визуализации существенно не изменятся. При использовании постоянного протокола визуализации существенных изменений в том, как система AERC будет определять мощность экспозиционной дозы и качество излучения, не должно быть.

#### *3.2.9.6. Периодичность*

Данный тест выполняется 1 раз в год.

#### *3.2.9.7. Корректирующие действия*

В случае подозрения на ошибку проверить результаты и параметры визуализации, затем повторить тест. Если видимость с низкой контрастностью хуже, чем ожидалось, или присутствуют артефакты, следует обратиться в службу сервисной поддержки.

При обнаружении непостоянства параметров рентгеновского излучения, заданных системой AERC, возможно, потребуется проверка системы AERC сервисным инженером.

Каждый раз, когда в генераторе рентгеновского излучения, блоке рентгеновской трубки или программном обеспечении происходят серьезные изменения, может потребоваться установка новых исходных значений. Следует проконсультироваться с пользователями аппарата, чтобы определить, сказывается ли изменение качества изображения на клиническом использовании аппарата. В зависимости от ситуации может потребоваться ограничение или приостановка работы с данным аппаратом до выполнения его ремонта.

### **3.2.10. Качество изображения в режиме цифровой субтракционной ангиографии**

#### *3.2.10.1. Описание и цель*

Целью данного теста является проверка постоянства параметров качества изображения в режиме цифровой субтракционной ангиографии. Этот режим работы не используется в современных системах с цифровыми приемниками изображения, но данный тест играет важную роль в системах, в которых применяются усилители рентгеновского изображения (УРИ). Для этого требуется специальный фантом и соответствующее время для изменения положения подвижной вставки фантома [17].

#### *3.2.10.2. Оборудование*

Для тестирования необходим фантом, специально разработанный для измерения динамического диапазона, контрастной чувствительности, артефактов и компенсации нелинейности системы (см. рис. 28, 29).

#### *3.2.10.3. Процедура*

Получить изображения в соответствии с инструкциями изготовителя фантома и записать соответствующие параметры получения изображений.

#### *3.2.10.4. Анализ и интерпретация*

Полученное изображение следует оценивать в соответствии с инструкциями изготовителя фантома.

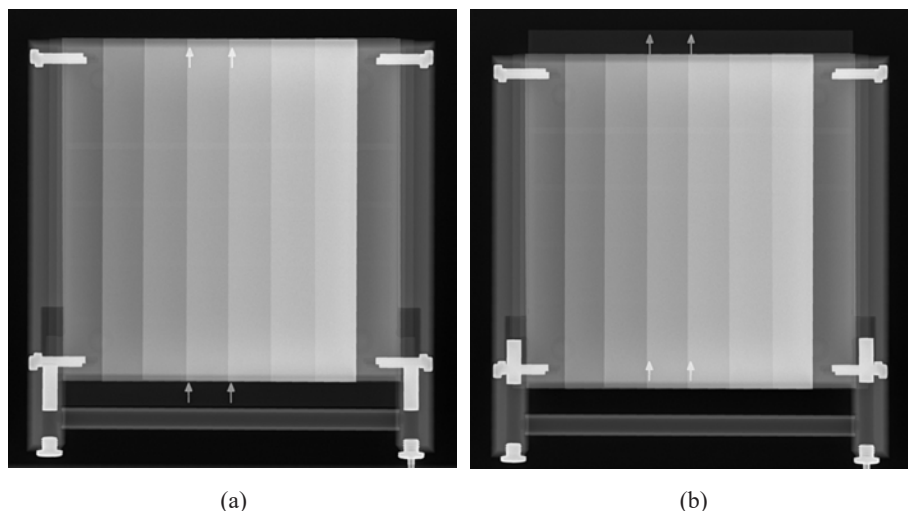


Рис. 28. Изображение фантома, используемое для тестирования качества изображения цифровой субтракционной ангиографической системы: (а) в исходном положении; (б) в положении субтракции.

#### 3.2.10.5. Исходные значения и допуски

Оценить, изменилась ли контрастная чувствительность с течением времени, и сравнить результаты с базовыми значениями. Изображение не должно содержать видимых артефактов и логарифмических ошибок (это относится лишь к системам, оснащенным усилителями изображения).

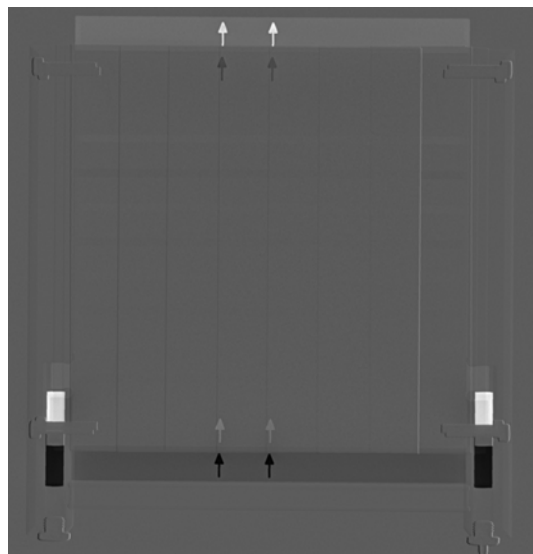
#### 3.2.10.6. Периодичность

Данный тест выполняется 1 раз в год.

#### 3.2.10.7. Корректирующие действия

При возникновении проблем с качеством изображения сначала проверить, соответствуют ли параметры экспозиции, фантом и конфигурация теста параметрам, которые использовались при вводе в эксплуатацию, или настройкам, использованным для определения исходных значений. Затем повторить тест после полного сброса настроек.

Исследовать систему (например, оценить работу системы AERC и генератора излучения, затем оценить качество изображения). Если проблему устранить не удастся, следует обратиться в службу сервисной



*Рис. 29. Изображение фантома, показанного на рис. 28, после субтракции.*

поддержки. Следует проконсультироваться с пользователями аппарата, чтобы определить, сказывается ли изменение качества изображения на клиническом использовании аппарата. В зависимости от ситуации может потребоваться ограничение или приостановка работы с данным аппаратом до выполнения его ремонта.

## **4. МАММОГРАФИЯ**

Маммография является методом визуализации, конкретно предназначенным для молочной железы. Для визуализации молочной железы доступны новые характеристики излучения в дополнение к системам «молибденовая мишень — молибденовый фильтр», которые до сих пор используются в качестве эталона качества изображения и дозы облучения. Современными коммерчески доступными технологиями являются томосинтез молочной железы и маммография с контрастированием. Руководства по контролю качества для таких систем, однако, разрабатывались не так быстро, как развивались эти технологии. Поскольку признанных на основе консенсуса документов по проверке



новой технологии не имеется, настоящий раздел ограничивается описанием тестов контроля качества «традиционной» проекционной визуализации.

Как и в других разделах настоящего справочника, эти описания тестов ограничиваются самым необходимым и не требуют дорогостоящего оборудования или сложного программного обеспечения. По этой причине были пропущены некоторые тесты, которые считаются важными в других публикациях, такие как выявляемость при низкой контрастности.

#### 4.1. ТЕСТЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА, ВЫПОЛНЯЕМЫЕ РЕНТГЕНОЛОГАМИ

##### 4.1.1. Однородность на приемнике изображения — тест, проводимый 1 раз в неделю (только компьютерная рентгенография и цифровая рентгенография)

###### 4.1.1.1. Описание и цель

Однородность следует проверять 1 раз в неделю визуально, используя изображения прямоугольных блоков ПММА толщиной 45 мм. Установив узкое окно серой шкалы, можно увидеть области неоднородности, позволяющие идентифицировать артефакты, которые могут затруднить или исказить диагностику [18].

###### 4.1.1.2. Оборудование

Необходимое оборудование: однородные прямоугольные блоки ПММА толщиной 45 мм или фантом, поставляемый изготовителем. Фантом должен покрывать всю площадь детектора и не иметь глубоких царапин, обеспечивая достаточную однородность.

###### 4.1.1.3. Процедура

При проведении данного теста применяется следующая процедура:

- a) поместить однородные блоки ПММА на подставку для молочной железы, обращая внимание на то, что детектор должен быть полностью закрыт;
- b) установить компрессионную пластину;

- с) убедиться, что рабочая станция сбора данных настроена на сохранение изображений «для обработки» и что все возможные алгоритмы обработки изображений отключены;
- d) получить изображение в том режиме автоматической экспозиции, который чаще всего применяется в клинике, с помощью наиболее часто используемого датчика АКЭ, если его можно выбрать;
- е) записать настройки экспозиции (например, киловольтное напряжение, мишень/фильтр, настройка регулирования плотности, если применимо, режим АКЭ и значение мА·с после экспозиции);
- ф) в случае систем компьютерной рентгенографии поиск артефактов должен выполняться для каждой рентгенографической запоминающей пластины, используемой в клинической практике.

#### 4.1.1.4. Анализ и интерпретация

Анализ и интерпретация результатов теста осуществляются следующим образом:

- a) оценить необработанное изображение путем измерения среднего значения пикселя (MPV) и стандартного отклонения в ОИ (площадью 1 см<sup>2</sup>), расположенных в пяти определенных позициях на изображении: одно расположено в центре, а остальные четыре — по углам изображения, как показано на рис. 30;
- b) записать среднее значение пикселя в центральной ОИ (MPV<sub>c</sub>);
- с) записать значение MPV в других ОИ (MPV<sub>e</sub>);
- d) выполнить визуальную проверку на однородность. Установить ширину окна на 10% от MPV;
- е) определить значение MPV<sub>e</sub> с самым большим отличием от MPV<sub>c</sub>;
- ф) вычислить максимальное отклонение (в процентах) значения MPV<sub>e</sub>, полученного в шаге е), от центрального значения в соответствии с ур-нием (4):

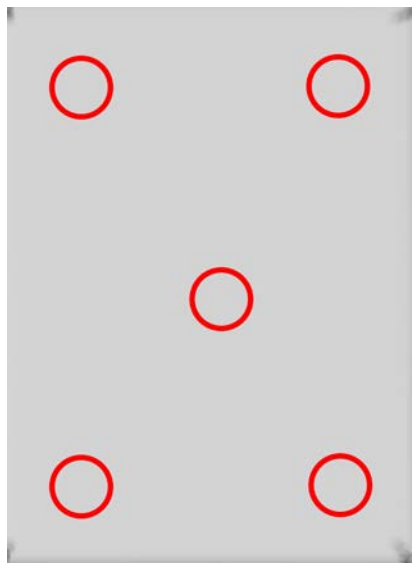
$$\text{maximum deviation} = \frac{\text{MPV}_c - \text{MPV}_e}{\text{MPV}_c} \times 100, \quad (4)$$

где:

maximum deviation – максимальное отклонение;

MPV<sub>c</sub> – MPV в центральной ОИ;

MPV<sub>e</sub> – MPV в других ОИ.



*Рис. 30. Изображение, используемое для проверки однородности приемника. Красным цветом показаны положения областей интереса, используемых для измерения среднего значения пикселя и стандартного отклонения.*

#### *4.1.1.5. Исходные значения и допуски*

Максимальное отклонение значений MPV должно быть менее  $\pm 15\%$  от MPV во всем снимке.

#### *4.1.1.6. Периодичность*

Данный тест выполняется 1 раз в неделю.

#### *4.1.1.7. Корректирующие действия*

Проверить параметры экспозиции и заданную геометрию, затем повторить тест, полностью сбросив настройки измерения и экспозиции.

При наличии артефактов повернуть фантом, с тем чтобы проверить источник артефакта. Если на изображении (изображениях) снова будут обнаружены артефакты, следует обратиться к медицинскому физику для проведения более тщательного исследования. В принципе артефакты не приемлемы. Однако, как отмечалось ранее, срочность корректирующих действий зависит от характера артефакта. В общем случае легкие

артефакты, имитирующие клинические признаки (потенциально приводящие к ненужным биопсиям), могут обуславливать необходимость приостановки использования рентгеновской системы или данной пластины для компьютерной рентгенографии.

#### **4.1.2. Субъективная оценка качества изображения**

##### *4.1.2.1. Описание и цель*

Оценка качества изображения на основании изображений, полученных путем облучения тест-объектов или фантомов, обеспечивает практический подход к характеристике качества изображения при вводе в эксплуатацию нового оборудования и при рутинной оценке показателей работы оборудования в динамике по времени [18].

##### *4.1.2.2. Оборудование*

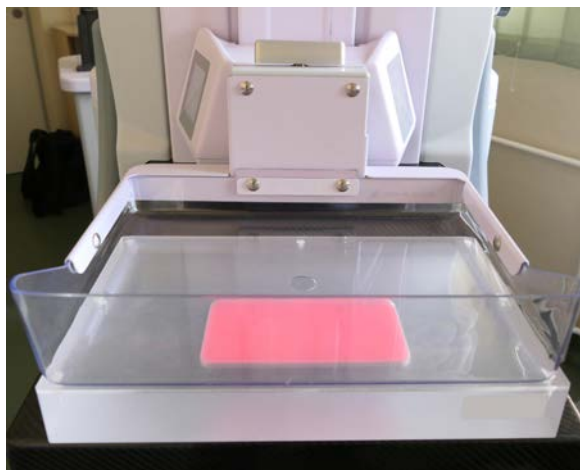
Для проведения теста необходимы:

- a) рекомендованный на национальном или международном уровне фантом, используемый данным медицинским учреждением в программе контроля качества для систем пленочно-экранной или цифровой маммографии. Рекомендуется использовать фантом, имитирующий молочную железу (см. рис. 31), который, предпочтительно, имеет встроенные объекты, сходные с характеристиками молочной железы (например, микрокальцинация, опухолевидные образования, волокнистые структуры);
- b) изображение фантома, полученное при оценке исходного состояния.

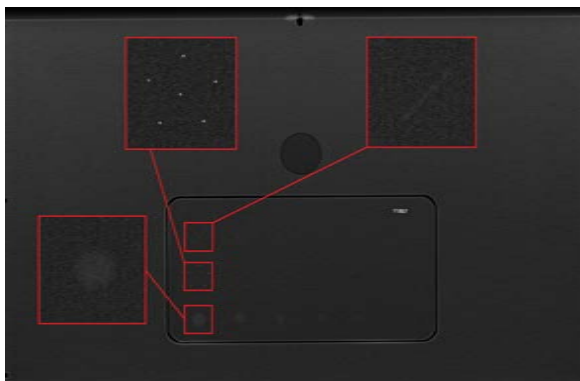
##### *4.1.2.3. Процедура*

При проведении данного теста применяется следующая процедура:

- a) совместить фантом на подставке для молочной железы с грудной стенкой и отцентрировать его;
- b) опустить компрессионную пластину, чтобы получить минимальное усилие компрессии;
- c) выбрать параметры облучения, которые будут использоваться в клинической практике для молочной железы такой же толщины. Также установить соответствующую мишень, фильтр, киловольтное



(a)



(b)

Рис. 31. Конфигурация теста для проверки качества изображения с помощью фантома для контроля качества изображения. (a) Схема измерения и (b) рентгеновское изображение фантома, содержащего вставки, имитирующие ткань молочной железы.

напряжение, решетку, датчик АКЭ и режим работы (полуавтоматический или автоматический);

- d) записать параметры экспозиции, включая в случае систем компьютерной рентгенографии экспозиционный индекс;
- e) обработать изображение при помощи алгоритмов, которые будут использоваться в клинической практике;

- f) в случае систем компьютерной рентгенографии этот тест следует проводить для каждой рентгенографической запоминающей пластины, используемой в клинической практике.

#### *4.1.2.4. Анализ и интерпретация*

Сравнить снимок с изображением, которое было получено во время приемки и которое используется в качестве исходного значения. Оценить изображение на наличие артефактов и определить, влияют ли они на изображение. Использовать увеличительную линзу для поиска признаков неоднородностей (таких как грязь, пыль или линии, если использовалась решетка) и проверить изображение на наличие артефактов.

Использовать метод оценки, рекомендованный изготовителем тест-объекта. Записать результаты и в случае наличия проблем выяснить их причину.

#### *4.1.2.5. Исходные значения и допуски*

Применяются следующие требования.

- a) значение  $mA \cdot s$ , используемое для облучения фантома, должно быть в пределах  $\pm 10\%$  от исходного значения  $mA \cdot s$  для того же самого киловольтного напряжения и фильтра;
- b) не должно наблюдаться существенного ухудшения качества изображения по сравнению с исходным изображением;
- c) не должно быть пятен или областей с измененным шумом;
- d) не должно быть никаких заметных линий или структурных артефактов;
- e) не должно быть «ярких» или «темных» пикселей.

#### *4.1.2.6. Периодичность*

Данный тест выполняется 1 раз в неделю.

#### *4.1.2.7. Корректирующие действия*

Если результаты выходят за пределы допусков или неприемлемы, тест следует повторить. Медицинский физик должен проверить следующее:

- a) если качество изображения в динамике по времени ухудшается, необходимо исследовать источник изменений. Параметры, используемые для визуализации (например, киловольтное напряжение,

- АКЭ, дисплей, алгоритмы обработки), следует проанализировать на предмет определения изменений в этих параметрах;
- б) при обновлении программного обеспечения могут измениться настройки АКЭ. Это необходимо проверить, и в случае подтверждения следует связаться с сервисным инженером;
  - в) артефакты, имитирующие ткани, могут серьезно влиять на диагноз; если такие артефакты наблюдаются, то необходимо добиться плоского поля приемника изображения. Повторить тест после этой калибровки;
  - г) дальнейшую помощь может оказать авторизованный сервисный инженер.

## 4.2. ТЕСТЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА, ВЫПОЛНЯЕМЫЕ МЕДИЦИНСКИМИ ФИЗИКАМИ

### 4.2.1. Точность усилия компрессии и индикатора толщины

#### 4.2.1.1. Описание и цель

Цель данного теста состоит в том, чтобы подтвердить наличие в маммографической системе достаточной компрессии в ручном и автоматическом режиме и проверить наличие наклона компрессионной пластины. Если в составе оборудования имеется индикатор усилия компрессии, можно также проверить его точность. Во время этого теста также проверяется точность индикатора компрессионной толщины, являющаяся параметром, играющим значительную роль в некоторых системах визуализации, в которых режим АКЭ определяет качество излучения, используемого для экспонирования, в зависимости от толщины молочной железы [18].

#### 4.2.1.2. Оборудование

Для проведения теста необходимы:

- а) медицинские весы аналогового типа или другое устройство, способное измерять усилие;
- б) банные полотенца или блоки из пористой резины;
- в) блоки ПММА, используемые для тестирования АКЭ (толщиной 20, 45 и 60 мм; предпочтительный размер: 18 × 24 см для нецифровых систем и 24 × 30 см для цифровых систем).

### 4.2.1.3. Процедура

При проведении данного теста применяется следующая процедура:

- a) автоматическая компрессия:
  - i) положить полотенце на поверхность подставки для молочной железы, чтобы избежать царапин;
  - ii) поместить весы на полотенце и расположить их по центру под компрессионной пластиной (см. рис. 32);
  - iii) положить на весы полотенца или пористую резину для защиты компрессионной пластины;
  - iv) установить максимально допустимое автоматическое усилие компрессии путем нажатия на педаль более одного раза;
  - v) сравнить и записать значения усилия, показанные как системой, так и полученные с помощью весов;
- b) ручная компрессия:
  - i) используя режим ручной компрессии, переместить компрессионную пластину до упора;
  - ii) записать усилие компрессии;
  - iii) ослабить компрессию;

**Примечание.** Указанные выше измерения можно повторить при других настройках усилия. Случаи потери компрессии без взаимодействия необходимо регистрировать.
- c) индикатор компрессионной толщины:
  - i) отцентрировать и выровнять блоки ПММА по краю грудной стенки у подставки для молочной железы;

**Примечание.** Некоторые маммографические системы откалиброваны с учетом наклона компрессионной пластины. Повышение усилия компрессии приводит к увеличению

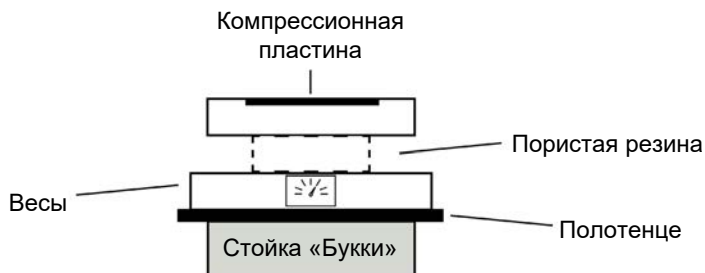


Рис. 32. Схема теста для измерения усилия компрессии с помощью бытовых весов.



показанного значения усилия компрессии вследствие наклона. Наклон возможен при использовании блоков ПММА размером  $18 \times 24$  см.

- ii) приложить усилие компрессии, которое используется в клинической практике, и записать его значение. Для всех последовательных измерений следует использовать одно и то же усилие;
- iii) записать толщину, отображаемую на дисплее, и фактическую толщину блока;
- iv) если АКЭ выбирает параметры экспозиции в соответствии с индицируемой толщиной и для режима увеличения изображения применяется специальная таблица, данное измерение следует повторить.

#### *4.2.1.4. Анализ и интерпретация*

Показания весов должны быть зарегистрированы в тех же единицах измерения, которые используются для дисплея маммографа, и при необходимости скорректированы.

#### *4.2.1.5. Исходные значения и допуски*

Применяются следующие исходные условия и допуски:

- a) максимальное усилие компрессии при автоматической компрессии должно составлять 150–200 Н;
- b) максимальное усилие для ручной компрессии равно 300 Н;
- c) точность отображаемого значения должна составлять  $\pm 20$  Н;
- d) отображаемая толщина должна быть в пределах  $\pm 8$  мм от толщины блока.

#### *4.2.1.6. Периодичность*

Данный тест выполняется 1 раз в год или при наблюдаемом снижении качества компрессии молочной железы.

#### *4.2.1.6. Корректирующие действия*

Если измеренные значения выходят за пределы допустимого диапазона или происходит потеря компрессии без взаимодействия, компрессионное устройство должно быть откалибровано сервисным инженером. При

нарушении безопасности и эффективности компрессии молочной железы использование системы следует приостановить.

#### **4.2.2. Центрирование детектора, совмещение поля рентгеновского излучения с площадью детектора**

##### *4.2.2.1. Описание и цель*

Этот тест может быть использован для определения количества ткани молочной железы у грудной стенки, которое исключено из изображения и на которое влияет геометрия изображения или конструкция детектора. Тест также проверяет удержание пучка и нахождение края приемника изображения максимально близко к краю грудной стенки, когда компрессионная пластина совмещена с ним.

Этот тест также можно выполнять с использованием пластин для компьютерной рентгенографии, размер которых превышает площадь приемника изображения. В этом случае, поместив пластину для компьютерной рентгенографии на подставку для молочной железы и используя соответствующие маркеры для обрисовки светового поля, можно будет наблюдать совмещение светового поля с пучком излучения.

«Недостающую ткань» со стороны грудной стенки можно также определить с помощью соответствующего фантома, имеющего метки по краю грудной стенки [18, 19].

##### *4.2.2.2. Оборудование*

Для проведения теста необходимы:

- a) кассета компьютерной рентгенографии или пленочно-экранной системы размером более  $24 \times 30$  см;
- b) рентгенонепроницаемые предметы (например, монеты, проволока);
- c) как минимум две рентгенографические линейки (с мелкими метками  $\leq 5$  мм и отдельной отметкой в средней точке, обозначаемой как отметка «0»). Альтернативно можно использовать одну линейку и еще одну отметку в средней точке, например, монету;
- d) люминофорные полоски размером менее  $20 \times 50$  мм;
- e) металлическая фольга или другой аналогичный рентгенонепроницаемый материал для покрытия люминофорных полосок;
- f) блоки ПММА общей толщиной 45 мм.

#### 4.2.2.3. Процедура

При проведении данного теста применяется следующая процедура:

- a) наклонить при необходимости гантри, чтобы иметь четкий обзор поверхности подставки для молочной железы;
- b) приклеить четыре люминофорные полоски с перекрытием краев подставки для молочной железы, как показано на рис. 33;
- c) поместить еще один кусочек люминофорной полоски в середину подставки для молочной железы. Это используется в качестве индикатора рентгеновского взаимодействия;
- d) положить металлическую фольгу на полоски так, чтобы закрыть части, находящиеся на подставке для молочной железы, за исключением одной полоски у края грудной стенки. Выровнять эту полоску за пределами периметра грудной стенки на 5 мм — допуск для недостающей ткани. Полоска, покрытая этим куском фольги, не будет светиться, если поле выровнено правильно;
- e) затемнить помещение для обеспечения четкого обзора подставки для молочной железы, что обязательно для данного теста;
- f) установить наибольший размер поля и использовать режим ручной экспозиции для выбора параметров экспозиции, которые обеспечивают четкую индикацию люминофорных полосок (например, 28 кВ и 100 мА·с);
- g) отметить, светится ли какая-либо из полосок; если светится, это указывает на неправильную настройку коллиматора. При необходимости повторять экспонирование до тех пор, пока ни одна из люминофорных полосок не будет светиться;
- h) выровнять и отцентрировать блоки ПММА по краю грудной стенки;
- i) поместить рентгенографическую линейку перпендикулярно краю грудной стенки на отметке «0», чтобы проверить, не отсутствует ли ткань у края грудной стенки;
- j) положить рентгенографическую линейку на блоки ПММА у края компрессионной пластины, соприкасающегося с пациентом, или использовать монетку, чтобы отметить это положение. Линейка обеспечивает количественный способ определения объема недостающей ткани у края грудной стенки;
- k) приложить небольшое усилие компрессии к блокам ПММА;
- l) выполнить ручную экспозицию с настройками, используемыми для стандартной молочной железы толщиной 45 мм.

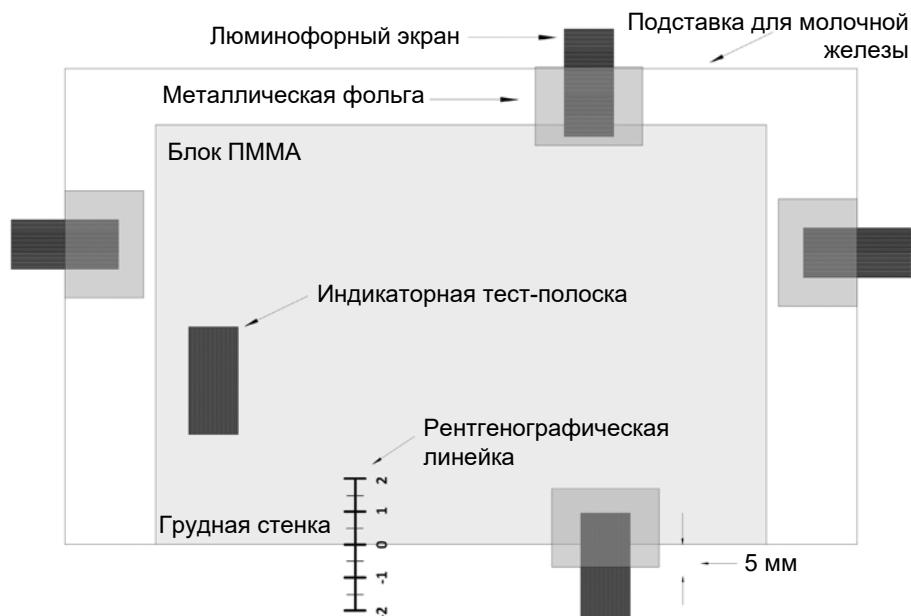


Рис. 33. Рекомендуемая конфигурация линеек и люминофорных экранов-маркеров, используемых для оценки выравнивания поля рентгеновского излучения и определения недостающей ткани.

#### 4.2.2.4. Анализ и интерпретация

Изучить полученное изображение и определить расстояние от отметки «0» на линейке на ПММА до края активного детектора. Это показатель недостающей ткани.

#### 4.2.2.5. Исходные значения и допуски

Применяются следующие требования:

- недостающая ткань со стороны грудной стенки должна составлять  $< 5$  мм;
- рентгеновский пучок должен полностью облучать область приемника изображения, но не должен выходить за пределы грудной стенки более чем на 5 мм;
- рентгеновский пучок на любой другой стороне области приемника изображения не должен распространяться более чем на 2% расстояния от фокусного пятна до приемника изображения;

- d) край грудной стенки компрессионной пластины не должен выступать за край грудной стенки приемника изображения более чем на 5 мм, и на изображении край грудной стенки компрессионной пластины не должен быть виден.

#### *4.2.2.6. Периодичность*

Данный тест выполняется 1 раз в год, а также после проведения технического обслуживания или замены рентгеновской трубки, коллиматора или детектора.

#### *4.2.2.7. Корректирующие действия*

Если наблюдается смещение края грудной стенки, то использование системы следует приостановить до ремонта, поскольку эта неисправность может влиять на клинический диагноз. Если смещение присутствует на других краях, следует оценить его степень и принять решение о возможности использования маммографа до устранения данной проблемы.

### **4.2.3. Мощность рентгеновской трубки**

#### *4.2.3.1. Описание и цель*

Мощность рентгеновской трубки позволяет рассчитать падающую воздушную керму, если известны нагрузка на трубку (значение мА·с) и толщина сжатой молочной железы. Помимо дозиметрического назначения, мощность трубки указывает на эксплуатационные показатели генератора излучение [4, 18, 20].

#### *4.2.3.2. Оборудование*

При проведении данного теста необходимы:

- a) дозиметр с откалиброванной ионизационной камерой или твердотельный детектор;
- b) твердотельные детекторы также могут использоваться для оценки постоянства работы оборудования. Использование твердотельного детектора позволяет определять другие параметры при одной экспозиции (например, время экспозиции, точность киловольтного напряжения), если прибор откалиброван с учетом характеристик излучения, используемых системой;

- с) металлическая пластина для экранирования приемника изображения, если он не съемный.

#### 4.2.3.3. Процедура

При проведении данного теста применяется следующая процедура:

- а) установить экранирующую пластину на приемник изображения, если он не съемный;
- б) поместить прибор на металлическую экранирующую пластину, обеспечив центрирование его чувствительной области в поперечном направлении на расстоянии 6 см [18] или 4 см [21] от грудной стенки;

**Примечание.** Если используется твердотельный детектор с прямоугольной чувствительной областью, он должен располагаться параллельно боковой стенке грудной клетки, чтобы свести к минимуму влияние анодного пяточного эффекта (см. рис. 34).

- с) выполнить измерение, сняв компрессионную пластину, чтобы определить падающую воздушную керму;

**Примечание.** Рекомендуется как минимум во время ввода в эксплуатацию повторить это измерение с установленной компрессионной пластиной, чтобы получить информацию о ее ослаблении [20]. Компрессионная пластина некоторых маммографических систем является не съемной. В этом случае



Рис. 34. Компоновка теста для измерения мощности трубки с помощью твердотельного детектора.

ТАБЛИЦА 2. РЕКОМЕНДУЕМОЕ НАПРЯЖЕНИЕ В КИЛОВОЛЬТАХ ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ МОЩНОСТИ ТРУБКИ

| Заданное<br>киловольтное<br>напряжение<br>(кВ) | Комбинация анод — фильтр |       |       |      |      |      |
|--|--------------------------|-------|-------|------|------|------|
|  | Mo/Mo                    | Mo/Rh | Rh/Rh | W/Rh | W/Ag | W/Al |
| 1  | 24                       | 26    | 26    | 26   | 26   | 29   |
| 2  | 26                       | 28    | 28    | 28   | 28   | 32   |
| 3  | 28                       | 30    | 30    | 30   | 30   | 35   |
| 4  | 30                       | 32    | 32    | 32   | 32   | 38   |

для определения падающей воздушной кермы можно использовать коэффициент коррекции прямого рассеяния (1,076) или можно переместить компрессионную пластину как можно дальше от прибора [20].

- d) измерить расстояние между фокусным пятном и чувствительной областью прибора;
- e) выбрать размер поля, который используется в клинической практике (например, 18 × 24 см, 24 × 30 см);
- f) выбрать режим ручной экспозиции и установить напряжение на трубке в соответствии с таблицей 2. Произведение ток — время должно быть достаточно высоким для того, чтобы с прибора можно было считывать достоверные показания (например, 20 мА·с);
- g) произвести еще несколько экспозиций, повторяя шаг f) при разных напряжениях на трубке;
- h) повторять шаг g) после перехода на другое качество излучения (комбинация анод — фильтр) до тех пор, пока не будут протестированы все клинически значимые комбинации.

#### 4.2.3.4. Анализ и интерпретация

Каждое показание прибора (например, температура, давление) должно быть скорректировано, если это необходимо, а затем умножено на 1,076, чтобы при необходимости учесть рассеивающий эффект компрессионной пластины [20]. Ур-ние (1) описывает расчет мощности рентгеновской трубки на референсном расстоянии 1 м.

Ожидается, что со временем мощность трубки будет уменьшаться.

#### 4.2.3.5. *Исходные значения и допуски*

Для мощности трубки не существует предельного значения. В более ранних протоколах значение 30 мкГр/(мА·с) на расстоянии 1 м указывалось как минимальное для качества излучения Мо/Мо.

#### 4.2.3.6. *Периодичность*

Данный тест выполняется 1 раз в год.

#### 4.2.3.7. *Корректирующие действия*

Если мощность трубки значительно изменилась со времени предыдущего теста или произошло неожиданно большое изменение, проверить точность киловольтного напряжения, если это возможно, и после повторения теста измерить значение СПО при напряжении 28 кВ. Если система не соответствует требованиям, следует обратиться к сервисному инженеру для обсуждения возможных неполадок. Если система не проходит предложенные тесты, ее не следует использовать до выполнения ее ремонта.

### 4.2.4. **Слой половинного ослабления**

#### 4.2.4.1. *Описание и цель*

В данном тесте определяется СПО, который является показателем состояния рентгеновской трубки. Кроме того, СПО должен соответствовать определенным пределам в соответствии с национальными или международными требованиями [9, 18].

#### 4.2.4.2. *Оборудование*

Для проведения теста необходимы:

- a) ионизационная камера, откалиброванная с учетом характеристик маммографического излучения;
- b) линейка или мерная лента;
- c) алюминиевые фильтры высокой чистоты (>99,9%);
- d) металлическая пластина для экранирования приемника изображения, если он не съемный.



#### 4.2.4.3. Процедура

При проведении данного теста применяется следующая процедура:

- a) положить металлическое экранирование на подставку для молочной железы, если приемник изображения не съемный. Если приемник съемный, снять его со стойки «Букки»;
- b) выбрать ручную экспозицию и комбинацию мишень — фильтр — киловольтное напряжение, которую выбрала бы система АКЭ для блока ПММА толщиной 20 мм;
- c) установить ионизационную камеру в держатель на 45 мм выше подставки для молочной железы с латеральным центрированием. Ее центральная ось должна быть выровнена на расстоянии 40 мм [18] или 60 мм [21] от края грудной стенки;
- d) по возможности отрегулировать коллимацию пучка так, чтобы он был немного больше чувствительной области ионизационной камеры. В случае необходимости установить для этого металлическую апертуру перед коллиматором или на компрессионную пластину;
- e) если используется компрессионная пластина, расположить ее на половине расстояния между фокусным пятном и ионизационной камерой. Использование этой пластины должно соответствовать мощности трубки;
- f) после выполнения экспозиции записать измеренные значения;
- g) положить на компрессионную пластину кусок алюминия, немного более тонкий, чем ожидалось для данной комбинации мишень — фильтр, и повторить экспозицию (например, 0,3 мм алюминия, если ожидаемое значение в соответствии с комбинацией мишень — фильтр — напряжение равно 0,35 мм). Убедиться, что показания составляют более половины от значений, полученных без фильтра. В противном случае использовать более тонкий алюминиевый элемент и повторять эту процедуру до тех пор, пока в результате измерения не будет получено показание, превышающее половинное значение;
- h) добавить еще один кусок алюминия (например, толщиной 0,1 мм) и повторить измерение. Полученное показание должно быть меньше половины значения, измеренного без каких-либо аттенуаторов. В противном случае увеличивать толщину аттенуатора до тех пор, пока ионизационная камера не покажет менее половины неослабленного показания;

- i) в качестве меры предосторожности повторить данное измерение без каких-либо фильтров, чтобы еще раз проверить неослабленное показание;
- j) повторить шаги с)–i) для любой другой комбинации мишень — фильтр — килловольтное напряжение, используемой в клинической практике для молочной железы стандартной толщины (45 мм) и большой толщины (70 мм).

На рис. 35 показана возможная схема проведения этого измерения.

#### 4.2.4.4. Анализ и интерпретация

Вычислить значение СПО, используя ур-ние (2).

#### 4.2.4.5. Исходные значения и допуски

Приемлемые значения СПО представлены в [9, 18] и могут быть вычислены при помощи ур-ния (5):



Рис. 35. Конфигурация оборудования для измерения СПО с использованием алюминиевой пластины и ионизационной камеры.

$$\frac{V}{100} + 0,03 \leq \text{HVL} \leq \frac{V}{100} + 0,03 + C, \quad (5)$$

где:

$V$  – номинальное значение напряжения на трубке;

HVL – слой половинного ослабления (СПО);

$C$  – зависит от качества излучения и равно:

0,12 для Mo/Mo;

0,19 для Mo/Rh;

0,22 для Rh/Rh;

0,30 для W/Rh;

0,32 для W/Ag;

0,25 для W/Al.

Информация о других свойствах излучения содержится в спецификациях изготовителя или литературе.

#### 4.2.4.6. Периодичность

Данный тест выполняется 1 раз в год.

#### 4.2.4.7. Корректирующие действия

В случае очень низкого или очень высокого СПО следует измерить напряжение на трубке, чтобы подтвердить правильность калибровки потенциала трубки. Если потенциал трубки имеет надлежащее значение, следует проконсультироваться с сервисным инженером. Если система не прошла тест и качество изображения также ухудшилось, систему не следует использовать до выполнения ее ремонта.

### 4.2.5. Система автоматического контроля экспозиции (АКЭ) — воспроизводимость

#### 4.2.5.1. Описание и цель

Система АКЭ должна доставлять дозу излучения, которая необходима для достижения заданного качества изображения определенного тест-объекта. Уровень качества изображения и параметр, используемый для его представления, определяются произвольно и зависят от фантома и метода измерения.

Система АКЭ должна быть устойчивой и должна обеспечивать постоянные установки для одного и того же объекта, а именно, она должна быть способна выбирать одни и те же технические факторы (параметры) для многократной экспозиции одного и того же тест-объекта и давать одинаковое качество изображения [18, 20, 21].

#### 4.2.5.2. Оборудование

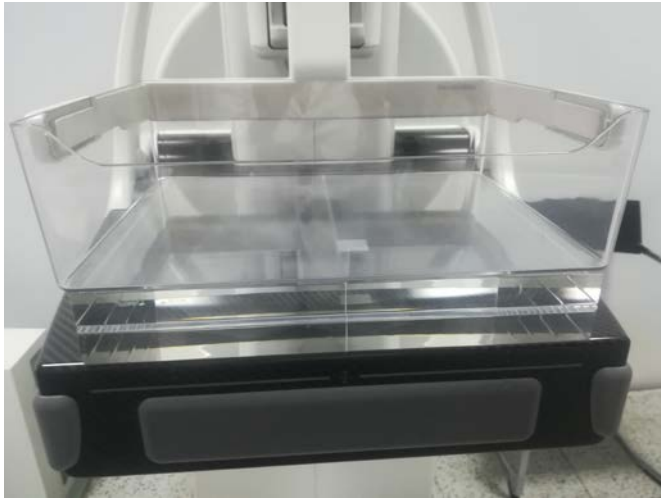
Для проведения теста необходимы:

- a) блоки ПММА общей толщиной 45 мм;
- b) алюминиевая пластина высокой чистоты толщиной 0,2 см и размером 10 × 10 см или 15 × 15 см;
- c) ионизационная камера для пленочно-экранных систем.

#### 4.2.5.3. Процедура

При проведении данного теста применяется следующая процедура:

- a) компьютерная рентгенография и цифровые рентгенографические системы визуализации:
  - i) поместить блоки ПММА с латеральным центрированием на подставку для молочной железы и выровнять их по краю грудной стенки;
  - ii) поместить алюминиевую пластину поверх этих блоков на расстоянии 4 см [18] или 6 см [21] от края грудной стенки;
  - iii) приложить усилие компрессии, которое приводит в действие АКЭ. На рис. 36 показана схема теста;  
**Примечание.** Для оценки этих изображений отключить все возможные устройства обработки изображений.
  - iv) выбрать режим АКЭ, который наиболее часто используется в клинической практике и по возможности датчик АКЭ, совмещенный с алюминиевой пластиной;  
**Примечание.** Для этого теста следует всегда использовать одну и ту же пластину для компьютерной рентгенографии и перед каждой экспозицией проверять, очищена ли пластина.
  - v) произвести экспозицию и записать значения, получаемые в качестве обратной связи с консоли оператора;
  - vi) повторить шаг v) четыре раза, чтобы получить в общей сложности пять изображений;



*Рис. 36. Конфигурация теста с фантомом для измерения отношения разности сигналов к шуму с использованием фантома из ПММА толщиной 45 мм и алюминиевой пластины.*

- b) пленочно-экранные системы:
- i) поместить блоки ПММА с латеральным центрированием на подставку для молочной железы и выровнять их по краю грудной стенки;
  - ii) приложить усилие компрессии, которое приводит в действие АКЭ. На рис. 36 показана схема теста;
  - iii) выбрать режим АКЭ и по возможности датчик АКЭ, расположенный на расстоянии 6 см от края грудной стенки;  
**Примечание.** При данной настройке система АКЭ может переключаться между спектрами; в этом случае рекомендуется поместить поверх блоков еще одну пластину из ПММА толщиной 5 мм, чтобы обеспечить выбор одного спектра.
  - iv) расположить ионизационную камеру как можно ближе к датчику АКЭ, не создавая при этом помех для АКЭ;
  - v) выполнить не менее пяти экспозиций, повторяя предыдущие шаги. Записать значения, получаемые в качестве обратной связи с консоли оператора, и зафиксировать показания ионизационной камеры.

#### 4.2.5.4. Анализ и интерпретация

- а) Компьютерная рентгенография и цифровые рентгенографические системы визуализации:
- i) использовать программное обеспечение для анализа изображений для расчета MPV и стандартного отклонения по каждой ОИ в соответствии с рис. 37;
  - ii) вычислить отношение разности сигналов к шуму (SDNR) в соответствии с ур-нием (6):

$$SDNR = \frac{|MPV_{bkg} - MPV_{AI}|}{SD_{bkg}}, \quad (6)$$

где:

SDNR – отношение разности сигналов к шуму;  
MPV<sub>bkg</sub> – MPV в ОИ, выбранной на заднем плане;

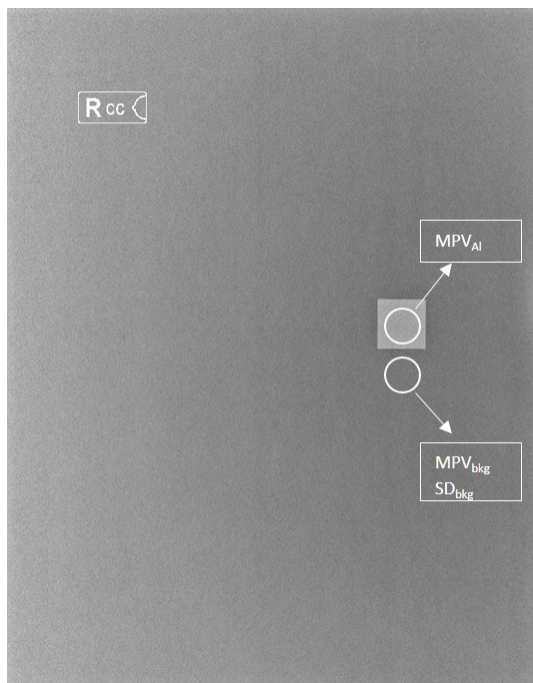


Рис. 37. Изображение тест-объекта и областей интереса, используемых для вычисления отношения разности сигналов к шуму.

|            |   |
|------------|---|
| $MPV_{Al}$ | – $MPV$ в ОИ, выбранной на алюминиевой пластине;                |
| $SD_{bkg}$ | – стандартное отклонение значений пикселя в ОИ на заднем плане. |

Кратковременную воспроизводимость АКЭ можно легко оценить по коэффициенту вариации (КВ) воздушной кермы и SDNR;

- b) пленочно-экранные системы:  
использовать соответствующие поправочные коэффициенты для показаний ионизационной камеры, а затем рассчитать среднее значение результатов.

#### 4.2.5.5. *Исходные значения и допуски*

КВ для SDNR должен быть в диапазоне от  $-5\%$  до  $+5\%$  в системах компьютерной рентгенографии и цифровой рентгенографии.

При тестировании пленочно-экранных систем измеренное значение падающей воздушной кермы должно отличаться на величину от  $-5\%$  до  $+5\%$  от среднего значения для каждой экспозиции.

#### 4.2.5.6. *Периодичность*

Данный тест выполняется 1 раз в шесть месяцев.

#### 4.2.5.7. *Корректирующие действия*

Если значение SDNR выходит за пределы допустимого диапазона, следует выяснить причину. Кроме того, постоянство системы АКЭ можно проверить путем выполнения теста на компенсацию толщины молочной железы. Пока АКЭ не работает должным образом, систему можно использовать при необходимости, устанавливая экспозицию в ручном режиме. Для проверки оборудования следует обратиться к сервисному инженеру.

### 4.2.6. Система автоматического контроля экспозиции — компенсация толщины молочной железы

#### 4.2.6.1. *Описание и цель*

В случае маммографических систем, в которых используются цифровые приемники изображения для формирования изображения,

отношение разности сигналов к шуму (SDNR) является более подходящим показателем, чем параметр дозы, который использовался ранее применительно к пленочно-экраным системам. Вместе с тем пленочно-экраные системы, которые все еще используются, основываются на принципе, согласно которому на поверхность пленочно-экранной системы должна подаваться постоянная доза независимо от того, какие объекты находятся на пути пучка. Благодаря этому принципу оптическая плотность изображения является показателем, используемым для оценки эксплуатационных характеристик АКЭ в случае пленочно-экраных систем.

Данный тест предназначен для проверки того, что система АКЭ обеспечивает стабильное значение SDNR или что оптическая плотность пленки постоянна. Прежде чем приступать к этому тесту, рекомендуется провести тест, описанный в разделе 4.2.1, с тем чтобы убедиться в правильности показания толщины [18, 20–22].

#### 4.2.6.2. Оборудование

Для проведения теста необходимы:

- a) блоки ПММА общей толщиной (как минимум) 20, 45 и 60 мм, закрывающие всю область приемника изображения;
- b) алюминиевая пластина, использованная для предыдущего теста (применительно к системам цифровой маммографии; раздел 4.2.5.2);
- c) денситометр (применительно к пленочно-экраным системам).

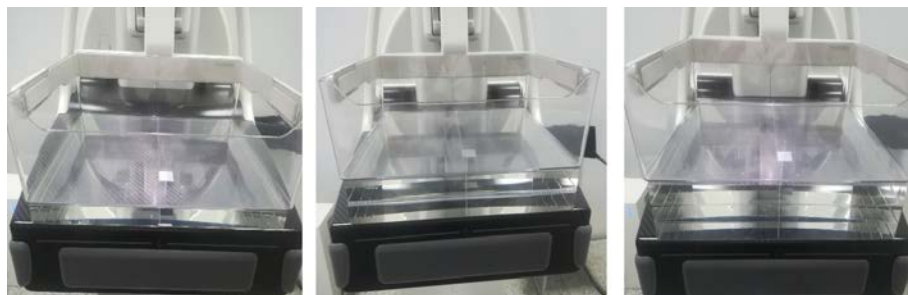
#### 4.2.6.3. Процедура

В некоторых руководствах рекомендуется выполнять тесты на компенсацию толщины с набором блоков ПММА различной толщины (например, 20–70 мм с шагом 10 мм), включая толщину 45 мм. Если имеющиеся технические возможности позволяют это сделать, рекомендуется выполнять данную рекомендацию.

В более раннем руководстве МАГАТЭ по КК в цифровой маммографии [18] предлагалось устанавливать эквивалентную толщину молочной железы с применением ПММА (например, толщину 53 мм сжатой молочной железы в случае блоков ПММА толщиной 45 мм). Такой подход не запрещен, и его влияние на результаты теста может быть пренебрежимо малым; однако выбор комбинации анод — фильтр зависит от показываемой толщины сжатой молочной железы, и необходимо, чтобы тесты КК, основанные на этом подходе, проводились последовательным образом.

Применяются следующие процедуры тестирования:





*Рис. 38. Расположение фантома для тестирования системы автоматического контроля экспозиции с различной толщиной фантома.*

- a) компьютерная рентгенография и цифровые рентгенографические системы визуализации:
  - i) поместить блок ПММА толщиной 20 мм на подставку для молочной железы, выровняв ее по краю грудной стенки;
  - ii) положить алюминиевую пластину на блок ПММА на расстоянии 4 см [18] или 6 см [21] от края грудной стенки с латеральным центрированием. На рис. 38 показана схема теста для различных значений толщины фантома;
  - iii) после настройки соответствующего усилия компрессии для работы системы АКЭ выбрать режим АКЭ, который наиболее часто используется в клинической практике;
  - iv) если это возможно, выбрать датчик АКЭ, расположенный ближе всего к алюминиевой пластине;
  - v) произвести экспонирование фантома в режиме АКЭ и записать значения, получаемые в качестве обратной связи с консоли оператора. В результате такого экспонирования необработанное изображение должно быть доступно для последующей оценки;
  - vi) повторить предыдущие шаги, не перемещая алюминиевую пластину; каждый раз увеличивать толщину фантома, подкладывая следующий блок под предыдущий;
  - vii) повторить тест для каждого режима работы АКЭ, используемого в клинической практике;
- b) пленочно-экранные системы:
  - i) поместить блок ПММА толщиной 20 мм на подставку для молочной железы с выравниванием по краю грудной стенки;

- ii) после настройки соответствующего усилия компрессии для работы АКЭ выбрать настройку АКЭ, которая наиболее часто используется в клинической практике;
- iii) выбрать датчик АКЭ, расположенный ближе всего к точке в 6 см от края грудной стенки. Выбрать используемую в клинической практике настройку коррекции плотности, которая обеспечивала бы оптическую плотность, приблизительно равную целевой оптической плотности (например, OD = 1,5, включая вуаль плюс основа);
- iv) произвести экспонирование фантома в режиме АКЭ и обработать пленку;
- v) увеличить толщину фантома и повторить тест.

#### 4.2.6.4. Анализ и интерпретация

Анализ и интерпретация результатов тестов выполняются следующим образом:

- a) компьютерная рентгенография и цифровые рентгенографические системы визуализации:
  - i) оценить изображение каждого фантома и определить SDNR для каждого из них в соответствии с разделом 4.2.5;
  - ii) вычислить вариацию SDNR относительно референсной толщины 45 мм,  $\Delta\text{SDNR}_{45}$ , в соответствии с ур-нием (7):

$$\Delta\text{SDNR}_{45} = \frac{\text{SDNR}_i - \text{SDNR}_{45}}{\text{SDNR}_{45}} \times 100, \quad (7)$$

где:

- $\Delta\text{SDNR}_{45}$  – вариация SDNR относительно референсной толщины 45 мм;
- $\text{SDNR}_i$  – SDNR, измеренное при  $i$ -ой толщине;
- $\text{SDNR}_{45}$  – SDNR, измеренное при толщине 45 мм.

Эффективность компенсации АКЭ может быть оценена через  $\Delta\text{SDNR}_{45}$ ;

- b) пленочно-экранные системы: измерить оптическую плотность на каждой пленке с помощью денситометра.

#### 4.2.6.5. Исходные значения и допуски

Применяются следующие исходные условия и допуски:

- а) компьютерная рентгенография и цифровые рентгенографические системы визуализации:  
предельные значения (для ПММА толщиной 20, 45 и 60 мм) приведены в таблице 3. В [18] приведены также достижимые и приемлемые значения SDNR для различных типов маммографов;
- б) пленочно-экранные системы:  
оптическая плотность всех пленок не должна отличаться более чем на  $OD = \pm 0,15$  от целевой оптической плотности.

#### 4.2.6.6. Периодичность

Повторять этот тест 1 раз в год.

#### 4.2.6.7. Корректирующие действия

Прежде всего проверить параметры экспозиции и конфигурацию теста и убедиться в том, что указанная толщина молочной железы соответствует ожидаемому напряжению на трубке и комбинациям анод — фильтр.

В случае цифровых маммографов, если  $\Delta SDNR_{45}$  выходит за границы предельных значений, проверить приемник изображения. Если приемник изображения работает должным образом, может потребоваться настройка АКЭ. Корректирующие действия, такие как калибровка, должны быть выполнены до визуализации следующих пациентов.

На пленочно-экранные системы могут влиять многие факторы. Если система не проходит только этот тест (но, например, обработка соответствует

ТАБЛИЦА 3. ИСХОДНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ И ДОПУСКИ  
ДЛЯ SDNR

| Толщина ПММА (мм) | Предельные значения $\Delta SDNR_{45}$ |
|-------------------|--|
| 20                | $\geq 0\%$                             |
| 45                | —                                      |
| 60                | $\geq -30\%$                           |

требованиям, результат теста мощности трубки удовлетворителен), следует обратиться к сервисному инженеру.

#### **4.2.7. Система автоматического контроля экспозиции — согласованность между датчиками**

##### *4.2.7.1. Описание и цель*

Устройства системы автоматического контроля экспозиции (АКЭ) в аппаратах пленочно-экранной маммографии обычно бывают установлены в нескольких положениях. То же самое может быть и в некоторых цифровых системах. Когда обеспечивается возможность выбора датчика АКЭ (его положения), этот тест необходим для обеспечения постоянства оптической плотности или целевого значения SDNR независимо от выбранного датчика АКЭ [18, 21].

##### *4.2.7.2. Оборудование*

Для проведения теста необходимы:

- a) блоки ПММА общей толщиной 45 мм;
- b) алюминиевая пластина высокой чистоты толщиной 0,2 см и размером 10 × 10 см, либо 15 × 15 см (для цифровых маммографических систем);
- c) денситометр (для пленочно-экранных систем).

##### *4.2.7.3. Процедура*

Выполнить процедуру, описанную в разделе 4.2.5. Повторять этот тест для каждого положения датчика не требуется, но следует выполнять его как минимум один раз (при вводе в эксплуатацию) для каждого из датчиков, которые можно выбирать. При повторении процедуры с датчиком необходимо обеспечивать, чтобы алюминиевая пластина находилась в положении зоны следующего выбранного датчика.

В пленочно-экранных системах вместо ионизационной камеры рекомендуется использовать пленки.

##### *4.2.7.4. Анализ и интерпретация*

Проанализировать изображения, как описано в разделе 4.2.5.

#### 4.2.7.5. *Исходные значения и допуски*

В случае компьютерной рентгенографии и цифровых рентгенографических систем значение SDNR должно составлять менее  $\pm 5\%$  от среднего значения. Измеренная оптическая плотность не должна отличаться более чем на  $OD = \pm 0,20$  от среднего значения, измеренного в зоне датчика АКЭ.

#### 4.2.7.6. *Периодичность*

Данный тест выполняется каждые шесть месяцев.

#### 4.2.7.7. *Корректирующие действия*

Если результат для любого датчика АКЭ выходит за допустимые пределы, систему АКЭ следует повторно откалибровать.

### **4.2.8. Срабатывание защитного таймера системы автоматического контроля экспозиции**

#### 4.2.8.1. *Описание и цель*

Аналогично рентгенографии, маммографические аппараты оснащены защитным таймером, который срабатывает, если система АКЭ неисправна и не может остановить экспонирование. Описанный здесь тест следует выполнять как минимум во время ввода в эксплуатацию, чтобы проверить поведение маммографа и возможные сообщения об ошибке в случае неправильной работы АКЭ и срабатывания защитного таймера [18, 21].

#### 4.2.8.2. *Оборудование*

При проведения данного теста применяются:

- a) металлическая пластина (сталь толщиной 1 мм или свинцовый лист толщиной не менее 0,3 мм), которая может экранировать датчик АКЭ;
- b) при необходимости ионизационная камера или твердотельный детектор для измерения падающей воздушной кермы.

#### 4.2.8.3. Процедура

При проведении данного теста применяется следующая процедура:

- a) установить металлическую пластину на подставку для молочной железы;
- b) поместить прибор на металлическую пластину так, чтобы его чувствительная область располагалась латерально на расстоянии 4 см [18] или 6 см [21] от края грудной стенки;
- c) приложить усилие компрессии, при котором включается АКЭ. При необходимости использовать дистанцирующие элементы (см. рис. 39);
- d) выбрать режим АКЭ, наиболее часто используемый в клинической практике;
- e) произвести экспозицию и записать значения, отображаемые на консоли оператора. Если после экспозиции появятся сообщения об ошибках, их также следует записать.

#### 4.2.8.4. Анализ и интерпретация

Обратить внимание на поведение системы. Если она останавливается после предварительной экспозиции и отправляет сообщение об ошибке, то это допустимо, поскольку система предотвращает дальнейшее облучение пациента. Некоторые системы выполняют экспонирование и запускают защитный таймер без дополнительного уведомления.

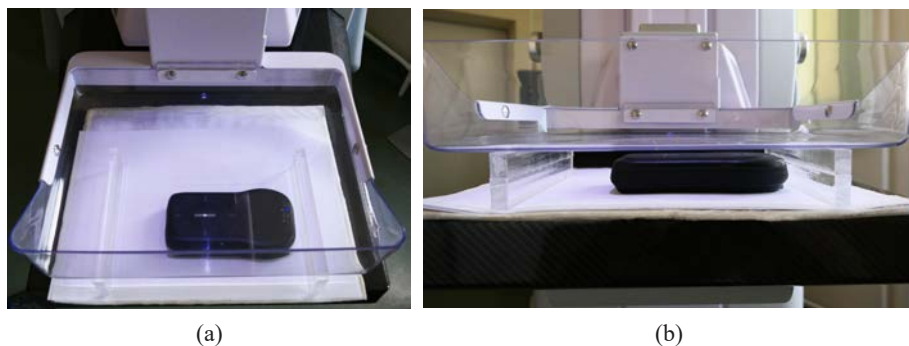


Рис. 39. Схема измерений, используемая для проверки работы защитного таймера системы автоматического контроля экспозиции, с дистанцирующими элементами: (a) вид сверху и (b) вид сбоку.

#### 4.2.8.5. *Исходные значения и допуски*

Ожидается, что работа АКЭ со временем не изменяется по сравнению с исходным уровнем (установленным при вводе в эксплуатацию).

#### 4.2.8.6. *Периодичность*

Данный тест проводится во время ввода в эксплуатацию.

#### 4.2.8.7. *Корректирующие действия*

Желательно, чтобы система останавливала экспонирование, если система АКЭ неисправна, и чтобы она показывала на дисплее предупреждение или, предпочтительно, сообщение об ошибке. В некоторых цифровых системах управляющее программное обеспечение может быть настроено на другое поведение защитного таймера АКЭ. Следует проконсультироваться с сервисным инженером по вопросу о необходимости и возможности изменения режима работы защитного таймера АКЭ.

### **4.2.9. Оценка функции отклика и шума (только компьютерная рентгенография и цифровая рентгенография)**

#### 4.2.9.1. *Описание и цель*

Назначением данного теста является оценка характеристик отклика и шума системы получения изображений в стандартных условиях. В случае любого вида систем визуализации среднее значение пикселя (MPV) изображения в зависимости от дозы должно соответствовать тренду — линейному (цифровая рентгенография) и нелинейному (компьютерная рентгенография). Правильно настроенная система демонстрирует поведение, при котором квантовый шум является наиболее доминирующим [18, 20].

#### 4.2.9.2. *Оборудование*

Для теста используются блоки ПММА толщиной 45 мм.

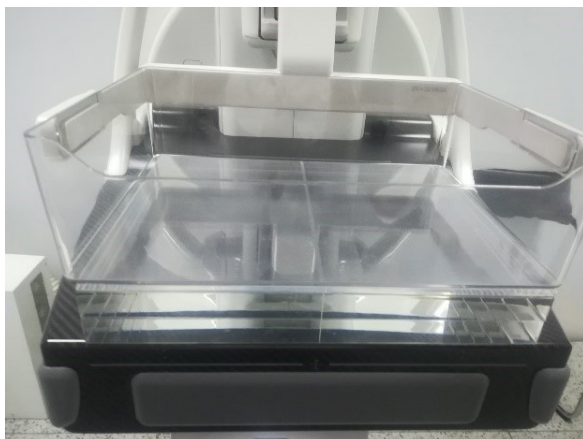


Рис. 40. Схема теста с фантомом для измерения однородности и шума детектора.

#### 4.2.9.3. Процедура

При проведении данного теста применяется следующая процедура:

- a) поместить блок (блоки) ПММА толщиной 45 мм на подставку для молочной железы;
- b) на консоли оператора выбрать ручной режим экспозиции;
- c) сжать пластины из ПММА и выбрать комбинацию анод — фильтр и киловольтное напряжение, которые система АКЭ задаст для данной схемы теста;
- d) опустить компрессионную пластину (см. рис. 40);
- e) произвести экспозицию с той долей значения  $\text{мА}\cdot\text{с}$  (например,  $10 \text{ мА}\cdot\text{с}$ ), которую бы выбрала система АКЭ для данной настройки. После экспонирования записать значения, получаемые в качестве обратной связи, и падающей воздушной кермы (или ESAK);
- f) повторять предыдущий шаг, увеличивая значение  $\text{мА}\cdot\text{с}$  (с увеличением примерно в 1,4–1,6 раза при выполнении очередного шага), чтобы получить в общей сложности от восьми до десяти изображений (достигнув в результате  $200\text{--}300 \text{ мА}\cdot\text{с}$ ).

**Примечание.** Для получения изображения в этом тесте следует всегда использовать одну и ту же пластину для компьютерной рентгенографии и устанавливать один и тот же режим считывания при ее обработке.



#### 4.2.9.4. Анализ и интерпретация

Для анализа и интерпретации результатов теста используются следующие процессы:

- а) функция отклика:
- i) использовать программное обеспечение для анализа изображений для оценки изображений путем измерения MPV и стандартного отклонения в ОИ (приблизительно  $1 \text{ см}^2$ ), расположенной в центре, в 6 см от края грудной стенки. В случае систем компьютерной рентгенографии также записать экспозиционный индекс;  
**Примечание.** Следует использовать одни и те же параметры ОИ для каждого изображения.
  - ii) построить график зависимости MPV от падающей воздушной кермы для систем цифровой рентгенографии. В случае систем компьютерной рентгенографии проверить, воспользовавшись руководством по эксплуатации от изготовителя, применяется ли линейная или логарифмическая зависимость между MPV и значением падающей воздушной кермы или  $\text{мА}\cdot\text{с}$ , и соответствующим образом скорректировать измеренные значения или значения, получаемые в качестве обратной связи (например, принять натуральный логарифм падающей воздушной кермы, если действует такая зависимость);
  - iii) определить наилучшее соответствие графика с помощью регрессионного анализа методом наименьших квадратов и вычислить параметр  $R^2$ . Линейные параметры подчиняются ур-нию (8):

$$\text{MPV} = A + Bx, \quad (8)$$

где:

- MPV – среднее значение пикселя;
  - $A$  – точка падения линии на ось  $y$  (значение смещения пикселя);
  - $B$  – наклон линии;
  - $x$  – соответствует падающей воздушной керме или ее логарифму;
- iv) среднее расстояние по результатам измерений (коэффициент вариации (KB/COV) от подогнанной линии также можно оценить с помощью ур-ния (9):

$$\text{COV} = \frac{\text{MPV}_i - A}{x_i}, \quad (9)$$

где:

COV – коэффициент вариации (КВ);

$\text{MPV}_i$  – MPV  $i$ -ого изображения;

$x_i$  – соответствует падающей воздушной керме или ее логарифму для  $i$ -ого изображения;

b) оценка шума

шум на изображении можно охарактеризовать через стандартное отклонение значений пикселей изображения. Дисперсия (квадрат стандартного отклонения) графически представляется как функция значения  $\text{mA}\cdot\text{c}$  или падающей воздушной кермы.

В системах компьютерной рентгенографии необходимо нормирование значения пикселей. Величина, обратная значению  $\text{mA}\cdot\text{c}$  или падающей воздушной кермы, может быть использована для линейной подгонки и определения коэффициента корреляции  $R^2$ , который можно использовать для оценки шума с помощью ур-ния (10):

$$\text{SD}^2 = a + bx, \quad (10)$$

где:

SD – стандартное отклонение;

$a$  – параметр смещения;

$b$  – наклон линии;

$x$  – соответствует значению  $\text{mA}\cdot\text{c}$ , падающей воздушной керме (цифровая рентгенография) или обратной величине этих параметров (компьютерная рентгенография).

#### 4.2.9.5. Исходные значения и допуски

Коэффициент корреляции ( $R^2$ ) должен быть как можно ближе, в частности, к 1,  $R^2$  должен составлять  $\geq 0,95$  [20] или  $\geq 0,99$  [21]. КВ для функции отклика должен быть  $< 10\%$ .

#### 4.2.9.6. Периодичность

Данный тест выполняется 1 раз в год.

#### 4.2.9.7. Корректирующие действия

Рекомендуется проанализировать результаты и повторить тест или как минимум повторить оценку. Если функция отклика изображения показывает отклонения, следует убедиться в том, что радиационный выход и СПО являются удовлетворительными. Если же ранее рассмотренные тесты контроля качества (раздел 4.2.9) не приемлемы, следует обратиться к сервисному инженеру.

Повышение уровня шума в системе визуализации может быть вызвано рядом проблем. Если в рассматриваемой системе используется цифровой приемник рентгенографического изображения, его можно отрегулировать, откалибровать или, наконец, заменить. Если в системе компьютерной рентгенографии наблюдается повышенный уровень шума, следует тщательно проверить считывающие устройства и рентгенографические запоминающие пластины. Если дальнейшие тесты подтверждают, что ухудшение функции отклика влияет на качество изображения, следует рассмотреть целесообразность приостановки эксплуатации системы.

#### **4.2.10. Однородность изображения на приемнике изображения — тест, проводимый 1 раз в год (только компьютерная рентгенография и цифровая рентгенография)**

##### 4.2.10.1. Описание и цель

Данный тест оценивает «плоскостность» изображения. Однородный тест-объект, отображаемый на цифровом приемнике, должен давать однородное изображение. Этот тест необходим для систем цифровой маммографии, поскольку он позволяет определить необходимость коррекция плоского поля или установить, что коррекция усиления отдельных пикселей является правильной (только цифровая рентгенография [20, 21]).

##### 4.2.10.2. Оборудование

Для проведения теста необходим блок ПММА толщиной 45 мм, закрывающий всю область приемника изображения.

**Примечание.** Следует убедиться в том, что блок ПММА однороден и не имеет глубоких царапин или неоднородностей.

### 4.2.10.3. Процедура

При проведении данного теста применяется следующая процедура:

- a) поместить блок ПММА на подставку для молочной железы;
- b) сжать тест-объект, используя самую большую имеющуюся компрессионную пластину, чтобы обеспечить выбор самого большого доступного поля;
- c) выбрать наиболее часто используемый режим АКЭ для выполнения экспозиции и записать значения, получаемые в качестве обратной связи с консоли оператора.

**Примечание.** Следует использовать ту же самую пластину для компьютерной рентгенографии, которая применялась для оценки функции отклика. Этот тест следует повторить для каждой пластины для компьютерной рентгенографии, если проводится согласование чувствительности.

В случае предполагаемого наличия на стандартном блоке дефектов или обнаружения видимых царапин блок можно повернуть и повторить тест, чтобы исключить появление артефактов, возникающих вследствие этих дефектов.

### 4.2.10.4. Анализ и интерпретация

Для данного теста рекомендуется использовать программное обеспечение для анализа изображений, такое как плагин «COQ Mammo» for ImageJ, разработанный Европейской федерацией организаций медицинской физики (EFOMP) [20]. Для определения локальной и общей однородности изображения выполняются указанные ниже действия. Общая однородность относится только к цифровым рентгенографическим системам, в которых для изображений выполняется коррекция плоского поля. Порядок действий следующий:

- a) задействовать программное обеспечение для анализа изображений с целью определения MPV на всем изображении;
- b) создать ОИ размером  $10 \text{ мм}^2$  или больше вокруг изображения и рядом друг с другом, образуя матрицу (см. рис. 41);
- c) определить MPV для каждой ОИ, а также для восьми соседних ОИ;
- d) вычислить локальную однородность (LU) в соответствии с ур-нием (11), которое позволяет определить ОИ с наибольшим относительным

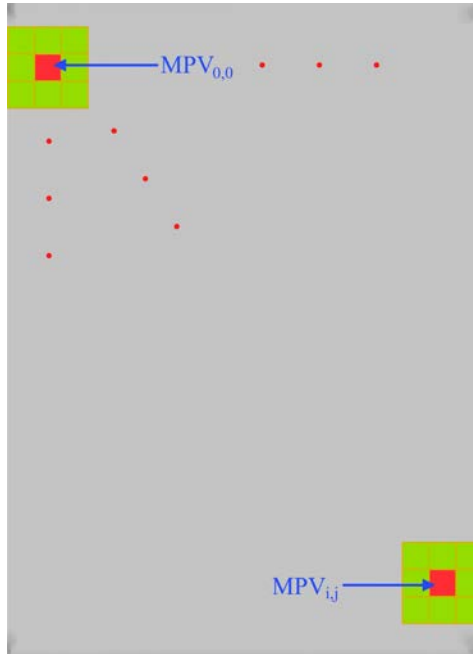


Рис. 41. Положения ОИ, используемые для оценки локальной и общей однородности.

отличием от соседних ОИ («max») в качестве показателя локальной однородности:

$$LU = \frac{|MPV_{i,j} - MPV_n|}{MPV_n}, \quad (11)$$

где:

LU – локальная однородность;

$MPV_{i,j}$  – MPV в ОИ изображения, где  $i$  и  $j$  обозначают ОИ на изображении;

$MPV_n$  – MPV соседних ОИ, имеющих индекс  $n$ ;

**Примечание.** Характерные неоднородности, такие как области или границы, где изображение неизбежно неоднородно, следует опустить.

- е) аналогичным показателем однородности является общая однородность (GU), но MPV всего изображения служит основой для

сравнения с исходными значениями или с  $MPV_{i,j}$ , как это описывается уравнением:

$$GU = \frac{|MPV_{i,j} - MPV_{image}|}{MPV_{image}}, \quad (12)$$

где:

GU – общая однородность;  
MPV<sub>image</sub> – MPV всего изображения.

#### 4.2.10.5. Исходные значения и допуски

Локальная однородность должна быть  $\leq 5\%$ , а общая (применительно только к цифровым системам)  $\leq 10\%$ .

#### 4.2.10.6. Периодичность

Данный тест выполняется 1 раз в год или при внесении изменений в систему визуализации.

#### 4.2.10.7. Корректирующие действия

Повторить тест и проверить блоки ПММА на наличие неоднородностей. Перевернуть блоки и повторить тест. Если видны битые пиксели или необходима повторная калибровка, следует обратиться к сервисному инженеру. Следует проконсультироваться с рентгенологами, использующими эту систему, чтобы убедиться в том, что обнаруженная ошибка существенно не влияет на клиническую оценку изображений; если же она оказывает такое влияние, использование аппарата следует приостановить до проведения повторной калибровки.

### 4.2.11. Пространственное разрешение

#### 4.2.11.1. Описание и цель

Данный тест используется для определения мельчайших (высококонтрастных) деталей, видимость которых обеспечивает система визуализации. Мелкие детали могут быть смазанными и неотличимыми от фона. Размер фокусного пятна, а в случае пленочно-экранных систем

размер зерен пленки является ограничивающим фактором, и на цифровые системы визуализации влияют используемая технология визуализации и элементы детектора.

Пленки обладают более высоким контрастным разрешением, чем цифровые устройства визуализации, но это не единственный очень важный фактор в визуализации и диагностике молочной железы.

При широкой доступности компьютеров рекомендуется использовать специальный инструмент для тестирования, предназначенный для определения функции передачи модуляции (ФПМ). Этот тест также можно проводить более традиционным способом с применением тест-объекта с разрешением в парах линий, но в этом случае определению поддается лишь ограниченное пространственное разрешение. В данном разделе описывается определение ФПМ. Тест с использованием инструмента для определения разрешения в парах линий отличается только тест-объектом и его субъективной оценкой [18, 21].

#### *4.2.11.2. Оборудование*

Для проведения теста необходимы:

- a) соответствующий инструмент для определения ФПМ. Этот инструмент для тестирования, как правило, состоит из изготовленного с высокой точностью металлического аттенюатора с очень прямой кромкой толщиной около 0,1 мм, выполненного из материалов, которые технологичны в производстве, долговечны и обладают высокой плотностью и сильным ослаблением, таких как ниобий, сталь или вольфрам. Для изображения этого объекта необходим высокий контраст, следовательно, требуется высокое ослабление. Некоторые изготовители таких тест-объектов используют свинец со слегка изогнутым углом или более толстую алюминиевую пластину, которые легче поддаются обработке деформацией; в этом случае инструмент для тестирования ФПМ обычно представляет собой вставку в основной блок ПММА;
- b) инструмент для определения разрешения в парах линий в случае пленочно-экранных систем;
- c) блоки ПММА толщиной 45 мм;
- d) программное обеспечение для оценки ФПМ.

#### 4.2.11.3. Процедура

При проведении данного теста применяется следующая процедура:

- a) разместить инструмент для определения ФПМ на 45 мм выше подставки для молочной железы так, чтобы металлический аттенуатор находился под небольшим углом ( $2-5^\circ$ ) по отношению к краю грудной стенки. Эта схема показана на рис. 42. В случае пленочно-экранных систем следует использовать фантом с испытательной таблицей в виде полос для определения пространственного разрешения;
- b) произвести экспозицию, вручную установив экспозиционный индекс, имеющий такое же значение, какое используется для получения клинического изображения усредненной молочной железы. На рис. 43 показано изображение, полученное при такой экспозиции .

#### 4.2.11.4. Анализ и интерпретация

Для анализа и интерпретации результатов теста используется следующий порядок:

- a) обработать изображение с помощью соответствующего программного обеспечения, которое вычисляет функцию распространения линии по



Рис. 42. Схема теста для определения функции передачи модуляции (ФПМ) с использованием фантома толщиной 10 мм, размещенного над блоком ПММА толщиной 35 мм.



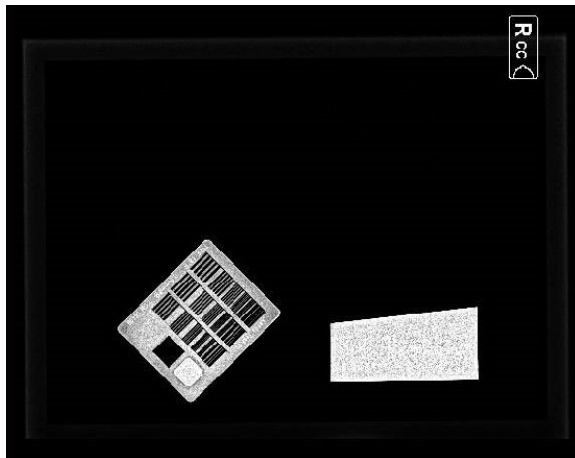


Рис. 43. Рентгеновское изображение инструмента (справа) для определения функции передачи модуляции (ФПМ), смонтированного в тест-объекте для контроля качества.

переходу наклонного края (первая производная), выполняет быстрое преобразование Фурье и обрабатывает функцию для построения ее графика в зависимости от пространственной частоты;

- b) зарегистрировать точки, в которых ФПМ падает ниже 50% и 20%;
- c) во время ввода в эксплуатацию установить исходное значение и записать скорость передачи на уровне 2,5, 5 и 7,5 циклов на миллиметр.

#### 4.2.11.5. Исходные значения и допуски

Необходимо учитывать следующее:

- a) пространственные частоты, при которых ФПМ падает до 50% и 20%, не должны быть меньше значений, указанных для соответствующей модели;
- b) ФПМ при 2,5, 5 и 7,5 циклах на миллиметр не должна отличаться от исходного значения более чем на 10%;
- c) в случае ухудшения пространственного разрешения оно может варьироваться в разных областях приемника изображения. В этом случае измерение следует повторить в нескольких местах на изображении. Затем эти изображения следует сравнить друг с другом;
- d) более высокий уровень шума может приводить к локальному изменению ФПМ;

- e) если для определения ограниченного пространственного разрешения используется инструмент для измерения разрешения в парах линий, следует обратиться к спецификациям изготовителя;
- f) в случае пленочно-экранной визуализации ограниченное пространственное разрешение должно быть лучше (выше), чем 12 пар линий на миллиметр.

#### *4.2.11.6. Периодичность*

Данный тест выполняется 1 раз в год и после замены или обслуживания детектора, трубки или устройства считывания пластин для компьютерной рентгенографии.

#### *4.2.11.7. Корректирующие действия*

Если частота 50% или 20% для ФПМ, параллельно или перпендикулярно грудной стенке, падает ниже спецификаций изготовителя или если ФПМ при 2,5, 5 и 7,5 циклах на миллиметр изменяется на 10% или более по сравнению с ранее измеренными значениями, следует обратиться в сервисную службу изготовителя.

Если значение ограниченного пространственного разрешения меньше требуемого, убедиться в том, что система работает удовлетворительно и что в случае пленочно-экранных систем обработка осуществляется удовлетворительно, и проверить радиационный выход. Размер фокусного пятна может влиять на разрешающую способность.

### **4.2.12. Появление ложных контуров (только компьютерная рентгенография и цифровая рентгенография)**

#### *4.2.12.1. Описание и цель*

В данном тесте оценивается серьезность артефактов, вызванных предыдущим экспонированием детектора, в случае всех систем, за исключением систем с режимом счета фотонов [18].

#### *4.2.12.2. Оборудование*

Необходимое оборудование: блоки ПММА толщиной 45 мм.

### 4.2.12.3. Процедура

- a) Поместить блок ПММА на правую половину подставки для молочной железы так, чтобы была закрыта примерно половина области визуализации молочной железы. Конфигурация теста показана на рис. 44;
- b) сжать блок ПММА, а затем произвести ручную экспозицию с параметрами, используемыми для усредненной молочной железы. Обозначить изображение как «ложный контур 1» (ghost 1) или аналогичным образом;

**Примечание.** При выполнении этого теста на системах компьютерной рентгенографии сразу же обработать пластину для компьютерной рентгенографии и повторно использовать для данного теста ту же самую пластину;

- c) изменить положение блока ПММА на подставке для молочной железы так, чтобы он был центрирован латерально и выровнен по краю грудной стенки (рис. 45);
- d) после получения первого изображения, как только аппарат позволит провести другую экспозицию или будет доступна та же самая пластина детектора, получить второе изображение тем же методом вручную. Обозначить его как «ложный контур 2» (ghost 2).

**Примечание.** В случае систем компьютерной рентгенографии следует выдерживать одинаковый интервал между получением первого и последующего изображения.



Рис. 44. Схема теста с фантомом для создания «ложного контура 1» и «ложного контура 2».

#### 4.2.12.4. Анализ и интерпретация

Процесс анализа и интерпретации результатов тестирования состоит в следующем:

- просмотреть полученные изображения на дисплее, используемом для диагностики. Нанести две ОИ (площадь  $\sim 4 \text{ см}^2$ ): одну расположить на части изображения, которая была покрыта блоком ПММА только во время второй экспозиции ( $\text{ROI}_1$ ), и одну на части изображения, которая была покрыта блоком ПММА во время обеих экспозиций ( $\text{ROI}_2$ ). Измерить MPV в  $\text{ROI}_1$  ( $A$ ), MPV в  $\text{ROI}_2$  ( $B$ ) и их стандартное отклонение ( $C$ );
- записать результаты;
- вычислить SDNR для ложного контура, используя уравнение (13):

$$\text{SDNR} = \left| \frac{A - B}{C} \right|, \quad (13)$$

где:

SDNR – отношение разности сигналов к шуму;

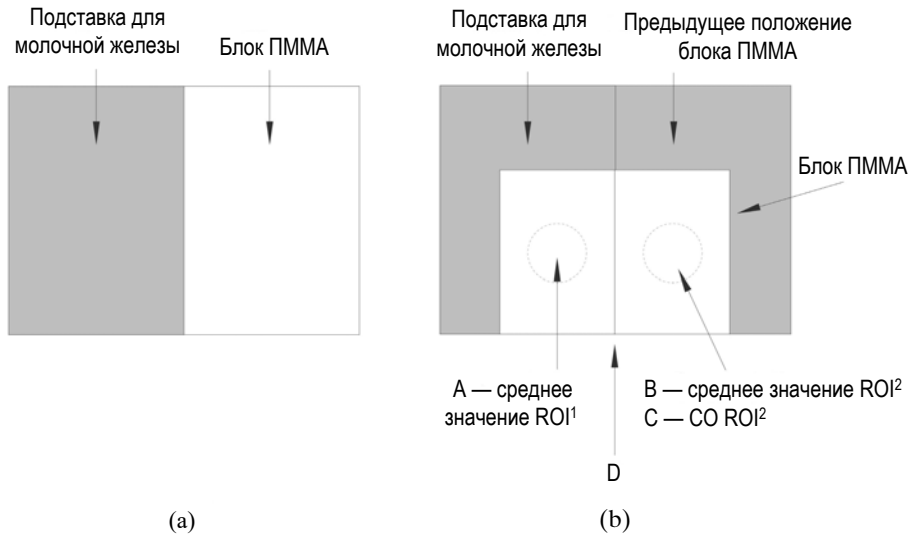


Рис. 45. Схема теста на появление ложных контуров для (a) первой и (b) второй экспозиции. ОИ: область интереса (ROI); CO: стандартное отклонение (SD).

- A* – MPV на заднем плане фантома с той стороны, на которой во время первой экспозиции не было аттенюатора. ОИ должна находиться на расстоянии ~20 мм слева от линии, указывающей центр приемника изображения, обозначенный буквой «D» на рис. 45;
  - B* – MPV на изображении фантома, которое является задним планом. Это то место, в котором во время первой экспозиции присутствовал блок ПММА. ОИ должна находиться приблизительно в ~20 мм от линии «D»;
  - C* – стандартное отклонение для той же ОИ, что и для *B*;
- d) использовать узкую ширину окна и соответствующий уровень окна, осмотреть центральную часть изображения там, где проходит граница между двумя областями экспозиции. Записать ширину окна и уровень окна;
  - e) зарегистрировать наличие или отсутствие любого визуально наблюдаемого ложного контура.

#### *4.2.12.5. Исходные значения и допуски*

Для ложного контура принимается  $SDNR \leq 2.0$ . Кроме того, при просмотре измеренного ложного контура с настройкой окна, типичной для клинического использования, на втором изображении не должно быть видимых следов первого местоположения аттенюатора.

#### *4.2.12.6. Периодичность*

Данный тест выполняется 1 раз в год и после замены детектора.

#### *4.2.12.7. Корректирующие действия*

При наличии ложных контуров провести оценку пластин для компьютерной рентгенографии на предмет их дальнейшей приемлемости в клинической практике. Со временем состояние этих визуализационных пластин ухудшается. При появлении ложных контуров в системах цифровой рентгенографии следует обратиться к поставщику или в сервисную службу для проверки приемника изображения. Если на приемнике изображения сохраняется стойкий ложный контур, клиническое использование этого приемника следует прекратить.

### 4.2.13. Согласование чувствительности пластин для компьютерной рентгенографии

#### 4.2.13.1. Описание и цель

Поскольку каждая пластина для компьютерной рентгенографии является индивидуальным приемником изображения, тесты для исследования систем визуализации должны проводиться для каждой из них. Однако на практике такие тесты проводить трудно, и поэтому считается допустимым проводить тесты контроля качества с помощью одной «референсной» пластины для компьютерной рентгенографии. Не следует смешивать рентгенографические пластины разных серий, так как их отклик может существенно различаться.

Перед выполнением этого теста убедиться в том, что система АКЭ работает надлежащим образом [18, 20].

#### 4.2.13.2. Оборудование

Для данного теста необходимы блоки ПММА толщиной 45 мм.

#### 4.2.13.3. Процедура

Для проведения теста применяется следующая процедура:

- a) поместить блок ПММА на подставку для молочной железы, как при тесте на однородность, описанном в разделе 4.2.10;  
**Примечание.** Если на стандартном блоке предположительно имеются дефекты или присутствуют видимые царапины, блок можно повернуть и повторить тест, с тем чтобы избежать образования артефактов.
- b) приложить компрессию к тест-объекту, используя самую большую имеющуюся компрессионную пластину, чтобы создать максимально большое поле;
- c) выбрать наиболее часто используемый режим АКЭ, произвести экспозицию и записать значения, получаемые в качестве обратной связи с консоли оператора. По возможности, выбрать датчик АКЭ вблизи референсной точки на расстоянии 4 см [18] или 6 см [21] от края грудной стенки, центрированный в латеральном направлении;  
**Примечание.** Не менять режим АКЭ или датчик на протяжении всего этого теста.
- d) произвести экспозицию с выбранными настройками и записать значения, получаемые в качестве обратной связи с консоли оператора

- (падающей воздушной кермы), и значения считывающего устройства компьютерной рентгенографии (экспозиционный индекс);
- е) повторить тест для каждой пластины для компьютерной рентгенографии.

#### 4.2.13.4. Анализ и интерпретация

Анализ и интерпретация результатов теста осуществляются следующим образом:

- а) визуально оценить изображения на дисплее, используемом для диагностики. Зарегистрировать артефакты, если они присутствуют;
- б) используя программное обеспечение для анализа изображений, нанести ОИ ( $\sim 1 \text{ см}^2$ ) в референсной точке в 4 см [18] или 6 см [21] от края грудной стенки в центре первого изображения и измерить среднее значение и стандартное отклонение значений пикселей в ОИ. Записать результаты;

**Примечание.** Поскольку этот тест заключается в визуализации блоков ПММА и проводится аналогично тесту на однородность, рекомендуется также выполнить оценку, описанную в разделе 4.2.10, для каждой пластины, предназначенной для компьютерной рентгенографии.

- с) повторить шаг б) для каждого изображения;
- д) вычислить отношение сигнал — шум (SNR) для каждого изображения  $i$ , используя ур-ние (14):

$$\text{SNR}_i = \frac{\text{MPV}_i}{\text{SD}_i}, \quad (14)$$

где:

$\text{SNR}_i$  – отношение сигнал — шум для изображения  $i$ ;

- е) по каждому параметру (SNR, MPV и экспозиционный индекс) вычислить для каждого изображения наибольшую разницу от контроля, используя ур-ние (15):

$$\Delta_{\text{ref}} = \max \left( \frac{|X_i - X_{\text{ref}}|}{X_{\text{ref}}} \right) \times 100, \quad (15)$$

где:

$\Delta_{\text{ref}}$  – вариабельность относительно референсной пластины для компьютерной рентгенографии;

$X_i$  – экспозиционный индекс, MPV или SNR  $i$ -го изображения;

$X_{\text{ref}}$  – экспозиционный индекс, MPV или SNR, соответственно, изображения, записанного с помощью референсной пластины для компьютерной рентгенографии;

- f) по каждому параметру (SNR, MPV и экспозиционный индекс) вычислить для каждого изображения наибольшую разницу от среднего значения всех изображений, используя уравнение (16):

$$\Delta_{\text{mean}} = \max \left( \frac{|X_i - X_{\text{mean}}|}{X_{\text{mean}}} \right) \times 100, \quad (16)$$

где:

$\Delta_{\text{mean}}$  – вариабельность относительно среднего значения всех пластин для компьютерной рентгенографии;

$X_{\text{mean}}$  – среднее значение экспозиционного индекса, MPV или SNR, рассчитанное по всем изображениям.

#### 4.2.13.5. Исходные значения и допуски

Максимальное отклонение должно быть в пределах  $\pm 15\%$  от среднего значения для всех изображений и в пределах  $\pm 20\%$  от MPV, SNR и экспозиционного индекса референсного изображения. Ни на одном изображении не должно быть артефактов, которые могли бы повлиять на клинический диагноз.

В [18] содержатся дополнительные рекомендации по допускам для конкретных марок маммографических систем.

#### 4.2.13.6. Периодичность

Данный тест выполняется 1 раз в год и при вводе в эксплуатацию новых кассет.



#### 4.2.13.7. *Корректирующие действия*

Пластины, которые имеют дефекты или не демонстрируют наличия ожидаемых эксплуатационных характеристик, следует изъять из использования, поскольку они могут влиять на результаты диагностики. Присутствующие на изображениях артефакты, которые невозможно удалить, указывают на серьезный износ рентгенографической запоминающей пластины. Такие пластины следует заменять. Каждая пластина для компьютерной рентгенографии имеет ограниченный срок службы, который зависит от интенсивности ее использования, и пластина подлежит замене, если она не демонстрирует наличия ожидаемых эксплуатационных характеристик.

#### 4.2.14. **Средняя доза на молочную железу**

##### 4.2.14.1. *Описание и цель*

В маммографии чувствительная к излучению облучаемая ткань молочной железы представляет собой железистую ткань. В данном тесте определяется средняя доза в молочной железе (MGD), которая также отображается на консоли оператора или может быть получена из метаинформации изображения в цифровых системах. Определение падающей воздушной кермы, описанное в разделе 4.2.3, имеет важное значение для расчета MGD [18, 20, 21].

##### 4.2.14.2. *Оборудование*

Для проведения теста необходимы:

- a) блоки ПММА толщиной 20, 30, 40, 45, 50, 60, 70 мм и при необходимости 80 мм;
- b) дистанцирующие элементы для установки указанной толщины молочной железы, равной эквивалентной толщине молочной железы;
- c) дозиметр с откалиброванной ионизационной камерой или твердотельным детектором для комбинаций анод — фильтр, используемых в системе маммографии.

##### 4.2.14.3. *Процедура*

Для определения MGD можно использовать два метода. В первом методе используются блоки ПММА, которые помещаются на подставку для

молочной железы, и одновременно определяются параметры системы АКЭ и выполняются измерения. При использовании этого метода блок ПММА заданной толщины (например, 20 мм) помещают на подставку для молочной железы, задают компрессию для эквивалентной толщины молочной железы (в данном примере 21 мм) и производят экспозицию, при этом ионизационная камера устанавливается над компрессионной пластиной, где она не мешает датчику АКЭ (рис. 46). Показания прибора регистрируются, при необходимости корректируются с учетом обратного рассеяния и расстояния, а затем вычисляются падающая воздушная керма и MGD.

Второй метод, который является универсальным и может быть использован для любого типа систем визуализации, называется методом «замещения». В этом методе сначала определяются настройки АКЭ, затем измеряется мощность трубки следующим образом:

- a) установить пластину из ПММА толщиной 20 мм на подставку для молочной железы;
- b) применить компрессионную пластину для приложения усилия, при котором задействуется система АКЭ. Убедиться в том, что отображаемая толщина молочной железы соответствует эквивалентной толщине молочной железы;

**Примечание.** При настройке на границе, на которой система АКЭ переходит к другой комбинации анод — фильтр (например, 50 мм ПММА с требуемым промежутком 10 мм, в результате чего в общей сложности получается 60 мм), убедиться в том, что отображаемая толщина молочной железы соответствует значению, для которого будет выбрана эта же комбинация анод — фильтр. В этом примере система

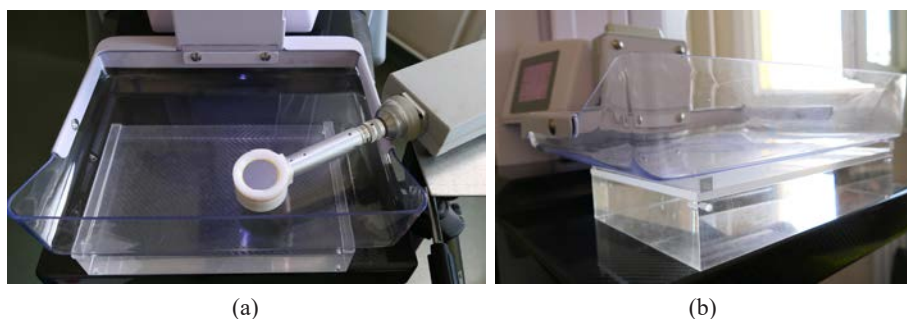


Рис. 46. Конфигурации тестов для различных методов, используемых для определения MGD и параметров АКЭ. (a) Ионизационная камера, расположенная над компрессионной пластиной; (b) блоки ПММА, размещенные на подставке для молочной железы.

может перейти на другую комбинацию анод — фильтр при толщине 61 мм, но не при толщине 59 мм.

- c) произвести экспозицию, используя наиболее часто используемые настройки АКЭ (область датчика и режим);
- d) записать параметры экспозиции, получаемые в качестве обратной связи, включая комбинацию анод — фильтр, киловольтное напряжение и значение мА·с, а также ESAK и MGD, рассчитанные системой (при наличии такой системы);
- e) повторить предыдущие шаги для ПММА другой толщины, установив соответствующую эквивалентную толщину молочной железы для каждого из них;
- f) инструкции по измерению мощности трубки приведены в разделе 4.2.3. Установить параметры, которые были зарегистрированы при выполнении шага d). Например, если система АКЭ установит 28 кВ, W/Rh и 127 мА·с для блока ПММА толщиной 45 мм (стандартная толщина молочной железы 53 мм), выполнить измерение мощности трубки с ручными настройками экспозиции 28 кВ, W/Rh и 20 мА·с, затем скорректировать результаты. Впоследствии это значение следует корректировать и использовать для расчета MGD.

#### 4.2.14.4. Анализ и интерпретация

Анализ и интерпретация результатов испытаний выполняются следующим образом:

- a) рассчитать падающую воздушную керму на основе скорректированных показаний прибора при заданном значении мА·с для входной поверхности молочной железы;  
**Примечание.** Например, при расстоянии «фокусное пятно — подставка для молочной железы» 700 мм и блока ПММА толщиной 20 мм референсное расстояние составляет 679 мм, поскольку оно представляет собой разность между расстоянием «фокусное пятно — подставка для молочной железы» и эквивалентной толщиной молочной железы, соответствующей ПММА толщиной 20 мм (таблица 4).
- b) вычислить MGD для каждой толщины фантома в соответствии с ур-нием (17):

$$MGD = K_{i,t} \times g_t \times c_t \times s_t, \quad (17)$$

ТАБЛИЦА 4. ПРИЕМЛЕМЫЕ И ДОСТИЖИМЫЕ УРОВНИ MGD [18]

| Толщина ПММА (мм) | Эквивалентная толщина молочной железы (мм) | Приемлемый уровень MGD (мГр) | Достижимый уровень MGD (мГр) |
|-------------------|--|------------------------------|------------------------------|
| 20                | 21   | <1,0                         | <0,6                         |
| 30                | 32   | <1,5                         | <1,0                         |
| 40                | 45   | <2,0                         | <1,6                         |
| 45                | 53   | <2,5                         | <2,0                         |
| 50                | 60   | <3,0                         | <2,4                         |
| 60                | 75   | <4,5                         | <3,6                         |
| 70                | 90   | <6,5                         | <5,1                         |
| 80                | 103  |                              |                              |

где:

MGD – средняя доза в молочной железе;

$K_{i,t}$  – падающая воздушная керма без обратного рассеяния на входной поверхности с эквивалентной толщиной молочной железы  $t$  мм;

$g_t$  – коэффициент, используемый для преобразования воздушной кермы в MGD для молочной железы, имеющей соотношение железистой и жировой ткани 50:50 и толщину  $t$  мм;

$c_t$  – коэффициент пересчета, используемый для коррекции разницы в железистости по сравнению со стандартной молочной железой при толщине  $t$  мм;

$s_t$  – коэффициент, используемый для коррекции качества излучения.

#### 4.2.14.5. Исходные значения и допуски

В таблице 4 перечислены приемлемые и достижимые уровни MGD [18]. Приемлемый уровень следует рассматривать как предел, по достижении которого следует предпринимать корректирующие действия, в то время как достижимые уровни указаны здесь только для информации.

#### *4.2.14.6. Периодичность*

Данный тест выполняется 1 раз в год.

#### *4.2.14.7. Корректирующие действия*

Следует вести наблюдение за изменением MGD в динамике. В случае превышения допустимых уровней проверить работу генератора излучения и АКЭ. При необходимости следует проконсультироваться с сервисным инженером о первопричине проблемы. При интенсивном использовании может происходить старение пластин для компьютерной рентгенографии, и для обеспечения такого же качества изображения, какое было раньше, может потребоваться более высокая доза облучения. Установка настроек, компенсирующих старение пластин, приводит к увеличению MGD.

### **4.2.15. Субъективная оценка качества изображения**

#### *4.2.15.1. Описание и цель*

Рекомендации по субъективной оценке качества изображения даны в разделе 4.1.2. Для установления исходных значений рекомендуется повторить тест несколько раз [18, 20, 22].

#### *4.2.15.2. Оборудование*

Для проведения теста необходимы:

- a) рекомендованный на национальном или международном уровне фантом с низкоконтрастными объектами, используемый данным медицинским учреждением в рамках своей программы контроля качества для систем пленочно-экранной или цифровой маммографии;
- b) тест-объекты для контроля качества изображения (такие как нити, микрокальцификация, диски);
- c) вкладыши к тест-объекту для контроля качества изображения;
- d) исходное изображение фантома, полученное в ходе предыдущего теста контроля качества.

#### *4.2.15.3. Процедура*

Процедура теста подробно описана в разделе 4.1.2.

#### *4.2.15.4. Анализ и интерпретация*

Оценку изображения фантома следует проводить, как указано в разделе 4.1.2.

#### *4.2.15.5. Исходные значения и допуски*

Поскольку целью этого теста является установление исходных значений показателей качества изображения, рекомендуется неоднократно повторить тест, чтобы получить несколько (например, пять) изображений, по которым можно определить более строго установленные исходные значения. В зависимости от количества и типа вкладышей для тест-объекта, используемых для проверки качества изображения (например, нити, микрокальцификации, диски), следует определить схему подсчета.

#### *4.2.15.6. Периодичность*

Данный тест выполняется 1 раз в год.

#### *4.2.15.7. Корректирующие действия*

Если качество изображения ухудшается со временем, необходимо провести дополнительное исследование (например, применительно к киловольтному напряжению, АКЭ, алгоритмам отображения и обработки) с целью определения причины изменения. Если проблему устранить не удастся, следует обратиться к сервисному инженеру.

## **5. КОМПЬЮТЕРНАЯ ТОМОГРАФИЯ**

Тесты контроля качества для КТ в основном предназначены для верификации эксплуатационной стабильности оборудования после приемочных испытаний и ввода в эксплуатацию. Тесты подразделяются на два типа в соответствии с их приоритетом: необходимые и желательные [23]. Необходимыми считаются тесты, которые могут непосредственно влиять на клинический диагноз и которые играют важную роль в выявлении погрешностей в визуализации. Тесты на эффективность функционирования применительно к другим параметрам КТ, таким как точность киловольтного

напряжения и СПО, не рассматриваются в качестве необходимых с точки зрения основных целей контроля качества.

## 5.1. ТЕСТЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА, ВЫПОЛНЯЕМЫЕ РЕНТГЕНОЛОГАМИ

### 5.1.1. Ежедневная процедура запуска

Изготовители КТ, как правило, требуют проведения 1 раз в день процедуры запуска для калибровки детекторов и проверки работоспособности системы. Эта процедура обычно автоматизирована, и следует соблюдать конкретные инструкции изготовителя. Сюда также входят прогрев трубки и другие процедуры в соответствии с требованиями данного конкретного изготовителя [23].

### 5.1.2. Лазерные лучи центрирования в компьютерной томографии

#### 5.1.2.1. Описание и цель

В каждой системе КТ предусматривается система с использованием лазерных лучей для позиционирования пациента, которое выполняется в качестве одного из первых действий перед визуализацией. Система лазерного позиционирования не ограничивается самой компьютерной томографией, поскольку компьютерные системы, используемые для лучевой терапии, часто имеют вспомогательные лазерные системы для позиционирования. Этот тест направлен на подтверждение того, что внутренний и внешний лазерные лучи правильно выставлены относительно томографической плоскости [23].

#### 5.1.2.2. Оборудование

Устройство для тестирования состоит из тонкого поглотителя (например, прямая проволока диаметром около 1 мм), расположенного на стандартном КТ-фантоме, или другого объекта, который обеспечивает высокую контрастность визуализации. Устройство для тестирования включает опорный блок ПММА с двумя штифтами, соединенными прямой проволокой. Штифты имеют вертикальные и горизонтальные отверстия диаметром 1 мм и разнесены друг от друга на расстояние 25 см таким образом, чтобы проволока была параллельна томографической плоскости, как показано на рис. 47.

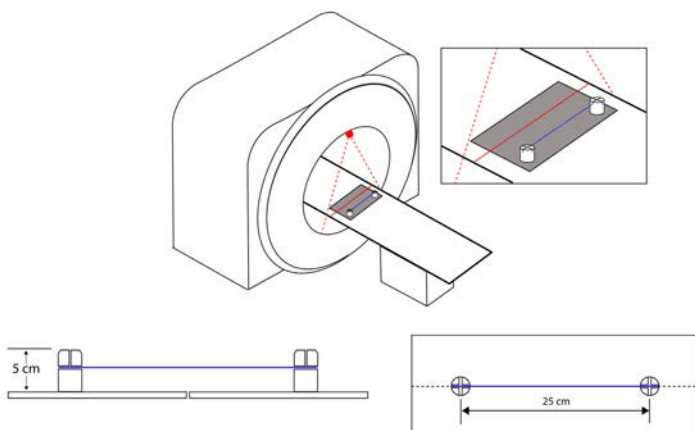


Рис. 47. Устройство для проверки лазерной центровки.

#### 5.1.2.3. Процедура

При проведении данного теста применяется следующая процедура:

- a) выставить устройство для проверки лазерного позиционирования по центру при помощи внешнего лазерного луча. Убедиться в том, что тест-объект (проволока) параллелен плоскости томографии;
- b) проверить выравнивание тестового устройства при помощи внутренних лазерных лучей;
- c) выполнить сканирование с узкими аксиальными срезами вокруг тест-объекта ( $\pm 3$  среза). Использовать ширину среза, соответствующую диаметру проволоки (например, 1 мм).

#### 5.1.2.4. Анализ и интерпретация

Определить отклонение между ожидаемым вертикальным положением и расположением тонкого поглотителя путем сравнения изображений в данной серии. Если проволока и лазеры выставлены правильно, то вся проволока должна находиться в одной плоскости визуализации.



#### 5.1.2.5. *Исходные значения и допуски*

Следует соблюдать спецификации изготовителя; в целом допускается отклонение на  $\pm 5$  мм. Для применения в лучевой терапии рекомендуется устанавливать более низкий допуск.

#### 5.1.2.6. *Периодичность*

Данный тест выполняется 1 раз в месяц.

#### 5.1.2.7. *Корректирующие действия*

Если внутренние или внешние световые поля смещены, следует обратиться к медицинскому физика для проведения более тщательного исследования проблемы. Если система КТ используется для планирования лучевой терапии, то несоосность и большее отклонение могут означать, что эксплуатацию аппарата необходимо приостановить до тех пор, пока лазеры не будут перенастроены.

### **5.1.3. Точность сканирующей проекционной рентгенографии (SPR)**

#### 5.1.3.1. *Описание и цель*

Метод сканирующей проекционной рентгенографии (SPR) с применением КТ используется рентгенологом для определения начала и окончания серии получаемых КТ-изображений, а также для измерения расстояний. (Изготовители также используют для SPR следующие термины: обзорное изображение, сканограмма, топограмма, обзор и пилотное сканирование). Цель этого теста — убедиться в том, что изображение SPR точно указывает положение пациента [23].

#### 5.1.3.2. *Оборудование*

Для данного теста требуется фантом или блок материала, имеющий точно известную длину (не менее 25 см, предпочтительно 50 см или больше; см. рис. 48). Расстояние для SPR может быть определено путем сравнения расстояний между концами тест-объекта.



*Рис. 48. Стальная линейка длиной 50 см для измерения точности метода сканирующей проекционной рентгенографии (SPR).*

#### *5.1.3.3. Процедура*

При проведении данного теста применяется следующая процедура:

- a) получить аксиальный снимок с шириной среза 1 мм (или самой тонкой из имеющихся) на каждом конце последовательности сканирования или с шириной 1 мм (или самой тонкой из имеющихся) реконструированного изображения на дисплее;
- b) поместить тест-объект для SPR (топограммы) на кушетку в продольном направлении;
- c) получить SPR-топограмму, убедившись, что в нее входят маркеры, обозначающие края фантома;
- d) выполнить аксиальное сканирование вокруг индикаторов на каждом конце фантома (например,  $\pm 3$  среза).

#### 5.1.3.4. *Анализ и интерпретация*

Для анализа и интерпретации результатов следует:

- a) убедиться, что каждый КТ-срез, полученный вокруг маркеров на основе SPR-топограммы, отцентрирован по каждому маркеру;
- b) определить отображаемое расстояние между каждой парой маркеров и сравнить его с ожидаемым значением.

#### 5.1.3.5. *Исходные значения и допуски*

Допустимы отклонения на  $\pm 2$  мм от ожидаемого значения.

#### 5.1.3.6. *Периодичность*

Данный тест выполняется 1 раз в шесть месяцев.

#### 5.1.3.7. *Корректирующие действия*

Если результаты измерений превышают рекомендуемый допуск, повторить тест и убедиться в правильном геометрическом положении тест-объекта. В случае неудачного результата повторного теста следует обратиться к медицинскому физики. Если проблему устранить не удастся, медицинскому физики необходимо обратиться к сервисному инженеру для принятия мер по устранению неполадок. Если наблюдается постоянное отклонение от ожидаемого значения, выполнить повторную калибровку дисплея. Если отклонение не является постоянным, может иметь место механическая неисправность. В зависимости от серьезности проблемы, эксплуатация аппарата может быть приостановлена.

### **5.1.4. Точность числа КТ-единиц, шум на изображении, однородность изображения и артефакты изображения**

#### 5.1.4.1. *Описание и цель*

Необходимо регулярно проверять точность отображения тест-объекта, эквивалентного воде, поскольку он используется в качестве основы для формирования изображения. Чтобы убедиться в однородности изображений, рекомендуется сканировать заполненный водой тест-объект (или фантом, содержащий однородный материал). При проведении данного теста исследуется число КТ-единиц и уровни шума, а также однородность

КТ-изображений, чтобы убедиться в том, что они находятся в пределах допусков и что на изображении не видны артефакты [23, 24].

#### *5.1.4.2. Оборудование*

Для этого теста требуется фантом изготовителя, коммерчески доступный фантом или простой круглый фантом, выполненный из материала, эквивалентного воде.

#### *5.1.4.3. Процедура*

Следует использовать протокол КТ, утвержденный физиком при вводе в эксплуатацию, или протокол контроля качества компании-изготовителя; в иных случаях могут использоваться спецификации изготовителя. При выполнении теста фантом центрируется в томографической плоскости и сканируется в соответствии с утвержденным протоколом.

#### *5.1.4.4. Анализ и интерпретация*

Анализ и интерпретация результатов теста осуществляются следующим образом:

- a) измерить точность числа КТ-единиц, шум и однородность изображения и подтвердить отсутствие артефактов на снимке на одних и тех же изображениях фантома;
- b) измерить число КТ-единиц и шум на изображении в расположенной в центре круглой ОИ соответствующего диаметра, как было задано при вводе в эксплуатацию. Число КТ-единиц — это измеренное среднее значение ОИ, а шум — стандартное отклонение в пределах ОИ (рис. 49);
- c) нанести пять круглых ОИ: четыре по периметру (примерно в 1 см от периметра) и один в центре. Диаметры ОИ должны составлять около 10% от диаметра фантома, а расстояние между ними должно соответствовать положению 12, 3, 6 и 9 часов на часовом циферблате;
- d) определить однородность как абсолютную разность между числом КТ-единиц в ОИ, расположенной в центре, и числом КТ-единиц в каждой из четырех эквивалентных ОИ, расположенных вблизи периметра. Сравнить каждое из этих четырех значений с заданными допусками;
- e) для измерения уровня шума нанести одну ОИ большего размера по центру фантома диаметром около 40% от фантома;

- f) визуально проверить все изображения, полученные во время теста на шум, на предмет артефактов в изображении.

#### 5.1.4.5. Исходные значения и допуски

Применяются следующие исходные условия и допуски:

- a) точность числа КТ-единиц: допустимо отклонение  $\pm 5$  НУ (единицы Хаунсфилда для воды) от исходного значения или в пределах допуска, указанного изготовителем (если данные о таком допуске имеются). Информация о других материалах представлена в спецификации фантома и исходных значениях;
- b) шум на изображении: допустимо  $\pm 25\%$  от исходного значения. В других случаях следует использовать допуски, установленные изготовителем (если такие данные имеются);
- c) однородность: допустимо  $\pm 10$  единиц Хаунсфилда (для воды). Если изготовитель предусматривает допуск, то следует применять его;
- d) артефакты: ни на одном изображении не должно быть артефактов, которые потенциально могут исказить достоверность диагностики.

Допуски на число КТ-единиц и шум изображения могут быть утверждены физиком во время ввода в эксплуатацию.

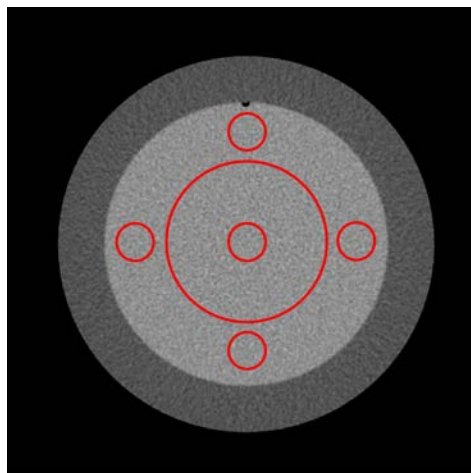


Рис. 49. Изображение фантома с положениями ОИ, которые используются для тестов на точность числа КТ-единиц, шум и однородность.

#### *5.1.4.6. Периодичность*

Для обеспечения однородности тесты на шум и артефакты на изображении следует повторять 1 раз в неделю. Тест на точность числа КТ-единиц следует повторять 1 раз в шесть месяцев.

#### *5.1.4.7. Корректирующие действия*

Измеренные значения могут выходить за пределы допусков из-за ряда неисправностей. Артефакты могут возникать из-за неисправных элементов детектора изображения. При экспозиции с низкими параметрами (малой величине экспозиции) может происходить повышение уровня шума, а неисправности аппаратных или программных средств также могут приводить к отклонениям. В таких случаях может помочь калибровка, выполненная пользователем; если результаты остаются неудовлетворительными, следует обратиться к сервисному инженеру. Если на одном или нескольких последовательных изображениях присутствует артефакт в форме кольца, причиной может быть неисправный элемент детектора или ряд детекторов. Если проблему неоднородности не удастся устранить повторной калибровкой, использование системы следует приостановить.

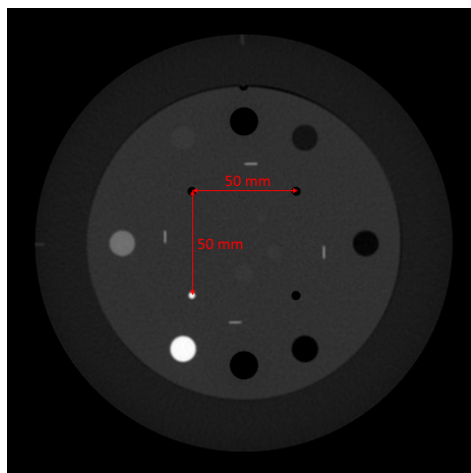
### **5.1.5. Точность измеренных размеров**

#### *5.1.5.1. Описание и цель*

Цель этого теста — убедиться в том, что расстояния, измеренные на снимке, соответствуют фактическим расстояниям. В данном тесте также оценивается точность электронного индикатора расстояния. Хотя в большинстве случаев геометрические искажения не оказывают влияния на клиническую картину, точное представление положения органов совершенно необходимо в тех случаях, когда система также используется для планирования лечения и интервенционных процедур [4, 12].

#### *5.1.5.2. Оборудование*

Для этого теста необходимы аттенюирующие предметы известных размеров (например, монеты, прикрепленные к фантому, или вставки известных размеров) или стальная линейка.



*Рис. 50. Аннотированное компьютерно-томографическое изображение фантома с известными размерами.*

#### *5.1.5.3. Процедура*

Отцентрировать фантом в томографической плоскости и просканировать его, используя протокол, утвержденный медицинским физиком.

#### *5.1.5.4. Анализ и интерпретация*

Измерить размеры тест-объектов с помощью измерительного инструмента на АРМ (рабочей станции) и сравнить их с реальными размерами и расстояниями (см. рис. 50).

#### *5.1.4.5. Исходные значения и допуски*

Измеренные размеры должны находиться в пределах  $\pm 2\%$ , а предпочтительно в пределах  $\pm 1\%$ , от номинальных значений.

#### *5.1.4.6. Периодичность*

Повторять тест 1 раз в три месяца.

#### *5.1.4.7. Корректирующие действия*

Если результаты измерений выходят за пределы допустимого диапазона, повторить тест, полностью сбросив настройки. В случае постоянного появления отклонений на изображениях необходимо выполнить повторную калибровку либо программного средства, либо системы. Следует обратиться к сервисному инженеру для оценки системы.

## **5.2. ТЕСТЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА, ВЫПОЛНЯЕМЫЕ МЕДИЦИНСКИМИ ФИЗИКАМИ**

Все общие тесты, выполняемые рентгенологами, должны 1 раз в год пересматриваться и выполняться медицинскими физиками.

### **5.2.1. Точность числа КТ-единиц, шум на изображении, однородность изображения и артефакты на изображении**

#### *5.2.1.1. Описание и цель*

Тест заключается в сканировании заполненного водой тест-объекта (или фантома, содержащего однородный материал), чтобы убедиться в том, что число КТ-единиц и уровни шума, а также однородность КТ-изображений находятся в пределах допусков и что на изображении не видно артефактов [23, 24].

#### *5.2.1.2. Оборудование*

Для этого теста необходим фантом от изготовителя, коммерчески доступный фантом или простой круглый фантом, изготовленный из материала, эквивалентного воде.

#### *5.2.1.3. Процедура*

Для проведения теста применяется следующая процедура:

- a) настроить протокол получения КТ-изображений, утвержденный физиком при вводе в эксплуатацию, или протокол контроля качества;
- b) отцентрировать фантом в томографической плоскости и просканировать его, используя указанный протокол;



- с) повторить тест для наиболее часто используемых клинических протоколов.

**Примечание.** Следует обратить особое внимание на толщину среза, так как это сильно влияет на уровень шума.

#### 5.2.1.4. Анализ и интерпретация

Анализ и интерпретация результатов теста осуществляются следующим образом:

- а) измерить точность числа КТ-единиц, шум на изображении и однородность изображения; эти параметры следует оценивать на одних и тех же изображениях. Подтвердить отсутствие артефактов на каждом изображении;
- б) измерить число КТ-единиц и шум на изображении в расположенной в центре круглой ОИ соответствующего диаметра, как было задано при вводе в эксплуатацию (см. раздел 5.2.9);
- с) размер и положение ОИ имеют важное значение. Если качество КТ-изображения оценивается с помощью программного обеспечения для КК, следует использовать заданные диаметры ОИ. Рекомендуются следующие критерии:
- i) для измерения числа КТ-единиц диаметр ОИ должен составлять приблизительно 10% от диаметра изображения фантома (рис. 49). Эти ОИ должны располагаться в центре и в положениях «12», «3», «6» и «9» часового циферблата по периметру фантома, примерно в 1 см от периметра;
  - ii) для измерения уровня шума диаметр ОИ должен составлять приблизительно 40% от диаметра изображения фантома, а ОИ должна располагаться в центре (рис. 49);
- д) число КТ-единиц — это измеренное среднее значение чисел КТ-единиц в ОИ, а шум — стандартное отклонение чисел КТ-единиц в пределах ОИ;
- е) однородность определяется как абсолютная разность между значениями чисел КТ-единиц в ОИ, расположенной в центре, и значениями чисел КТ-единиц в каждой из четырех ОИ по периметру (рис. 49). Сравнить каждое из этих четырех значений с заданным допуском;
- ф) сделать несколько КТ-снимков, чтобы получить среднее значение шума с большей точностью;
- г) визуально проверить все изображения, полученные во время теста на шум, на наличие артефактов на изображении. В случае

многодетекторных томографов это означает проверку всех получаемых срезов, а не только центрального среза изображения.

#### *5.2.1.5. Исходные значения и допуски*

Применяются следующие исходные условия и допуски:

- a) точность числа КТ-единиц: допустимо отклонение  $\pm 5$  НУ (для воды) от исходного значения или в пределах допуска, указанного изготовителем (если данные о таком допуске имеются). Информация о других материалах содержится в спецификации фантома;
- b) шум на изображении: допустимо  $\pm 25\%$  от исходного значения или в пределах диапазона допусков, указанного изготовителем (если такие данные имеются);
- c) однородность: допустимо  $\pm 10$  единиц Хаунсфилда (для воды) или в пределах диапазона допусков, указанного изготовителем (если такие данные имеются);
- d) артефакты: ни на одном снимке артефакты, потенциально могущие исказить достоверность диагностики, присутствовать не должны.

#### *5.2.1.6. Периодичность*

Данные тесты повторяются 1 раз в 6 месяцев.

#### *5.2.1.7. Корректирующие действия*

Если измеренные значения выходят за пределы диапазона допусков, на снимках присутствуют артефакты или и то и другое вместе, то сначала следует проанализировать результаты и проверить параметры экспозиции. Геометрия теста не должна оказывать существенного влияния на изображения. В случае наличия артефактов повернуть фантом, с тем чтобы установить источник артефакта. Если проблемы устранить не удастся, может потребоваться помощь сервисного инженера.

### **5.2.2. Линейность**

#### *5.2.2.1. Описание и цель*

Целью теста является оценка эксплуатационных показателей КТ-сканера при визуализации материалов с различным коэффициентом поглощения. Это особенно важно в случае КТ-сканеров, используемых для

планирования лучевой терапии, поскольку отображение материалов может повлиять на планирование лечения [23].

#### 5.2.2.2. Оборудование

Для тестирования используется фантом, предназначенный для проверки качества изображения, со вставками из различных ослабляющих материалов. Каждый ослабляющий материал должен иметь известную относительную электронную плотность и предпочтительно определенное или указанное значение единиц Хаунсфилда (HU).

#### 5.2.2.3. Процедура

При проведении данного теста применяется следующая процедура:

- a) настроить протокол получения КТ-изображений, утвержденный физиком при вводе в эксплуатацию, или протокол контроля качества;
- b) отцентрировать фантом в томографической плоскости и выполнить сканирование в соответствии с утвержденным протоколом;
- c) повторить тест для каждого значения киловольтного напряжения.

**Примечание.** Фильтрация ядра реконструкции изображения влияет на ослабление рентгеновского излучения и отображение различных материалов. Рекомендуется выполнить две реконструкции изображения, одну с ядром, регулярно используемым для мягких тканей, и другую, регулярно используемую для получения снимков костей.

#### 5.2.2.4. Анализ и интерпретация

Нанести ОИ на изображения и определить среднее значение единиц Хаунсфилда и стандартное отклонение для каждой ОИ вставок (рис. 51).

#### 5.2.2.5. Исходные значения и допуски

Для воды допуск равен  $\pm 4$  HU по сравнению с исходными значениями; для других материалов он должен быть в диапазоне от  $-10$  до  $10$  HU. Для применения в лучевой терапии типовые значения обычно указываются изготовителем фантома для измерения линейности; применительно к этим значениям допуск составляет диапазон от  $-20$  до  $20$  HU.

### 5.2.2.6. Периодичность

Данный тест повторяется 1 раз в год.

### 5.2.2.7. Корректирующие действия

Если ослабление рентгеновского излучения значительно отличается от того, которое было определено в качестве исходного при вводе в эксплуатацию, необходимо проанализировать результаты. Проверить параметры экспозиции и реконструкции изображения, используемые в данном тесте, поскольку связанные с ними различия могут приводить к несоответствиям. После повторения теста, если результаты остаются неудовлетворительными, следует обратиться к сервисному инженеру. В случае значительного отклонения от ожидаемого исходного уровня, проверить дозиметрию системы КТ (раздел 5.2.7). Проанализировать все обновления программного обеспечения и изменения в используемых алгоритмах реконструкции изображений. Если компьютерный томограф в других отношениях обеспечивает ожидаемые показатели, следует проконсультироваться с сервисным инженером и при необходимости установить новый исходный уровень.

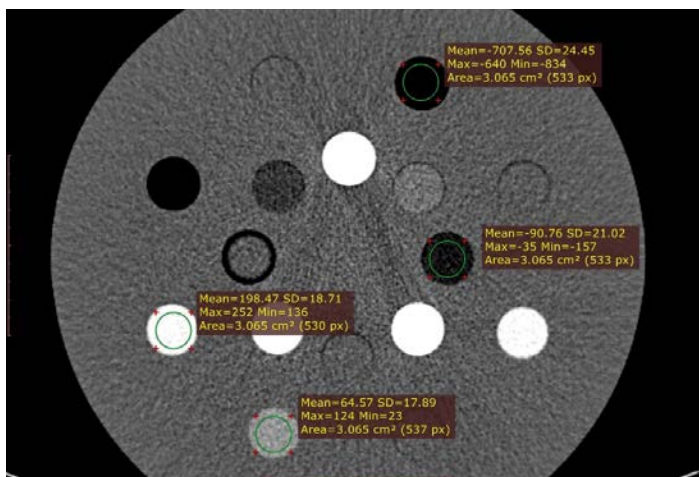
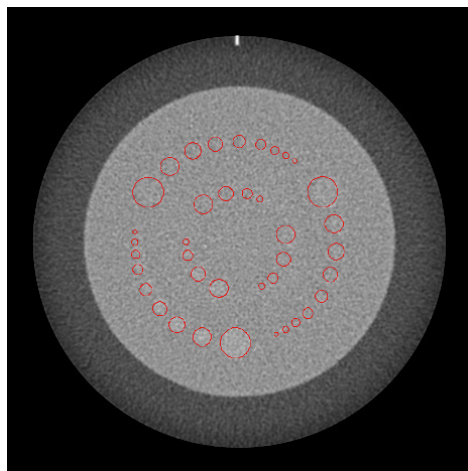


Рис. 51. Изображение фантома с ОИ, используемыми для измерения линейности с помощью фантома обеспечения качества в компьютерной томографии, изготовленного из материалов с различными коэффициентами поглощения.



*Рис. 52. КТ-изображение фантома с низкоконтрастными вставками деталей, отмеченными красными кружками.*

### **5.2.3. Выявляемость деталей при низкой контрастности**

#### *5.2.3.1. Описание и цель*

Целью данного теста является оценка реакции системы на объекты с низкой контрастностью и верификация того, что эффективность отображения низкоконтрастных деталей при выполнении клинических протоколов остается без изменения. Для этого теста требуется специальный тест-объект для контроля качества изображения, конкретно предназначенный для выполнения данной оценки. При этом во многих руководствах этот тест не считается необходимым, поскольку информация о проблемах, которые могут возникнуть в системе визуализации, может быть получена в результате проведения других тестов. Объективная оценка качества изображения сложна и может потребовать специального программного обеспечения [23, 24].

#### *5.2.3.2. Оборудование*

Для данного теста необходим фантом проверки качества изображения объектов с низкой контрастностью деталей (рис. 52).

### 5.2.3.3. Процедура

Установить фантом с помощью лазерных локализаторов. Произвести экспозицию с каждым значением киловольтного напряжения, используемого в клинической практике. Убедиться в том, что выбраны используемые в клинике параметры реконструкции изображения и что при необходимости послеэкспозиционная реконструкция может быть выполнена. Следует соблюдать спецификации изготовителя, если они имеются.

### 5.2.3.4. Анализ и интерпретация

Видимость каждого объекта с контрастными деталями следует оценивать визуально на дисплее, используемом для клинической оценки изображений, либо с помощью ОИ, нанесенных на каждый объект, и количественного определения возможности обнаружения деталей с низким контрастом.

- a) Визуальный анализ:
  - i) просмотреть каждую серию изображений и определить снимок, который обеспечивает максимальную эффективность отображения низкоконтрастных деталей;
  - ii) отрегулировать ширину и уровень окна, чтобы оптимизировать видимость мишеней с низкой контрастностью (например, ширина окна 100 HU и уровень окна 100 HU);
  - iii) записать размер и/или контрастность едва видимых мишеней. Как правило, удобно использовать показатель количества видимых объектов в расчете на общее количество объектов;
- b) численный анализ:

просмотреть каждую серию изображений и определить снимок, который обеспечивает максимальную эффективность отображения низкоконтрастных деталей. Для этого способа оценки требуется программное обеспечение, основанное на применении теории «идеальных наблюдателей».

### 5.2.3.5. Исходные значения и допуски

Для фантома, который медицинский физик использовал при вводе аппарата в эксплуатацию, должны быть установлены соответствующие критерии эффективности функционирования. Следует обсудить полученные результаты с группой специалистов, в состав которой входят радиолог, медицинский физик и врач-рентгенолог, и определить

протоколы, оптимизирующие дозу и качество изображения. При этом необходимо учитывать клинические потребности применительно к конкретному протоколу.

Если медицинский физик выбирает спецификации изготовителя в качестве допусков, то методика сканирования в идеале должна быть идентична рекомендациям изготовителя (включая толщину реконструируемого изображения и ядро реконструкции или фильтр реконструкции).

#### *5.2.3.6. Периодичность*

Данный тест повторяется 1 раз в год и после внесения изменений.

#### *5.2.3.7. Корректирующие действия*

Если измеренные показатели эффективности отображения низкоконтрастных деталей не являются удовлетворительными, выполнить следующие действия:

- a) проанализировать полученные результаты;
- b) проверить протокол клинического сканирования, параметры экспозиции и геометрию теста;
- c) повторить тест после полного сброса настроек;
- d) проверить, не является ли одна из следующих ситуаций причиной ухудшения качества:
  - i) толщина реконструируемого изображения неадекватно мала;
  - ii) значение  $mA \cdot s$  установлено слишком низким;
  - iii) питч слишком высок для клинических требований, особенно в случае систем, которые независимо устанавливают питч и значение  $mA \cdot s$ ;
  - iv) выбранный алгоритм реконструкции слишком «острый».

Ухудшение выявляемости деталей при низкой контрастности указывает на общее снижение показателей эффективности функционирования системы визуализации. После проверки изменений клинических протоколов и установленных параметров, используемых для тестирования оборудования, тест следует повторить. Если отклонение по-прежнему наблюдается, следует обратиться к изготовителю оборудования и провести дальнейшую проверку для выяснения первопричины.

## 5.2.4. Ширина рентгеновского пучка

### 5.2.4.1. Описание и цель

Ширина рентгеновского пучка — это мера ширины коллимированного пучка вдоль вертикальной оси. Целью данного теста является:

- a) определение точности настроек коллиматора;
- b) определение степени избыточности пучка (т.е. разницы между шириной изображения и шириной пучка [23, 24]).

### 5.2.4.2. Оборудование

Рекомендуется использовать специальный рентгеновский детектор, такой как пластина для компьютерной рентгенографии, самопроявляющаяся пленка или другое подобное средство для проверки пленки. Некоторые изготовители приборов выпускают полупроводниковые детекторы, которые позволяют получать профиль дозы и измерять компьютерно-томографический индекс дозы (CTDI) с соответствующими поправками. Такие инструменты удобны, но не являются абсолютно необходимыми. В качестве альтернативы можно использовать люминесцентные дозиметры.

### 5.2.4.3. Процедура

При проведении данного теста применяется следующая процедура:

- a) использовать плоский пенопластовый блок для уменьшения рассеивания на детекторе;
- b) отрегулировать высоту стола так, чтобы детектор находился в изоцентре;
- c) если это применимо, отметить изоцентр на детекторе (рис. 53);
- d) отрегулировать параметры экспозиции в соответствии с откликом детектора. Если показания слишком низкие или их нелегко различить, увеличить значение  $\text{мА}\cdot\text{с}$ ; в противном случае уменьшить его;
- e) выполнить аксиальное сканирование, используя каждую имеющуюся ширину пучка.

### 5.2.4.4. Анализ и интерпретация

Определить профиль пучка по полученному изображению и измерить полную ширину на половине максимума.



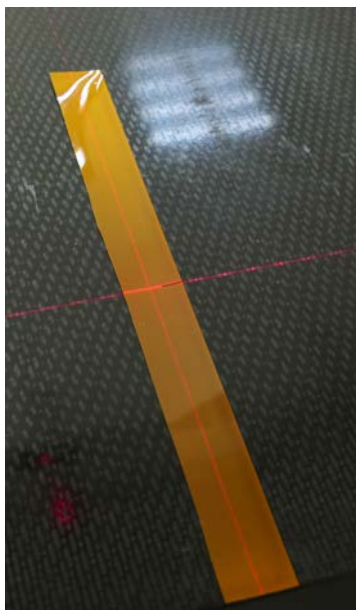


Рис. 53. Самопроявляющаяся пленка с отмеченным положением изоцентра.

#### 5.2.4.5. Исходные значения и допуски

Ознакомьтесь со спецификациями изготовителя. В случае их отсутствия, допустимо значение  $\leq +3$  мм или  $\leq +30\%$  от общей номинальной ширины коллимированного пучка — в зависимости от того, какое значение больше. Измеренная коллимация не должна быть меньше номинальной.

#### 5.2.4.6. Периодичность

Данный тест повторяется 1 раз в год и после внесения изменений.

#### 5.2.4.7. Корректирующие действия

В случае несоблюдения допусков, проанализировать полученные результаты и проверить геометрию установки. Затем повторить тест после полного сброса настроек для проверки на наличие ошибок. Если новое измерение дает тот же результат, следует обратиться к сервисному инженеру.

Если ширина пучка недостаточна для облучения всех элементов детектора, это, вероятно, существенно влияет на клиническое использование

результатов визуализации. Если ширина рентгеновского пучка превышает заданный допуск, то большая часть пучка облучает пациента, но не вносит вклад в визуализацию.

## **5.2.5. Ширина реконструированного среза изображения**

### *5.2.5.1. Описание и цель*

Данный тест подтверждает, что ширина реконструированного среза изображения соответствует ширине, заданной с консоли КТ-сканера. Этот тест также подтверждает, что эффективность функционирования системы не изменились после проведения ремонта, технического или сервисного обслуживания [23].

### *5.2.5.2. Оборудование*

В этом тесте используется фантом, который как правило, имеет тонкие металлические наклонные плоскости или другие вставки для получения информации о ширине среза (рис. 54). В зависимости от фантома, может потребоваться исключить очень тонкие срезы, так как сам тест-объект имеет ослабление (например, алюминий толщиной 1 мм).

### *5.2.5.3. Процедура*

Согласно руководству по эксплуатации фантома, сканирование предпочтительно проводить как в спиральном, так и в аксиальном режимах съемки.

### *5.2.5.4. Анализ и интерпретация*

Выполнить измерения в соответствии со спецификациями изготовителя фантома. Провести верификацию спецификаций фантома и при необходимости внести соответствующие поправки.

### *5.2.5.5. Исходные значения и допуски*

В таблице 5 представлены рекомендуемые допуски.

### *5.2.5.6. Периодичность*

Данный тест повторяется 1 раз в год и после внесения изменений.

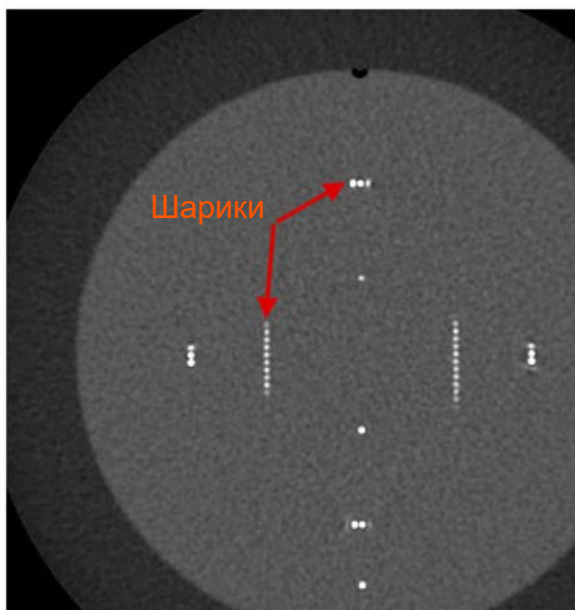


Рис. 54. Изображение фантома с шариками, используемого для измерения ширины реконструированного среза.

ТАБЛИЦА 5. ДОПУСКИ НА ШИРИНУ ВИЗУАЛИЗИРУЕМОГО СРЕЗА

| Номинальная ширина среза (мм) | Приемлемая                            |
|-------------------------------|---------------------------------------|
| $\leq 1$                      | Меньше номинала + 0,5 мм <sup>a</sup> |
| $> 1$ и $\leq 2$              | $\pm 50\%$                            |
| $> 2$                         | $\pm 1$ мм                            |

<sup>a</sup> Тонкие срезы, полученные в режиме аксиального сканирования, могут иметь значение гораздо больше ожидаемого из-за толщины наклонной вставки (например, 3 мм вместо 1 мм при установке 1 мм). В этом случае следует воспользоваться руководством по эксплуатации фантома и применить необходимые поправочные коэффициенты.

#### 5.2.5.7. *Корректирующие действия*

Для подтверждения ошибки повторить тест после полного сброса его настроек. Если во время этого теста наблюдается отклонение, проверить ширину рентгеновского пучка (раздел 5.3.9). Если новое измерение дает тот же результат, следует обратиться к сервисному инженеру. Следует проконсультироваться с персоналом, использующим КТ, и выяснить, влияет ли эта проблема на клинический диагноз, и принять соответствующие меры.

### 5.2.6. **Пространственное разрешение**

#### 5.2.6.1. *Описание и цель*

Цель этого теста — убедиться в том, что пространственное разрешение реконструированного изображения соответствует стандартам изготовителя. Этот тест выполняется по мере необходимости [23].

#### 5.2.6.2. *Оборудование*

Для проведения теста необходимы:

- a) для измерения функции передачи модуляции (ФПМ): объекты, которые имеют высокую контрастность по отношению к однородному фону, или фантом, который включает в себя высококонтрастные мишени с известным разрешением. Обычно это бусина или аналогичный объект, предназначенный для определения ФПМ;
- b) программное обеспечение для оценки ФПМ;
- c) для субъективной визуальной оценки в качестве альтернативы измерению ФПМ: фантом с тестовым шаблоном, на котором разрешение выражено в линиях, для возможного применения. С помощью этого метода можно определить лишь ограниченное пространственное разрешение.

#### 5.2.6.3. *Процедура*

При проведении данного теста применяется следующая процедура:

- a) совместить фантом с томографической плоскостью;
- b) выровнять тест-объект параллельно плоскости изображения;

**Примечание.** Выравнивание важно, если используется шаблон с полосками или стержни (рис. 55).



Рис. 55. Изображение тестового «бар-фантома» со вставкой для выравнивания, показанной сверху.

- с) выбрать соответствующий протокол сканирования или протокол, который был утвержден при вводе в эксплуатацию и подходит для используемого фантома;
- д) отсканировать фантом;
- е) при необходимости повторить эту процедуру с дополнительными протоколами сканирования.

#### 5.2.6.4. Анализ и интерпретация

Используются следующие процедуры:

- а) в случае тестовых шаблонов для контроля разрешения (например, с полосками, стержнями) применим визуальный анализ;
- б) в случае измерения ФПМ необходимо оценивать изображение с применением соответствующего программного обеспечения, предназначенного для проведения анализа.

#### 5.2.6.5. Исходные значения и допуски

Следует использовать исходные данные и допуски, указанные в спецификациях изготовителя КТ.

#### 5.2.6.6. Периодичность

Данный тест выполняется во время приемки и после внесения изменений, влияющих на визуализацию.

#### 5.2.6.7. Корректирующие действия

В случае несоответствия допускам проанализировать полученные результаты и проверить геометрию теста. Для проверки ошибки повторить тест после полного сброса настроек. Если рентгеновские параметры установлены надлежащим образом, выполнить повторную калибровку или обратиться к сервисному инженеру с этим вопросом. Ухудшение ФПМ может быть вызвано несколькими причинами, такими как размытие фокусного пятна из-за старения рентгеновской трубки, потеря чувствительности элементов детектора или изменение коэффициента усиления усилителей детекторных элементов. Последнее может быть проверено путем измерения однородности и шума (раздел 5.3.6). Если новое измерение дает тот же результат, следует обратиться к сервисному инженеру.

### 5.2.7. Дозиметрия компьютерной томографии

#### 5.2.7.1. Описание и цель

Измерение компьютерно-томографического индекса дозы (CTDI) обеспечивает постоянство мощности рентгеновской трубки и помогает оптимизировать экспозицию пациента. Данный тест проводится с целью:

- a) проанализировать и обновить значения объемного CTDI,  $C_{vol}$  (в других публикациях:  $CTDI_{vol}$ ), и значения произведения дозы на длину для выбранных протоколов, предназначенных для проведения рутинных исследований;
- b) измерить небольшой набор значений CTDI, измеряемых в воздухе,  $C_{air}$  (в других публикациях:  $CTDI_{air}$ ), для проверки постоянства мощности рентгеновской трубки;
- c) проанализировать для выбранных параметров сканирования точность отображаемых значений  $C_{vol}$  и значений произведения кермы на длину на консоли сканера, если это применимо [23–27].

### 5.2.7.2. Оборудование

Для проведения теста необходимы:

- a) дозиметр с калиброванной ионизационной камерой карандашного типа, отвечающий соответствующему стандарту МЭК [25];
- b) электрометр;
- c) стандартные дозиметрические фантомы для КТ головы и тела (см. рис. 56);
- d) ионизационная камера для измерения в воздухе;
- e) устройства для стабилизации и фиксации фантома.

### 5.2.7.3. Процедура

При проведении данного теста применяется следующая процедура:

- a) измерение  $C_{vol}$ :
  - i) позиционировать фантом тела;
  - ii) поместить ионизационную камеру в центральное отверстие фантома и закрыть неиспользуемые отверстия заглушками из ПММА;
  - iii) проверить положение с помощью топограммы. Этот тест нечувствителен к позиционированию, поэтому допускается наклон около  $5^\circ$  (рис. 56);
  - iv) выбрать протокол аксиального сканирования, утвержденный для этого типа фантома при вводе в эксплуатацию. Не применять никаких методов снижения дозы или АКЭ. Некоторые сканеры могут чрезмерно поворачиваться, если угол поворота



Рис. 56. Измерение дозы на стандартном фантоме тела из ПММА для определения СТДИ (слева) и измерение в свободном воздухе (справа).

не ограничен  $360^\circ$ ; это следует учитывать при оценке;

**Примечание.** Для протоколов исследования головы и тела при вводе в эксплуатацию рекомендуется проверять все значения киловольтного напряжения и как минимум три различных значения  $\text{мА}\cdot\text{с}$  (например, 50, 100 и 300  $\text{мА}\cdot\text{с}$ ), а также задавать все номинальные значения ширины пучка во время тестирования.

- v) произвести экспозицию с выбранными параметрами;
  - vi) записать измеренные показания дозиметра, которые (в случае большинства измерительных приборов) являются интегралом профиля дозы для 100 мм ( $C_{100}$ ) и при необходимости применить поправочные коэффициенты;
  - vii) записать значение  $C_{\text{vol}}$ , отображаемое на мониторе АРМ (рабочей станции) сбора данных для этого конкретного сканирования. Это значение, как правило, обновляется после экспозиции;
  - viii) переместить ионизационную камеру в одно из периферийных отверстий фантома;
  - ix) повторить шаги v)–viii) после перемещения ионизационной камеры в очередное отверстие. Для каждого набора параметров сканирования необходимо выполнить в общей сложности пять экспозиций (одну в центре и четыре по периферии). Для уменьшения неопределенности измерения каждое измерение можно повторить и усреднить полученные значения;
  - x) повторить всю процедуру, установив фантом головы в подголовник, с использованием соответствующего протокола для аксиального режима;
- b) измерение  $C_{\text{air}}$ :
- i) установить ионизационную камеру по центру вращения и проверить положение с помощью топограммы. Допустима точность позиционирования  $\pm 1$  см;
  - ii) провести верификацию центрирования, применяя для этого лазеры или сделав один срез в аксиальной проекции;
  - iii) выбрать приблизительно 120 кВ и 100  $\text{мА}\cdot\text{с}$  для обычно используемого клинического протокола (например, КТ головы) с наибольшей коллимацией рентгеновского пучка и выполнить сканирование в аксиальном режиме;
  - iv) записать измеренное значение  $C_{100}$  и при необходимости применить поправочные коэффициенты;
  - v) повторить измерения для других значений коллимации рентгеновского пучка (например, используя наименьшее и наибольшее киловольтное напряжение при референсных значениях ширины коллимации рентгеновского пучка). Рекомендуемая



- референсная ширина пучка коллимации составляет 20 мм или максимально возможная ширина коллимации менее 20 мм;
- vi) записать соответствующие параметры экспозиции, включая длину сканирования, для расчета произведения кермы на длину (произведение дозы на длину).

Если ширина рентгеновского пучка превышает 40 мм, см. [27].

#### 5.2.7.4. Анализ и интерпретация

Измерения следует сравнить с исходными значениями и со значениями индекса дозы, отображаемыми на мониторе АРМ (рабочей станции) сбора данных.

- a) Вычислить  $C_{vol}$  для измерений по центру и периферии на основе скорректированных показаний дозиметра. Повторить это для каждого используемого фантома и протокола;
- b) вычислить произведение кермы на длину из  $C_{vol}$ ;  
**Примечание.** Для однократного аксиального поворота взвешенные значения CTDI ( $C_w$ ) и  $C_{vol}$  идентичны.
- c) сравнить  $C_{vol}$  с исходными и отображаемыми значениями индекса дозы;
- d) измерить  $C_{air}$  для всех коллимаций пучка;
- e) вычислить  $C_{air}$  по показаниям дозиметра для всех используемых коллимаций рентгеновского пучка и всех значений киловольтного напряжения;
- f) сравнить эти значения с результатами, полученными при вводе в эксплуатацию, или результатами предыдущих тестов на постоянство показателей.

#### 5.2.7.5. Исходные значения и допуски

Применяются следующие исходные значения и допуски:

- a) для  $C_{vol}$  допустима разница  $\pm 20\%$  между исходными или отображаемыми значениями и измеренными значениями;
- b) для  $C_{air}$  должны быть подтверждены допуски, указанные изготовителем. При отсутствии такого допуска принимается отклонение  $\pm 20\%$  от исходного значения.

#### 5.2.7.6. *Периодичность*

Данный тест выполняется 1 раз в год или после изменений, влияющих на дозиметрию.

#### 5.2.7.7. *Корректирующие действия*

Необходимо исследовать несоответствие отображаемых показателей дозы измеренным значениям. Постоянные ошибки в протоколах визуализации и настройках могут быть вызваны неправильными коэффициентами расчета, введенными изготовителем. Различия ниже допустимых значений могут быть скорректированы; более значительные отклонения, однако, необходимо исследовать. Несоответствия или проблемы с линейностью дозы со значением мА·с указывают на проблему с генерацией рентгеновского излучения. Если сбой происходит только с индикацией дозы, систему можно использовать, но по возможности следует устранить неисправность.

## **6. ТЕСТЫ ДЛЯ ВСЕХ СИСТЕМ ЛУЧЕВОЙ ДИАГНОСТИКИ**

### **6.1. ТЕСТЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА, ВЫПОЛНЯЕМЫЕ РЕНТГЕНОЛОГАМИ**

#### **6.1.1. Рутинная проверка видеодисплейного устройства**

##### *6.1.1.1. Описание и цель*

Правильная настройка мониторов отображения снимков имеет важнейшее значение для обеспечения качественной диагностики. Цель данного теста состоит в подтверждении того, что дисплеи для просмотра изображений точно воспроизводят всю информацию в серой шкале на снимке [23].

##### *6.1.1.2. Оборудование*

Для этого теста используется шаблон контроля качества (КК), рекомендованный целевой группой 18 (TG18) Американской ассоциации

физиков в медицине (ААФМ/ААРМ) [28], получивший название ААРМ TG18 (рис. 57).

#### *6.1.1.3. Процедура*

При проведении данного теста применяется следующая процедура:

- a) получить изображение тестового шаблона ААРМ TG18 на дисплее, как было рекомендовано медицинским физиком при вводе аппарата в эксплуатацию;
- b) установить ширину и уровень окна на значения, определенные при вводе в эксплуатацию;
- c) просмотреть изображения на дисплее при обычно используемом уровне освещения в данном помещении;
- d) провести тест для каждого дисплея, связанного с рентгеновской системой (например, консоль оператора, АРМ/рабочая станция рентгенолога), с тем чтобы убедиться в том, что дисплеи выдают изображения одинакового качества.

#### *6.1.1.4. Анализ и интерпретация*

При проведении данного теста применяется следующая процедура:

- a) внимательно оценить каждое изображение (см. рис. 31). Определить, можно ли увидеть различия в яркости или плотности между соседними ступенями ступенчатого клина. Проконтролировать видимость 5%-ных и 95%-ных вставных накладок;
- b) обратить внимание на 5%-ные и 95%-ные наклейки, вставленные внутрь 0%-ных и 100%-ных накладок, соответственно. Они должны быть видны на дисплеях для просмотра изображений.

#### *6.1.1.5. Исходные значения и допуски*

Каждая из ступеней ступенчатого клина должна быть видна и различима. Допуск на видимость объекта должен быть таким же, как для видимости накладок и видимости вставок (контрастность 5% и 95%). Приемлемыми результатами является различимость соседних ступеней и видимость всех низкоконтрастных вставных накладок.

#### 6.1.1.6. Периодичность

Данный тест выполняется 1 раз в месяц.

#### 6.1.1.7. Корректирующие действия

В случае обнаружения потери видимости необходимо учитывать следующие аспекты:

- a) возможно, возникли изменения в видеодисплейном устройстве. Убедиться в правильности настройки дисплея;
- b) потеря видимости может быть вызвана изменением уровня освещенности помещения. Когда освещение в помещении усиливается, тонкие различия становится труднее распознать. Это легко заметить при просмотре низкоконтрастных вставных накладок (5%). Отрегулировать уровень освещения в помещении;

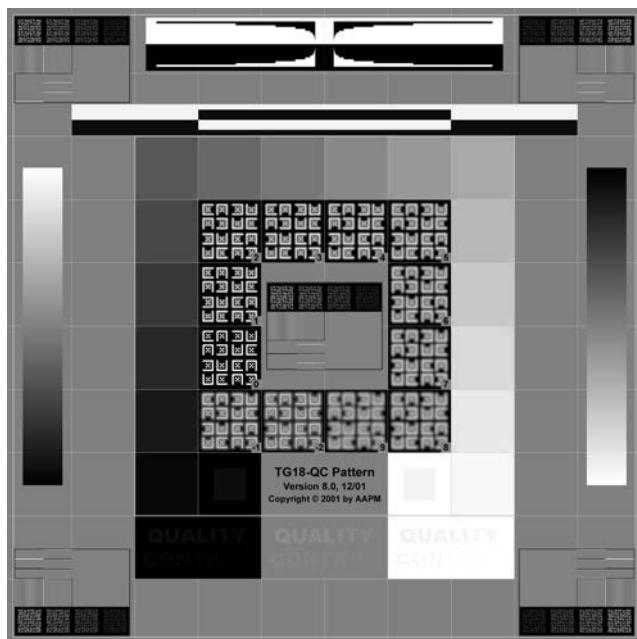


Рис. 57. Тестовый шаблон контроля качества AAPM TG18-QC. Накладку 0% обычно невозможно визуализировать на напечатанном (отражающем) снимке, таком как показан на этом рисунке, но она должна быть видна на дисплеях. Изображение воспроизведено с разрешения ААФМ [28].

- с) если указанные выше действия не позволяют устранить проблему, необходимо исследовать ее более тщательно совместно с медицинским физиком, с тем чтобы принять решение о соответствующих корректирующих действиях.

## **6.1.2. Оценка уровня отбраковки**

### *6.1.2.1. Описание и цель*

С появлением цифровой визуализации оценка процента брака проводится не так систематически, как это делалось в то время, когда каждая отбракованная пленка строго учитывалась. Использование соответствующего программного обеспечения, однако, позволяет легко выявлять и анализировать отбракованные изображения.

При цифровой обработке изображений получается меньше переэкспонированных или недоэкспонированных снимков, чем при использовании пленки. Вместе с тем во время проведения процедур визуализации допускаются ошибки, приводящие к необходимости повторных съемок с целью получения надлежащего изображения для диагностических целей. Выявление и документальная фиксация ошибок позволяют предупреждать возникновение или как минимум снижать частоту их появления. Простота повторения процедуры визуализации является одновременно как плюсом, так и минусом цифровых систем, поскольку при использовании этих систем пациенты могут подвергаться рентгеновскому облучению одним нажатием кнопки. Сокращение уровня отбраковки снимков позволяет снизить облучение пациентов [29].

### *6.1.2.2. Оборудование*

Для проведения этого теста необходимы:

- а) таблицы отбраковки и/или регистрационные журналы или программное обеспечение для удаленного сбора данных (при его наличии);
- б) соответствующие таблицы или стандартизированный перечень причин отбраковки для обеспечения принятия последующих мер.

### *6.1.2.3. Процедура*

При проведении данного теста применяется следующая процедура:

- a) в случае повторения процесса нарезки снимков или отбраковки снимка по какой-либо причине, данный факт следует документально фиксировать. Для этой цели удобней всего использовать рентгенологическую информационную систему или программное обеспечение применяемого оборудования, если такая функция предусмотрена. Структурированный отчет в формате стандарта «Цифровые изображения и коммуникация в медицине» (DICOM) или аналогичный документ может быть использован для немедленного сообщения об известных причинах или для указания на необходимость проведения дальнейшего исследования. Этот документ включает следующие стандартные причины отбраковки:
- i) погрешности в позиционировании (например, поворот, усечение анатомических элементов, неправильная проекция, неправильная маркировка);
  - ii) ошибка в экспозиции (например, переэкспонирование, недоэкспонирование);
  - iii) погрешности, связанные с решеткой (например, отсечка, децентрация, отсутствие решетки, линии сетки);
  - iv) неправильное срабатывание системы;
  - v) артефакты (например, посторонние предметы, контрастные вещества, система визуализации);
  - vi) движение пациента или другие погрешности, связанные с изменением положения;
  - vii) тестовые изображения;
  - viii) прерывание исследования;
  - ix) прочее;
- b) кроме того, следует указывать:
- i) АРМ (рабочую станцию) сбора данных, оцифровщик (дигитайзер);
  - ii) регистрационный номер;
  - iii) дату и время исследования;
  - iv) часть тела;
  - v) вид;
  - vi) экспозиционный индекс;
  - vii) категорию отбраковки;
  - viii) идентификационные данные рентгенолога;
  - ix) технические факторы;
  - x) эскиз снимка;
- c) после сбора информации в течение заранее установленного периода времени (от одного до трех месяцев) следует провести анализ собранных данных.

#### *6.1.2.4. Анализ и интерпретация*

По истечении заданного периода времени следует проанализировать собранные данные. Процент отбраковки сам по себе еще не является достаточным фактором, обуславливающим проведение дальнейшего расследования. Вместе с тем наличие соответствующей статистики позволяет проводить анализ причин и тенденций.

#### *6.1.2.5. Исходные значения и допуски*

Рекомендуется устанавливать низкий уровень отбраковки, используя в рентгенологическом отделении собственные контрольные показатели. Сообщается, что в отделениях визуализационной диагностики, в которых используются цифровые методы визуализации, уровень отбраковки составляет от 4% до 8% и в педиатрических отделениях эта цифра может достигать 3–5%.

Целевой показатель должен устанавливаться на месте группой специалистов отделения данного медучреждения с учетом того, что слишком низкие значения приводят к использованию снимков низкого качества и что на возможный целевой показатель также влияют другие факторы (например, привлечение для работы стажеров).

#### *6.1.2.6. Периодичность*

Желательно, чтобы данная оценка проводилась 1 раз в месяц или как минимум 1 раз в три месяца.

#### *6.1.2.7. Корректирующие действия*

После анализа статистических данных по наиболее значимому компоненту отбраковки следует определить общую причину отбраковки, и группа специалистов по технике визуализации должна предпринять соответствующие корректирующие действия.

### **6.1.3. Визуальный осмотр рабочего места**

#### *6.1.3.1. Описание и цель*

Этот рутинный тест необходим для того, чтобы провести верификацию работы рентгеновской системы в части функционирования ее механического и электрического оборудования и чтобы убедиться в правильности

информации, собираемой при получении изображений. Первоначально этот тест был разработан для маммографии; тем не менее большая часть его элементов применима и к другим методам визуализации [18, 23].

#### *6.1.3.2. Оборудование*

Для этого теста необходим термометр.

#### *6.1.3.3. Процедура*

При проведении данного теста применяется следующая процедура:

- a) измерить температуру в помещении, где выполняется съемка;
- b) визуально осмотреть аппарат на наличие незакрепленных деталей;
- c) проверить чистоту поверхностей, контактирующих с пациентами (например, стойка «Букки», кушетка), и общую целостность системы;
- d) проверить компрессионные пластины на наличие трещин;
- e) убедиться в том, что на маммографическом аппарате имеется щиток для защиты лица и что он не имеет повреждений;
- f) проверить кушетки и опоры для пациентов на наличие повреждений (которые могут привести к появлению артефактов);
- g) проверить кабели на наличие изгибов, разрывов или узлов;
- h) убедиться в том, что на кабелях и шлангах не лежат тяжелые предметы;
- i) убедиться в том, что индикатор угла наклона работает и показывает правильное значение (при наличии такого индикатора);
- j) убедиться в том, что блокировки работают как обозначено и что к ним имеется доступ;
- k) проверить плавность перемещения любых движущихся частей, включая гантри или штатив, на котором установлена система визуализации;
- l) проверить исправность всех вспомогательных органов управления и индикаторов, таких как переключатели, педали, пульта, контрольные лампы и любые измерительные устройства;
- m) проверить лазерные индикаторы и световое поле (если это применимо);
- n) если в системе нет АКЭ, убедиться в наличии таблицы технических параметров;
- o) проверить аннотации, информацию о медицинском учреждении, время и дату на АРМ (рабочей станции) по недавно полученному снимку (если это применимо);
- p) убедиться в том, что на пленках имеется соответствующая аннотация (если это применимо);



- q) убедиться в том, что компрессия на маммографе ослабевает при отключении питания;
- r) подтвердить целостность защитного экрана оператора или окон между кабинетом оператора и помещением, в котором выполняется съемка. На них не должно быть никаких предметов (помех), ухудшающих беспрепятственную видимость;
- s) убедиться в наличии чистящего раствора, рекомендованного изготовителем системы;
- t) проверить все другие функции, которые указаны изготовителем оборудования для регулярного мониторинга;
- u) убедиться в наличии и актуализации письменных процедур обеспечения радиационной безопасности;
- v) убедиться в том, что в смотровой комнате чисто и что ее дверь может закрываться;
- w) проверить наличие свинцовых фартуков и других необходимых средств защиты и переносных барьеров (при необходимости их использования), убедиться в их чистоте и отсутствии дефектов;
- x) убедиться в наличии аварийного оборудования и аварийных телефонных номеров;
- y) проверить наличие и функционирование любых других элементов, относящихся к данному конкретному медицинскому учреждению.

#### *6.1.3.4. Анализ и интерпретация*

Рекомендуется использовать контрольный список для отслеживания возможных изменений в окружающей среде.

#### *6.1.3.5. Исходные значения и допуски*

Действуют следующие требования:

- a) температура в помещении должна быть в диапазоне, рекомендованном изготовителем, а также комфортной для работы с пациентом;
- b) все механические и электротехнические элементы должны находиться в удовлетворительном рабочем состоянии;
- c) время и дата, а также идентификационные данные медицинского учреждения должны правильно отображаться в аннотации к снимку на АРМ (рабочей станции), предназначенному для интерпретации.

#### *6.1.3.6. Периодичность*

Данный тест выполняется 1 раз в месяц или после любого сервисного обслуживания и обновления программного обеспечения.

#### *6.1.3.7. Корректирующие действия*

Возможные корректирующие действия и предлагаемые сроки их выполнения в случае некоторых из перечисленных выше наиболее важных отклонений приведены в таблице 6. Кроме того, необходимо выполнить следующее:

- a) если температура в помещении не соответствует диапазону, рекомендованному изготовителем, следует обратиться к ответственному должностному лицу или местному специалисту по техническому обслуживанию;
- b) элементы оборудования, являющиеся опасными, неработоспособными или рассогласованными, или элементы оборудования, работающие ненадлежащим образом, должны быть отремонтированы соответствующим сервисным персоналом до начала прохождения пациентами процедур визуализации;
- c) следует незамедлительно восполнить недостающие элементы;
- d) необходимо незамедлительно отремонтировать неисправное оборудование;
- e) следует устранить отклонения с привлечением для этого соответствующего персонала до проведения дальнейших процедур визуализации.

**ТАБЛИЦА 6. РЕКОМЕНДУЕМЫЕ СРОКИ ВЫПОЛНЕНИЯ  
КОРРЕКТИРУЮЩИХ ДЕЙСТВИЙ**

| Подлежащие немедленному выполнению действия и соответствующие отклонения                 | Подлежащие выполнению в течение 30 дней действия и соответствующие отклонения            |
|--|--|
| Потеря контроля температуры в помещении  | Индикатор угла наклона не работает   |
| Незакрепленные детали, повреждены компрессионные пластины или стойка «Букки» не очищена  | Движение гантри не плавное   |
| Шланги или кабели перегнуты или повреждены   | Неисправные панельные выключатели, педали, индикаторные лампочки и измерительные приборы |
| Неисправные блокировки   | Лазер или источник света находятся в нерабочем состоянии                                 |
| Время, дата или идентификационные данные медучреждения неверны или отсутствуют на снимке | Действующая таблица технических параметров не вывешена                                   |
| Чистящий раствор отсутствует   | Поврежден экран радиационной защиты оператора  |
| Автоматическое и/или ручное снятие компрессии не работает (только маммография)           |  |

## 6.2. ТЕСТЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА, ВЫПОЛНЯЕМЫЕ МЕДИЦИНСКИМИ ФИЗИКАМИ

### 6.2.1. Видеодисплейные системы

#### 6.2.1.1. Описание и цель

Качество видеодисплейного устройства и соответствующие условия просмотра изображения на консоли сбора данных и АРМ (рабочих

станциях) тестируются с тем, чтобы убедиться в следующем:

- a) изображение отображается без искажений и в соответствующем размере;
- b) освещенность помещения и отражение дисплея, а также характеристики освещения установлены правильно;
- c) разрешение дисплея, низкая и высокая контрастность и уровень шума на дисплее находятся в пределах допустимых значений.

Во время подготовки настоящего справочника Американская ассоциация физиков в медицине (ААФМ) опубликовала обновленное руководство по ОК дисплеев [30]. Рекомендуется ознакомиться с его последней версией с целью внесения коррективов в местную программу ОК.

Дополнительные рекомендации по тестированию принтера для целей КК изложены в [23, 24, 31].

#### *6.2.1.2. Оборудование*

Для проведения теста необходимы:

- a) фотометр, предназначенный для измерений на небольшом участке (диаметром 5–10 мм) яркости на дисплеях с целью определения как яркости, так и освещенности;
- b) тестовый шаблон КК: AAPM TG18-QC.

#### *6.2.1.3. Процедура*

При проведении данного теста применяется следующая процедура:

- a) получить изображение тестового шаблона AAPM TG18-QC на видеодисплейном устройстве;
- b) установить ширину и уровень окна на значения, указанные для этого шаблона. Не устанавливать их на глаз;
- c) при включенном освещении в помещении с обычно используемым уровнем освещенности изучить тестовое изображение на дисплее с помощью калиброванного фотометра. Измерить яркость каждого пятна. Ориентировочными являются уровни яркости 90%-ных и 40%-ных пятен, а также 40%-ных и 10%-ных пятен. Их разность должна быть определена после проведения измерения;
- d) определить освещенность помещения.

**Примечание.** В фотометре используются разные датчики для

измерения яркости и освещенности. Убедиться в том, что настройка прибора соответствуют данному датчику.

#### *6.2.1.4. Анализ и интерпретация*

Для проведения данного теста применяется следующая процедура:

- a) оценить изображения. В случае использования пленочных принтеров проверить изображения как на дисплее, так и на пленке;
- b) тщательно изучить все ступенчатые клинья и проверить наличие заметных существенных различий между соседними ступенями;
- c) убедиться в видимости 5%-ных и 95%-ных вставных накладок;
- d) проверить контрастность путем просмотра низкоконтрастных и высококонтрастных шаблонов;
- e) проверить все линии на предмет геометрических искажений.

#### *6.2.1.5. Исходные значения и допуски*

В таблице 7 представлены рекомендуемые допуски для значений видимости объекта, уровня яркости и освещенности помещения.

#### *6.2.1.6. Периодичность*

Данный тест выполняется 1 раз в год.

#### *6.2.1.7. Корректирующие действия*

Необходимы следующие корректирующие действия:

- a) понизить уровень освещенности помещения до значения ниже 15–50 лк, поскольку более высокие уровни могут влиять на видимость 5%-ных и 95%-ных вставных накладок;
- b) если освещение в помещении выставлено правильно, отрегулировать настройки яркости и контрастности дисплея;
- c) повторить автоматическую настройку дисплея с помощью соответствующего программного обеспечения. Если эта функция отсутствует, а настройки яркости и контрастности независимы, то для тестового изображения можно выполнить следующую процедуру:
  - i) установить уровни яркости и контрастности дисплея на ноль;
  - ii) отрегулировать настройку яркости до такой степени, чтобы фон стал едва различимым;

ТАБЛИЦА 7. ДОПУСКИ ДЛЯ ТЕСТА ВИДЕОДИСПЛЕЙНОГО УСТРОЙСТВА

| Тестируемая величина  | Приемлемый уровень  |
|---|---|
| Видимость ступенчатых клиновых накладок; 5%-ных и 95%-ных вставных накладок | Разность в яркости или плотности между соседними ступенями ступенчатого клина должна быть видимой. Должны быть видны как 5%-ные, так и 95%-ные вставные накладки. |
| Максимальные уровни яркости дисплея <sup>a</sup>                            | Основной дисплей АРМ: $\geq 350$ кд/м <sup>2</sup><br>Второй дисплей: $\geq 250$ кд/м <sup>2</sup><br>Для маммографии: $\geq 420$ кд/м <sup>2</sup>               |
| Уровни освещенности помещения   | 15–50 лк  |

<sup>a</sup> Типовые значения для ЖК-дисплеев.

**Примечание.** «Основной дисплей» находится на АРМ (рабочей станции) и используется рентгенологом для первичной интерпретации. «Второй дисплей» относится к видеодисплейным устройствам, используемым другими врачами для анализа изображений.

- iii) изменить контрастность так, чтобы была видна 95%-ная накладка;
- iv) увеличивать контрастность до тех пор, пока не появится искажение буквенно-цифровых символов на изображении; затем вернуть контрастность к значению непосредственно перед появлением искажения;
- v) если настройки яркости и контрастности не являются независимыми друг от друга, установить более низкую настройку яркости, чтобы создать более темный фон, и отрегулировать контрастность. Убедиться в том, что 5%-ная накладка при регулировке яркости остается видимой;
- d) обеспечить, чтобы 5%-ные и 95%-ные накладки были видны одновременно. Если настроить дисплей таким образом не удастся, следует обратиться к сервисному инженеру.

### 6.3. ДОКУМЕНТАЦИЯ

Важно подчеркнуть, что без регистрации результатов любая программа ОК теряет смысл. Сделанные записи показывают проведенные

мероприятия и служат ориентиром для отслеживания любых изменений и проблем, которые могут оказывать влияние на работу с пациентами. Программа ОК полезна не только для группы, ответственной за качество, но и для сервисного инженера, так как она облегчает ему выявление проблем в функционировании системы. Регистрация результатов тестов КК, описанных в настоящем справочнике, также обеспечивает доказательную базу для регуляторных целей, поскольку инспекторы могут проверять записи и подтверждать соответствие регулирующим требованиям.

При проведении тестов КК рекомендуется регистрировать в четкой и логичной форме следующую информацию:

- a) общая информация:
  - i) идентификационные данные проводимого теста (например, «ежедневный тест КК маммографа XY»);
  - ii) время и дата проведения теста;
  - iii) место проведения теста и место использования системы, если они различаются (например, название, адрес, здание, помещение);
  - iv) идентификационные данные организации или персонала, проводящего тест (например, фамилия и контактные данные);
  - v) идентификационные данные лицензиата, оператора или пользователя оборудования (например, наименование, фамилия, контактные данные, должность);
  - vi) идентификационные данные оборудования (например, изготовитель, тип, серийный номер всей системы или ее основных компонентов; если для визуализации требуются дополнительные компоненты, также записывается относящаяся к ним информация);
  - vii) четкая нумерация страниц, если регистрационная документация состоит из нескольких страниц (например, страница/общее количество страниц);
- b) приборы и тест-объекты:
  - i) идентификационные данные измерительных устройств и тест-объектов (например, изготовитель, тип, серийный номер, версия встроенного ПО, если это применимо);
  - ii) информация о калибровке приборов;
  - iii) информация о погрешности измерения (может быть рассчитана для каждого отдельного измерения);
  - iv) настройки, режимы работы и любые другие факторы, которые могут влиять на измерения (один раз или для каждого измерения), включая поправочные коэффициенты;

- с) условия окружающей среды и информация об использовании (в соответствующем случае):
  - i) температура и давление;
  - ii) поэтажный план или эскиз помещения;
- d) техническая информация об оборудовании:
  - i) технические характеристики (например, диапазон напряжения на трубке, режимы работы АКЭ, версия программного обеспечения);
  - ii) любые сообщения о неисправности оборудования или серьезных изменениях, затрагивающих какие-либо детали;
- e) проведенные тесты:
  - i) перечень проведенных тестов;
  - ii) область применения или краткое описание теста или ссылки на руководства, используемые для проведения теста;
  - iii) параметры экспозиции или режимы работы;
  - iv) результаты (т.е. показания, скорректированные значения и коэффициенты, использованные для получения результатов);
  - v) оценка результатов;
- f) выводы, сделанные по результатам тестов:  
краткое резюме и перечень корректирующих действий с указанием соответствующих сроков и персонала, ответственного за их выполнение;
- g) подписи, печати или любое иное средство верификации.

#### 6.4. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ДОЗОЙ

В последнее время в лучевой диагностике применяется программное обеспечение (ПО) для управления дозой (DMS), которое облегчает процесс ОК и обеспечивает управление дозой облучения пациентов [32]. Помимо того, что ПО DMS является важным инструментом, позволяющим улучшить реализацию программы ОК и обеспечить соблюдение регулирующих требований, оно может использоваться для сбора, мониторинга и оценки демографической и технической информации о пациентах, включая данные о дозах, полученные с помощью различных методов визуализации [32]. В зависимости от типа ПО DMS, помимо сбора информации о количественных показателях, относящихся к дозе пациента, оно также позволяет получать другие данные, обеспечивающие улучшение работы с пациентами, и содействовать непрерывному повышению качества клинической практики. Характеристики и возможности ПО DMS определяют его полезность; не все виды ПО применимы к каждой ситуации. Следует тщательно выбирать ПО DMS для конкретного отделения медучреждения с учетом



его потребностей. ПО DMS доступно в разных версиях, оно может быть разработано международными компаниями или предлагаться бесплатно, или же в виде решения с открытым исходным кодом. ПО DMS позволяет эффективно улучшить повседневную клиническую практику и является особенно важным инструментом управления качеством. Это ПО повышает эффективность автоматизированных методов сбора, архивирования, анализа и представления технических данных по сравнению с ручными или полуавтоматическими методами сбора и обработки данных (рис. 58).

Независимо от выбранного ПО показатели дозы следует сначала верифицировать на уровне рентгеновской системы, а затем вместе со всей другой соответствующей информацией с целью обеспечения их точного перевода на платформу ПО DMS. Эту работу должен выполнять медицинский физик с клинической квалификацией [32]. Надежное и точное использование ПО DMS в повседневной (рутинной) клинической практике может быть обеспечено только после разработки комплексной программы ОК рентгенологического оборудования и регулярной верификации данных.

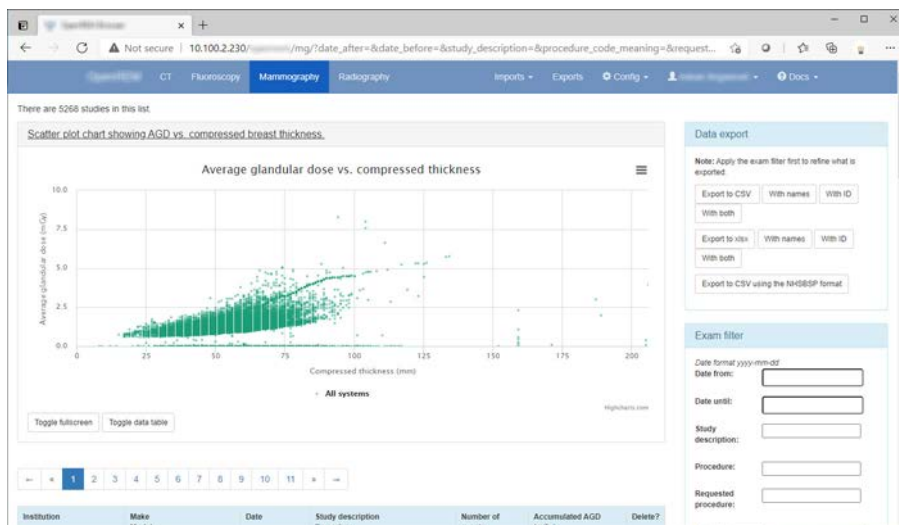


Рис. 58. Сводка результатов маммографических обследований с использованием ПО DMS.

## 7. ПЛЕНОЧНО-ЭКРАННЫЕ СИСТЕМЫ

Описанные ниже тесты предназначены для контроля постоянства показателей пленочно-экранных систем как в рентгенографии, так и в маммографии. Хотя эти тесты относительно просты и их может выполнять обученный и имеющий необходимое оборудование рентгентехник/рентгенолаборант (рентгенолог), рекомендуется, чтобы медицинский физик периодически проверял результаты, их интерпретацию и принятые корректирующие меры.

### 7.1. ТЕСТЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА, ВЫПОЛНЯЕМЫЕ РЕНТГЕНОЛОГАМИ

#### 7.1.1. Температура системы обработки пленки

##### 7.1.1.1. Описание и цель

Выполняется оценка температуры автоматической или ручной проявочной машины. Эта температура влияет на проявку пленки и может приводить к искажению изображения на оптимально экспонированных пленках и к необходимости повторения процедуры получения снимка [4, 22, 33].

##### 7.1.1.2. Оборудование

Цифровой термометр, предпочтительно калиброванный. Не следует использовать термометры с ртутью или другими жидкостями, так как их возможная неисправность может привести к порче раствора.

##### 7.1.1.3. Процедура

При проведении данного теста применяется следующая процедура:

- a) после стабилизации температурного режима проявочной машины (подождать достаточное время, например один час, для стабилизации температуры) выполнить измерение;
- b) отключить проявочную машину от электросети во избежание поражения электрическим током;

- с) снять крышку бака с проявителем и погрузить термометр в раствор. В зависимости от марки и типа термометра дождаться стабилизации его показания. По возможности следует всегда проводить измерения на одной и той же глубине и в одном и том же месте в баке, так как раствор может быть неоднородным;

**Примечание.** При работе с опасными химическими веществами следует всегда использовать соответствующие средства индивидуальной защиты.

- d) записать показания термометра.

#### *7.1.1.4. Анализ и интерпретация*

В зависимости от используемых пленок температура должна быть примерно равна исходному значению. Возможны небольшие колебания, но температура должна быть относительно постоянной. Сравнить текущие показания с исходными или рекомендованными изготовителем.

#### *7.1.1.5. Исходные значения и допуски*

Рекомендуемое отклонение составляет  $\pm 1,0^{\circ}\text{C}$ .

#### *7.1.1.6. Периодичность*

Данный тест выполняется 1 раз в день.

#### *7.1.1.7. Корректирующие действия*

Следует приостановить использование системы до тех пор, пока она не будет отремонтирована. Если измеренная температура выходит за пределы допустимого диапазона, следует обратиться за помощью к сервисному инженеру.

### **7.1.2. Основа плюс вуаль, чувствительность и контрастность**

#### *7.1.2.1. Описание и цель*

Сенситометрия — это измерение реакции пленки на экспозицию и обработку. Специализированный сенситометр состоит из однородного и постоянного источника света и сенситометрической пробной полосы. В данном тесте получают информацию о качестве пленки и процессе

проявки, при этом выявляются характерные погрешности независимо от рентгеновской системы [22].

#### 7.1.2.2. Оборудование

Для проведения теста необходимы:

- a) сенситометр с пробной полосой (с 11 или 21 ступенью);
- b) денситометр.

#### 7.1.2.3. Процедура

При проведении данного теста применяется следующая процедура:

- a) экспонировать пленку в сенситометре, следуя инструкциям изготовителя;  
**Примечание.** Пленки, чувствительные к синему и зеленому свету, следует проверять с помощью соответствующего источника света.
- b) обработать пленку обычным способом;
- c) использовать денситометр для измерения полученных оптических плотностей.

#### 7.1.2.4. Анализ и интерпретация

Записывать ежедневно все измеренные значения для каждого шага не требуется. Как минимум, следует определять значения оптической плотности, связанные с плотностью основы плюс вуаль, точку чувствительности, или индекс чувствительности ( $OD = 1$  выше значения плотности основы плюс вуаль), и индекс контрастности. Индекс контрастности представляет собой разность между оптическими плотностями ступени, ближайшей к  $OD = 0,25$  выше плотности основы плюс вуаль, и оптической плотностью ступени, ближайшей к  $OD = 2,0$  выше плотности основы плюс вуаль. Ступени, используемые для измерения индекса чувствительности и индекса контрастности, должны быть определены во время установления исходных значений.

#### 7.1.2.5. Исходные значения и допуски

Исходные значения следует устанавливать, если проявочная машина работает в оптимальных условиях в течение короткого периода времени. После ввода в эксплуатацию проявочной машины (или после очистки проявочной машины, загрузки в нее свежих химикатов и стабилизации на

значении температуры, указанной изготовителем) повторить весь процесс в течение недельного срока и определить плотность основы плюс вуаль, индекс контрастности и индекс чувствительности. Среднее значение полученных результатов будет служить исходным значением для тестов на постоянство показателей. Для установления исходных значений следует использовать одну и ту же упаковку с пленками.

В зависимости от цели использования пленки (рентгенография или маммография) применяются разные допуски по оптической плотности. В случае общей рентгенографии в качестве уровня приостановки эксплуатации можно использовать  $OD = \pm 0,15$  от исходного значения. Применительно к маммографическим пленкам достижимы более стабильные значения, и поэтому можно использовать  $OD = \pm 0,10$ . Для плотности основы плюс вуаль подходит предел оптической плотности  $OD = +0,03$ .

#### *7.1.2.6. Периодичность*

Данный тест выполняется 1 раз в день (после измерения температуры).

#### *7.1.2.7. Корректирующие действия*

Убедиться в том, что система восполнения реактивов работает надлежащим образом, или в случае ручной обработки попробовать повторить тест. Для устранения неполадок можно обратиться к сервисному инженеру.

### **7.1.3. Измерение рН фиксажа**

#### *7.1.3.1. Описание и цель*

Фиксаж важен для обработки пленки, так как он останавливает дальнейшее проявление скрытого изображения. Если кислотность фиксажа слишком высока или рН слишком близок к нейтральному значению, обработка пленки может прекратиться слишком рано или слишком поздно, и изображение не достигнет требуемых показателей контрастности. Как и в случае ранее описанных проблем с проявочной машиной, это может приводить к искажению изображения и к необходимости повторения процедуры получения снимка [4, 33].

#### 7.1.3.2. Оборудование

Для проведения теста необходимы:

- a) индикаторная тест-полоска для определения рН в диапазоне рН 4,0–5,0;
- b) сравнительная цветовая шкала.

Можно использовать специальный прибор (если он откалиброван), но воспроизводимые результаты, соответствующие поставленной цели, могут быть достигнуты с помощью индикации рН.

#### 7.1.3.3. Процедура

При проведении данного теста применяется следующая процедура:

- a) выключить проявочную машину после того, как она прогреется (например, через 30 минут);
- b) снять крышку с бака для фиксажа;  
**Примечание.** Всегда следует использовать соответствующие средства индивидуальной защиты при работе с опасными химическими веществами.
- c) погрузить тест-полоску для определения рН на пять секунд в фиксаж;
- d) извлечь бумажную тест-полоску и дать ей высохнуть;
- e) сравнить окраску тест-полоски с эталоном на цветовой шкале.

#### 7.1.3.4. Анализ и интерпретация

Результат может свидетельствовать об изменении химического состава раствора, что может сказываться на качестве изображения. Типичный диапазон рН фиксирующих жидкостей составляет 4,0–4,6, однако изготовитель может указать другое значение.

#### 7.1.3.5. Исходные значения и допуски

Следует руководствоваться значениями рН для фиксажа, указанными в спецификации изготовителя.

#### 7.1.3.6. Периодичность

Данный тест выполняется 1 раз в месяц.

#### *7.1.3.7. Корректирующие действия*

При необходимости освежить раствор, так как фиксаж необходимо постоянно пополнять. Проверить, не требуется ли провести тщательную очистку бака. Проверить другие возможные причины, так как кислотность является лишь одним из факторов, влияющих на свойства раствора.

#### **7.1.4. Техническое обслуживание и визуальный осмотр кассет**

Состояние кассет, используемых для съемки, следует регулярно проверять. Неисправности могут проявляться в ходе ежедневного использования кассет, однако для предотвращения их возникновения следует проводить регулярные проверки. Для кассет особенно свойственно возникновение в них неисправностей, так как они имеют подвижные детали (замки и петли) и могут падать в процессе ежедневного использования [4, 33].

##### *7.1.4.1. Описание и цель*

Целью данного теста является определение состояния кассет и экранов, используемых для визуализации.

##### *7.1.4.2. Оборудование*

Для проведения теста необходимы:

- a) несмываемые фломастеры;
- b) наклейки;
- c) чистящий раствор;
- d) тампоны.

##### *7.1.4.3. Процедура*

При проведении данного теста применяется следующая процедура:

- a) протереть внешнюю поверхность пустых кассет сухой, а затем влажной тканью; смачивать ткань спиртом или мыльной водой. Снять и закрепить экраны отдельно, чтобы избежать попадания на них чистящего раствора;
- b) визуально осмотреть кассеты, их петли и замки или защелки. Чаще всего происходит надлом или появляются трещины на углах кассет;

- с) проверить правильность маркировки экранов, вставленных в кассету. Обязательно использовать тип экрана, наиболее подходящий для пленок, используемых для получения снимков (например, не комбинировать экраны, излучающие синий свет, с пленками, чувствительными к зеленому свету, и наоборот).

#### *7.1.4.4. Анализ и интерпретация*

Если кассета имеет дефекты (на замках или петлях) или трещины, следует проверить ее светонепроницаемость.

#### *7.1.4.5. Исходные значения и допуски*

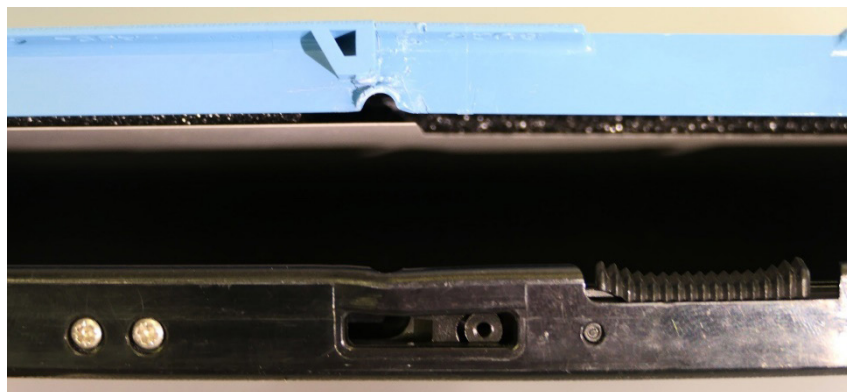
Убедиться в светонепроницаемости кассет и отсутствии у них каких-либо дефектов (см. рис. 59).

#### *7.1.4.6. Периодичность*

Данный тест выполняется 1 раз в шесть месяцев или по мере целесообразности.

#### *7.1.4.7. Корректирующие действия*

Если наклейка с указанием типа экрана плохо читается, следует прикрепить новую наклейку. На экране и кассете должны быть одинаковые



*Рис. 59. Кассета, на которой заклиненный затвор был открыт с применением физической силы.*



наклейки. Необходимо устранить любые дефекты. При необходимости заменить кассету. Кассеты с нарушением светонепроницаемости следует изъять из использования.

### **7.1.5. Техническое обслуживание экранов**

#### *7.1.5.1. Описание и цель*

Цель данного теста состоит в том, чтобы обеспечить чистоту экранов и отсутствие каких-либо артефактов, которые могут влиять на диагностику. Грязный или неполный контакт пленки с экраном может привести к появлению артефактов на изображении [4, 22, 33].

#### *7.1.5.2. Оборудование*

Для проведения теста необходимы:

- a) нещелочный мыльный раствор, состав и концентрация которого одобрены изготовителем экрана;
- b) безворсовая ткань;
- c) щетка.

#### *7.1.5.3. Процедура*

При проведении данного теста применяется следующая процедура:

- a) открыть кассету и осмотреть экран при хорошем освещении;
- b) проверить, нет ли дефектов на поверхности экрана;
- c) при наличии подозрений на дефекты, таких как видимые царапины или аналогичные нарушения, произвести контрольную экспозицию для определения степени и размера дефектов;
- d) выполнить очистку усиливающих экранов мыльным раствором, вытереть их насухо тканью и оставить кассету частично открытой в вертикальном положении.

**Примечание.** В целях экономии пленок можно выполнять очистку перед тестовой экспозицией.

#### *7.1.5.4. Анализ и интерпретация*

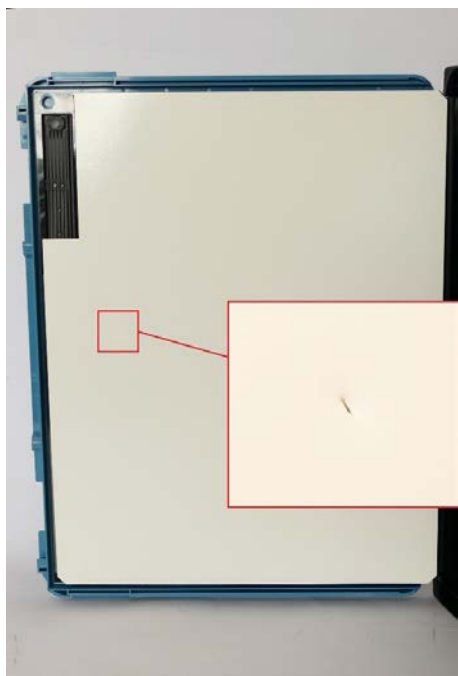
Артефакты, вызванные дефектами экрана, могут влиять на клинический диагноз; визуальный осмотр или контрольная экспозиция позволяют выявить такие дефекты.

#### *7.1.5.5. Исходные значения и допуски*

На снимке не должно быть видимых артефактов, способных исказить клинический диагноз (см. рис. 60).

#### *7.1.5.6. Периодичность*

Данный тест выполняется 1 раз в неделю или при подозрении на наличие артефактов.



*Рис. 60. Проколотый экран.*

#### *7.1.5.7. Корректирующие действия*

Аккуратно очистить экраны. Если на экранах сохраняются серьезные дефекты, могущие влиять на клинический диагноз, экраны следует забраковать и изъять из использования.

### **7.1.6. Светонепроницаемость кассет**

#### *7.1.6.1. Описание и цель*

Образование вуали на неэкспонированной пленке явно указывает на повреждение кассеты. Кассеты должны защищать неэкспонированную пленку от видимого света [4, 33].

#### *7.1.6.2. Оборудование*

Для проведения теста необходимы:

- a) негатоскоп или другой мощный источник света;
- b) денситометр (при необходимости).

#### *7.1.6.3. Процедура*

При проведении данного теста применяется следующая процедура:

- a) вставить пленку в кассету;
- b) поместить кассету в негатоскоп или рядом с мощным источником света для экспонирования;
- c) удерживать кассету в этом положении по 10 минут с каждой стороны;
- d) обработать пленку обычным способом.

#### *7.1.6.4. Анализ и интерпретация*

Оценка светонепроницаемости проводится путем визуального осмотра обработанной пленки, чтобы определить, есть ли на ней участки с вуалью (см. рис. 61); можно использовать также денситометр.

#### *7.1.6.5. Исходные значения и допуски*

Образование на пленке вуали не допускается.

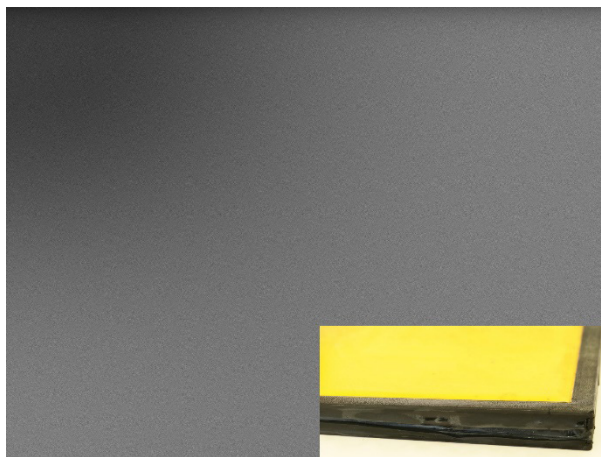


Рис. 61. Кассета, со временем пришедшая в негодность (вставка) с образованием вуали (основное изображение).

#### 7.1.6.6. Периодичность

Данный тест выполняется 1 раз в шесть месяцев и по мере необходимости.

#### 7.1.6.7. Корректирующие действия

Неисправную кассету следует изъять из использования. Возможен ремонт кассеты, но после ремонта следует проводить проверку кассеты на светонепроницаемость.

### 7.1.7. Контакт пленки с экраном

#### 7.1.7.1. Описание и цель

Цель проверки состоит в том, чтобы определить, не являются ли артефакты результатом плохого контакта пленки с экраном [4, 33].

#### 7.1.7.2. Оборудование

Для этого теста используется тест-объект, содержащий сетку с мелкими ячейками. Можно использовать перфорированный металлический лист или тест-объект, рекомендованный изготовителем пленки; в отсутствие

специальных тест-объектов можно также использовать металлическую защитную сетку от насекомых.

#### *7.1.7.3. Процедура*

При проведении данного теста применяется следующая процедура:

- a) вставить пленку в кассету;
- b) поместить сетку сверху кассеты;
- c) отцентрировать рентгеновскую трубку на расстоянии приблизительно 100 см от кассеты, затем открыть коллиматор, чтобы поле излучения охватывало всю кассету;
- d) установить экспозицию, дающую чистую оптическую плотность  $OD = 1,0-2,0$  или значение, рекомендованное изготовителем тест-объекта;
- e) обработать пленку.

#### *7.1.7.4. Анализ и интерпретация*

Вставить обработанную пленку в негатоскоп. Сетка должна иметь высокую контрастность на изображении. Если изображение где-либо размыто или сетка отображается неправильно, значит контакт пленки с экраном нарушен. При рассматривании проявленной пленки на расстоянии нарушенная область будет выглядеть как область с более высокой экспозицией.

#### *7.1.7.5. Исходные значения и допуски*

Никаких видимых артефактов не должно быть.

#### *7.1.7.6. Периодичность*

Данный тест выполняется 1 раз в шесть месяцев.

#### *7.1.7.7. Корректирующие действия*

Плохой контакт пленки с экраном может быть вызван старением пены, прижимающей экран и пленку друг к другу (рис. 62). Грязь или крупинки также могут привести к появлению артефактов. Если очистка экрана не позволяет устранить проблему, можно установить экран на новой кассете и изъять старую кассету из использования.



*Рис.62. Кассета с высохшей пеной, создающей артефакты из-за плохого контакта пленки с экраном.*

### **7.1.8. Светонепроницаемость и безопасное освещение в темной комнате**

#### *7.1.8.1. Описание и цель*

Обеспечение светонепроницаемости в темной комнате является необходимым, так как неизолированная от света темная комната может стать причиной порчи пленок или значительного ухудшения их качества в отделении медучреждения. Данный тест преследует две цели: подтвердить, что освещение является безопасным, а также что источники света (включенное безопасное освещение и темная комната без освещения в режиме светонепроницаемости) не приводят к появлению недопустимой вуали на пленках.

Данный тест может быть повторен при каждой включенной безопасной лампе. В этом случае можно оценить фильтр (качество и спектры) и его функциональную целостность на предмет выяснения его роли в качестве

источника появления вуали, а также для подтверждения правильности подбора номинальной мощности лампы [4, 33].

#### 7.1.8.2. Оборудование

Для проведения теста необходимы:

- a) максимально чувствительная из используемых пленок (пленка с максимальной светочувствительностью);
- b) картонная коробка;
- c) шесть монет;
- d) часы.

#### 7.1.8.3. Процедура

При проведении данного теста применяется следующая процедура:

- a) визуальный осмотр:
  - i) войти в темную комнату. Закрыть ставни (жалюзи) на окнах, если они имеются, и обеспечить светонепроницаемость темной комнаты в обычном порядке;
  - ii) выключить все лампы в темной комнате, включая безопасное освещение;
  - iii) дать глазам достаточно времени (приблизительно 5 минут), чтобы привыкнуть к условиям малой освещенности;
  - iv) проверить, нет ли мест, пропускающих в помещение белый свет через двери, проявочную машину, боксы для смены пленки, вытяжки или потолок;
- b) качественное измерение:
  - i) вставить пленку в кассету. Всегда использовать новую упаковку пленок, так как упаковка, открытая ранее, уже может иметь вуаль;
  - ii) произвести экспонирование половины пленки рентгеновским излучением, выбрав параметры экспозиции таким образом, чтобы получить оптическую плотность, равную 1 (сенсibiliзирующая экспозиция). Другая половина пленки может быть либо покрыта свинцовым листом, либо пленку можно поделить пополам для визуального контроля различия;
  - iii) положить сенсibiliзированную пленку на рабочий стол в темной комнате;
  - iv) разложить шесть монет примерно на одинаковом расстоянии друг от друга вдоль длинной стороны пленки;

- v) накрыть картоном область пленки, в которой находятся пять монет. Подождать 30 секунд и передвинуть картон, чтобы открыть еще одну монету. Повторять до тех пор, пока пленка и все монеты не будут полностью открыты;
- vi) по истечении последних 30 секунд после открытия всех монет обработать пленку;
- vii) повторить шаги i)–vi) теста при любом другом используемом безопасном освещении.

#### *7.1.8.4. Анализ и интерпретация*

Визуально осмотреть обработанные пленки на наличие изображений монет.

#### *7.1.8.5. Исходные значения и допуски*

На пленка не должно быть видно монет.

#### *7.1.8.6. Периодичность*

Данный тест выполняется 1 раз в шесть месяцев и при появлении подозрения на нарушение светонепроницаемости темной комнаты.

#### *7.1.8.7. Корректирующие действия*

Темная комната должна быть изолирована от засветки рассеянным светом, и необходимо проверять безопасное освещение для того, чтобы убедиться в отсутствии пропускания белого света. При необходимости заменить фильтр безопасного света и проверить номинальную мощность ламп.

### **7.1.9. Рентгеновский негатоскоп**

#### *7.1.9.1. Описание и цель*

Негатоскоп должен обеспечивать равномерный свет при освещении пленок. Неоднородный белый свет или мерцание в негатоскопе могут влиять на клиническую оценку пленок [4, 33].



#### 7.1.9.2. Оборудование

Для данного теста требуется оптический фотометр, калиброванный для измерения яркости (в кд/м<sup>2</sup>).

#### 7.1.9.3. Процедура

При проведении теста применяется следующая процедура:

- a) очистить негатоскоп и зафиксировать наличие каких-либо неисправных или мерцающих источников света внутри него;
- b) с помощью фотометра измерить яркость негатоскопа примерно в 15 см от него на квадратном участке размером 15×15 см;
- c) записать измеренные значения, затем повторить шаг b) столько раз, сколько будет необходимо для охвата всей площади рентгеновского негатоскопа.

#### 7.1.9.4. Анализ и интерпретация

Однородность яркости следует оценивать путем вычисления средней яркости отобранных областей. Этот метод также можно использовать для сравнения негатоскопов, имеющих в отделении медучреждения.

#### 7.1.9.5. Исходные значения и допуски

Яркость должна составлять  $\pm 20\%$  от среднего значения, измеренного для данного негатоскопа. Не должно быть мерцания или проявления иных артефактов (см. рис. 63).

Исходное значение для среднего уровня должно быть измерено при вводе в эксплуатацию (или вскоре после него). Типовое значение яркости обычно находится в диапазоне нескольких тысяч кандел на квадратный метр. Вместе с тем следует также оценивать общее освещение помещения для оценки приемлемости условий просмотра.

#### 7.1.9.6. Периодичность

Данный тест выполняется 1 раз в три месяца.



*Рис. 63. Мерцание негатоскопа (снято с очень большой выдержкой).*

#### *7.1.9.7. Корректирующие действия*

Если происходит мерцание ламп или некоторые из них теряют яркость, технический специалист должен их заменить и проверить источник питания и электронику. Если среднее значение значительно ниже значения, измеренного при вводе в эксплуатацию, стеклянную (или пластиковую) панель перед лампами следует тщательно очистить или заменить.

## ДОПОЛНЕНИЕ

В настоящем дополнении приведен список тестов, описанных в настоящем справочнике. Цель дополнения не состоит в перечислении содержания; в таблице 8 приводится наиболее важная информация, относящаяся к каждому тесту: раздел и наименование, рекомендуемое для использования оборудование, рекомендуемые допуски и периодичность проведения каждого теста, а также библиографические ссылки, на которых основывается данный раздел.

ТАБЛИЦА 8. СВОДНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ТЕСТОВ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА

| Раздел  | Наименование  | Оборудование                             | Допуски  | Периодичность                     | Ссылка |
|---|---|--|--|-----------------------------------|--------|
| Рентгенография — тесты КК, выполняемые рентгенологами |   |  |  |                                   |        |
| 2.1.1   | Выравнивание и центрирование рентгеновского пучка                                   | Тест-объект для выравнивания, аттенуатор | Выравнивание: $\pm 2\%$ SID<br>Центрирование: $\pm 1\%$ SID  | 1 раз в 3–6 месяцев               | [4, 5] |
| 2.1.2   | Расстояния и масштабы   | Мерная лента                             | $\pm 1,5$ см   | 1 раз в 6 месяцев                 | [4]    |
| 2.1.3   | Однородность изображения и артефакты  | Медная пластина или ПММА                 | Отсутствие артефактов  | 1 раз в месяц                     | [4]    |
| 2.1.4   | Постоянство АКЭ   | Медная пластина или ПММА                 | Цифровая рентгенография:<br>$\pm 25\%$ от исходного значения<br>Компьютерная рентгенография:<br>$\pm 30\%$ от исходного значения | 1 раз в 3 месяца                  | [4, 6] |
| 2.1.5   | Состояние кассет и рентгенографических пластин (только компьютерная рентгенография) | Чистящий раствор                         | Отсутствие грязи и повреждений   | Согласно рекомендациям поставщика |        |

ТАБЛИЦА 8. СВОДНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ТЕСТОВ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА (продолжение)

| Раздел   | Наименование  | Оборудование  | Допуски  | Периодичность       | Ссылка    |
|--|---|---|--|---------------------|-----------|
| 2.1.6  | Чувствительность АКЭ  | Медная пластина или ПММА  | Экспозиционный индекс или значение МА·с: $\pm 50\%$ от исходного значения                        | 1 раз в 1–3 месяца  | [4, 6]    |
| Рентгенография — тесты КК, выполняемые медицинскими физиками |   |   |  |                     |           |
| 2.2.1  | Выравнивание и центрирование рентгеновского пучка                         | Тест-объект для выравнивания, аттенуатор                            | Выравнивание: $\pm 2\%$ SID<br>Центрирование: $\pm 1\%$ SID                                      | 1 раз в 3–6 месяцев | [4, 5]    |
| 2.2.2  | Точность потенциала трубки  | Твердотельный киловольтметр, свинцовая пластина                     | $\pm 5\%$ или $\pm 5$ кВ или $\pm 10\%$ или $\pm 10$ кВ (МЭК), в зависимости от того, что больше | 1 раз в год         | [4]       |
| 2.2.3  | Постоянство радиационного выхода  | Твердотельный детектор или ионизационная камера, свинцовая пластина | $\pm 20\%$ от исходного значения или 25–80 мкГр/МА·с при 80 кВ                                   | 1 раз в год         | [4, 7]    |
| 2.2.4  | Кратковременная воспроизводимость радиационного выхода и время экспозиции | Твердотельный детектор или ионизационная камера, свинцовая пластина | КВ для $Y$ : $\pm 20\%$ от среднего значения<br>КВ для $t$ : $\pm 5\%$                           | 1 раз в год         | [4, 5, 7] |

ТАБЛИЦА 8. СВОДНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ТЕСТОВ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА (продолжение)

| Раздел | Наименование  | Оборудование   | Допуски   | Периодичность | Ссылка    |
|--------|---|--|---|---------------|-----------|
| 2.2.5  | Точность времени экспозиции                             | Твердотельный детектор или ионизационная камера, свинцовая пластина  | При $t > 100$ мс: $\pm 10\%$ от номинального значения<br>При $t \leq 100$ мс: $\pm 15\%$ или $\pm 2$ мс от номинального значения  | 1 раз в год   | [4]       |
| 2.2.6  | Слой половинного ослабления                             | Твердотельный детектор или ионизационная камера, алюминиевые аттенуаторы, металлическая пластина, мерная лента     | Соответствие минимальным значениям, указанным в национальных регулирующих положениях.<br>При 80 кВ: алюминиевые листы $> 2,3$ мм (рентгеновские системы, поставленные до 01.06.2012 года) и алюминиевые листы толщиной 2,9 мм (рентгеновские системы, поставленные после 01.06.2012 года) | 1 раз в год   | [6, 8, 9] |
| 2.2.7  | Точность измерителя произведения кермы на площадь (ПКП) | Твердотельный детектор или ионизационная камера, пластина или пленка, линейка или мерная лента, свинцовая пластина | Автономные измерители ПКП: $\pm 25\%$<br>В других случаях: $\pm 35\%$   | 1 раз в год   | [9–11]    |

ТАБЛИЦА 8. СВОДНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ТЕСТОВ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА (продолжение)

| Раздел | Наименование  | Оборудование  | Допуски                          | Периодичность                       | Ссылка     |
|--------|---|---|----------------------------------|-------------------------------------|------------|
| 2.2.8  | Кратковременная воспроизводимость индикатора экспозиции | Аттенуатор (например, медная пластина, ПММА)  | $\pm 10\%$ от исходного значения | 1 раз в год                         | [4, 12]    |
| 2.2.9  | Точность индикатора экспозиции                          | Медная пластина или ПММА  | $\pm 20\%$ от исходного значения | 1 раз в год                         | [4, 6, 12] |
| 2.2.10 | Доза на приемнике изображения                           | Твердотельный детектор или ионизационная камера, аттенуатор (например, медная пластина, ПММА) | $\pm 30\%$ от исходного значения | 1 раз в год                         | [4, 6]     |
| 2.2.11 | Излучение утечки  | Дозиметр, свинцовый лист, линейка или мерная лента  | 1 мГр/ч                          | При приемке и по мере необходимости | [14]       |
| 2.2.12 | Рассеянное излучение                                    | Дозиметр, водный фантом или ПММА, линейка или мерная лента                                    | $\pm 50\%$ от исходного значения | 1 раз в год                         | [15]       |

ТАБЛИЦА 8. СВОДНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ТЕСТОВ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА (продолжение)

| Раздел | Наименование                                    | Оборудование  | Допуски   | Периодичность     | Ссылка      |
|--------|---|---|---|-------------------|-------------|
| 2.2.13 | Способность выявления низкоконтрастных объектов | Низкоконтрастный тест-объект для выравнивания, аттенуатор (например, медная пластина, ПММА) | Согласно решению рентгенолаборанта или рентгенолога                 | 1 раз в 6 месяцев | [13, 16]    |
| 2.2.14 | Ограничение пространственного разрешения        | «Бар-фантом»  | Отсутствие изменений по сравнению с исходными значениями            | 1 раз в 6 месяцев | [4]         |
| 2.2.15 | Шум темнового тока                              | Свинцовые листы или свинцовый фартук  | $\pm 50\%$ от исходного значения                                    | 1 раз в год       | [4, 13, 17] |
| 2.2.16 | Точность измеряемых размеров                    | Тест-объект или свинцовая линейка   | $\pm 2\%$   | 1 раз в год       | [4, 13]     |
| 2.2.17 | Система АКЭ — согласованность между датчиками   | Аттенуатор (например, блоки из ПММА)  | $\pm 30\%$ от исходного значения<br>$\pm 20\%$ от среднего значения | 1 раз в год       | [4, 13]     |
| 2.2.18 | Система АКЭ — кратковременная воспроизводимость | Аттенуатор (например, блоки ПММА)   | $\pm 40\%$ от среднего значения                                     | 1 раз в год       | [4, 12]     |



ТАБЛИЦА 8. СВОДНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ТЕСТОВ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА (продолжение)

| Раздел | Наименование  | Оборудование   | Допуски  | Периодичность   | Ссылка      |
|--------|---|--|--|---|-------------|
| 2.2.19 | Система АКЭ — компенсация киловольтного напряжения и толщины                                      | Аттенюаторы (например, блоки ПММА) различной толщины                                   | $\pm 40\%$ от среднего значения  | 1 раз в год   | [4, 12]     |
| 2.2.20 | Срабатывание защитного таймера системы АКЭ  | Твердотельный детектор или ионизационная камера, свинцовый лист                        | Отсутствие изменений по сравнению с исходными значениями   | 1 раз в год   | [4, 12]     |
| 2.2.21 | Соответствие однородности изображения и чувствительности пластины для компьютерной рентгенографии | Медная пластина (толщина 1 мм) или ПММА (20 см)  | MPV: $\pm 20\%$ от среднего значения<br>Значение МА·с: $\pm 5\%$ от среднего значения<br>Отсутствие артефактов | 1 раз в год (компьютерная рентгенография):<br>1 раз в 6 месяцев | [4, 12, 16] |
| 2.2.22 | Эффективность стирания (только компьютерная рентгенография)                                       | Свинцовый лист (толщина 2 мм) или медная пластина (толщина $> 3$ мм), свинцовый фартук | Отсутствие ложных контуров   | 1 раз в год   | [16]        |

ТАБЛИЦА 8. СВОДНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ТЕСТОВ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА (продолжение)

| Раздел   | Наименование  | Оборудование   | Допуски   | Периодичность    | Ссылка |
|--|---|--|---|------------------|--------|
| Рентгеноскопия — тесты КК, выполняемые рентгенологами        |   |  |   |                  |        |
| 3.1.1  | Воспроизводимость автоматического управления мощностью экспозиционной дозы (AERC) | ПММА (толщина 10–20 см) или медная пластина (толщина 1–2 мм)   | Киловольтное напряжение: $\pm 5\%$ от исходного значения<br>Ток: $\pm 20\%$ от исходного значения | 1 раз в 3 месяца | [7]    |
| Рентгеноскопия — тесты КК, выполняемые медицинскими физиками |   |  |   |                  |        |
| 3.2.1  | Верификация коллимации пучка  | Фантом, пластина для компьютерной рентгенографии или самопроявляющаяся пленка                                    | $\pm 2\%$ SID   | 1 раз в год      | [14]   |
| 3.2.2  | Верификация геометрии пучка   | Тест-объекты для выравнивания, аттенуатор, пластина для компьютерной рентгенографии или самопроявляющаяся пленка | Выравнивание: $\pm 2\%$ SID<br>Центрирование: $\pm 1\%$ SID                                       | 1 раз в год      | [4, 5] |

ТАБЛИЦА 8. СВОДНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ТЕСТОВ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА (продолжение)

| Раздел | Наименование                           | Оборудование  | Допуски  | Периодичность                       | Ссылка           |
|--------|--|---|--|-------------------------------------|------------------|
| 3.2.3  | Верификация различных размеров полей   | Фантом  | $\pm 2\%$ SID  | 1 раз в год                         | [14]             |
| 3.2.4  | Мощность ESAK на теле пациента         | Ионизационная камера или твердотельный детектор, блоки ПММА                       | Спецификации изготовителя или 88 мГр/мин (нормальный режим)<br>176 мГр/мин (режим высокой мощности дозы) | 1 раз в год                         | [5, 6, 8, 9, 11] |
| 3.2.5  | Мощность ESAK на приемнике изображения | Ионизационная камера или твердотельный детектор, блок Al 25 мм, пластины Cu       | 0,2–1 мкГр/с (с Al,<br>70–80 кВ)<br>$\pm 25\%$ от исходного значения                                     | 1 раз в год                         | [4, 7]           |
| 3.2.6  | Калибровка измерителя ПКП              | Твердотельный детектор или ионизационная камера, пластина или пленка, пластина Pb | Автономные измерители ПКП:<br>$\pm 25\%$<br>В других случаях: $\pm 35\%$                                 |                                     |                  |
| 3.2.7  | Излучение утки                         | Дозиметр, лист Pb   | 1 мГр/ч  | При приемке и по мере необходимости | [13]             |
| 3.2.8  | Рассеянное излучение                   | Дозиметр, водный фантом или ПММА  | $\pm 50\%$ от исходного значения   | 1 раз в год                         | [14]             |

ТАБЛИЦА 8. СВОДНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ТЕСТОВ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА (продолжение)

| Раздел   | Наименование   | Оборудование   | Допуски   | Периодичность  | Ссылка  |
|--|--|--|---|----------------|---------|
| 3.2.9  | Качество изображения в режиме рентгеноскопии   | Низкоконтрастные вставки, сетка/решетка, тестовый шаблон с пространственным разрежением, медный ступенчатый клин | Отсутствие изменений по сравнению с исходными значениями<br>Отсутствие артефактов   | 1 раз в год    | [4, 15] |
| 3.2.10   | Качество изображений в режиме цифровой субтракционной ангиографии  | Фантом   | Отсутствие изменений по сравнению с исходными значениями<br>Отсутствие артефактов<br>Отсутствие логарифмической ошибки (только усилители) | 1 раз в год    | [17]    |
| Маммография — тесты КК, выполняемые рентгенологами |  |  |   |                |         |
| 4.1.1  | Однородность на приемнике изображения — тест, проводимый 1 раз в неделю (только компьютерная рентгенография и цифровая рентгенография) | Блоки ПММА (толщиной 45 мм) или фантом изготовителя  | $\pm 15\%$ от MPV на всем снимке  | 1 раз в неделю | [18]    |

ТАБЛИЦА 8. СВОДНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ТЕСТОВ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА (продолжение)

| Раздел  | Наименование                                    | Оборудование  | Допуски   | Периодичность  | Ссылка |
|---|---|---|---|----------------|--------|
| 4.1.2   | Субъективная оценка качества изображения        | Фантом, имитирующий молочную железу, исходное изображение фантома | Значение МА·с: $\pm 10\%$<br>Отсутствие значительного ухудшения изображения<br>Отсутствие измененного шума<br>Отсутствие артефактов<br>Отсутствие ярких/темных пикселей | 1 раз в неделю | [18]   |
| Маммография — тесты КК, выполняемые медицинскими физиками |   |   |   |                |        |
| 4.2.1   | Усилие компрессии и точность индикатора толщины | Весы, полотенца или блоки из пористой резины, блоки ПММА          | Максимальная автоматическая компрессия: 150–200 Н<br>Максимальное ручное усилие: 300 Н<br>Точность дисплея: $\pm 20$ Н<br>Толщина: $\pm 8$ мм от толщины блока          | 1 раз в год    | [18]   |

ТАБЛИЦА 8. СВОДНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ТЕСТОВ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА (продолжение)

| Раздел | Наименование   | Оборудование   | Допуски  | Периодичность                           | Ссылка      |
|--------|--|--|--|---|-------------|
| 4.2.2  | Центрирование детектора, совмещение поля рентгеновского излучения с площадью детектора | Пластина для компьютерной рентгенографии или самопроявляющаяся пленка, рентгено-непрозрачные инструменты, люминофорные полоски, металлическая фольга, блоки ПММА | Отсутствие ткани на стороне грудной стенки: $\pm 5$ мм<br>В других случаях: см. раздел 4.2.2.5 | 1 раз в год и после обслуживания/замены | [18, 19]    |
| 4.2.3  | Мощность рентгеновской трубки  | Твердотельный детектор или ионизационная камера, металлическая пластина  | Отсутствуют  | 1 раз в год                             | [4, 18, 20] |
| 4.2.4  | Слой половинного ослабления  | Ионизационная камера, мерная лента, алюминиевые фильтры, металлическая пластина  | См. ур-ние (5)   | 1 раз в год                             | [9, 18]     |

ТАБЛИЦА 8. СВОДНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ТЕСТОВ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА (продолжение)

| Раздел | Наименование                                      | Оборудование  | Допуски   | Периодичность     | Ссылка       |
|--------|---|---|---|-------------------|--------------|
| 4.2.5  | Система АКЭ — воспроизводимость                   | Блоки ПММА (толщиной 45 мм), пластина Al (толщиной 0,2 см), ионизационная камера (для пленочно-экранных систем) | Компьютерная рентгенография и цифровая рентгенография: $\pm 5\%$ KV для SDNR<br>Пленочно-экранные системы: $\pm 5\%$ от падающей воздушной кермы              | 1 раз в 6 месяцев | [18, 20, 21] |
| 4.2.6  | Система АКЭ — компенсация толщины молочной железы | Блоки ПММА, алюминисевый лист, денситометр (для пленочно-экранных систем)                                       | См. таблицу 3   | 1 раз в год       | [18, 20–22]  |
| 4.2.7  | Система АКЭ — согласованность между датчиками     | Блоки ПММА, пластина Al, ионизационная камера (для пленочно-экранных систем)                                    | Компьютерная рентгенография и цифровая рентгенография: SDNR $\pm 5\%$ от среднего значения<br>Пленочно-экранные системы: OD = $\pm 0,20$ от среднего значения | 1 раз в 6 месяцев | [18, 21]     |

ТАБЛИЦА 8. СВОДНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ТЕСТОВ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА (продолжение)

| Раздел | Наименование   | Оборудование  | Допуски   | Периодичность | Ссылка   |
|--------|--|---|---|---------------|----------|
| 4.2.8  | Срабатывание защитного таймера системы АКЭ   | Металлическая пластина, ионизационная камера или твердотельный детектор (при необходимости) | Отсутствие изменений  | При приемке   | [18, 21] |
| 4.2.9  | Оценка функции отклика и шума (только компьютерная рентгенография и цифровая рентгенография)   | Блоки ПММА (толщиной 45 мм)   | См. раздел 4.2.9.5  | 1 раз в год   | [18, 20] |
| 4.2.10 | Однородность на приемнике изображения — тест, проводимый 1 раз в году (только компьютерная рентгенография и цифровая рентгенография) | Блоки ПММА (толщиной 45 мм)   | Локальная однородность: $\pm 5\%$<br>Общая однородность: $\pm 10\%$<br>(только цифровая рентгенография) | 1 раз в год   | [20, 21] |



ТАБЛИЦА 8. СВОДНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ТЕСТОВ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА (продолжение)

| Раздел | Наименование   | Оборудование  | Допуски  | Периодичность                        | Ссылка   |
|--------|--|---|--|--------------------------------------|----------|
| 4.2.11 | Пространственное разрешение  | Металлический аттенуатор с прямой кромкой, инструмент для определения разрешения в парах линий (для пленочно-экранных систем), блоки ПММА (толщиной 45 мм), программное обеспечение | См. раздел 4.2.11.5  | 1 раз в год                          | [18, 21] |
| 4.2.12 | Появление ложных контуров (только компьютерная рентгенография и цифровая рентгенография) | Блоки ПММА (толщиной 45 мм)   | Ложный контур, SDNR $\leq 2,0$   | 1 раз в год и после замены детектора | [18]     |
| 4.2.13 | Согласование чувствительности пластин для компьютерной рентгенографии                    | Блоки ПММА (толщиной 45 мм)   | MPV, SNR, экспозиционный индекс: $\pm 15\%$ от среднего значения и $\pm 20\%$ от соответствующих значений референсного изображения | 1 раз в год и в случае новых кассет  | [18, 20] |

ТАБЛИЦА 8. СВОДНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ТЕСТОВ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА (продолжение)

| Раздел   | Наименование   | Оборудование   | Допуски       | Периодичность     | Ссылка       |
|--|--|--|---------------|-------------------|--------------|
| 4.2.14   | Средняя доза на молочную железу                        | Блоки ПММА, дистанцирующие элементы, ионизационная камера или твердотельный детектор | См. таблицу 4 | 1 раз в год       | [18, 20, 21] |
| 4.2.15   | Субъективная оценка качества изображения               | Фантом с низко-контрастными объектами, исходное изображение фантома                  | Отсутствуют   | 1 раз в год       | [18, 20, 22] |
| Компьютерная томография — тесты КК, выполняемые рентгенологами |  |  |               |                   |              |
| 5.1.1  | Ежедневная процедура запуска                           |  |               | 1 раз в день      | [23]         |
| 5.1.2  | Лазерные лучи центрирования в КТ                       | Устройство для тестирования в соответствии с разделом 5.2.7                          | ±5 мм         | 1 раз в месяц     | [23]         |
| 5.1.3  | Точность сканирующей проекционной рентгенографии (SPR) | Тест-объект  | ±2 мм         | 1 раз в 6 месяцев | [23]         |

ТАБЛИЦА 8. СВОДНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ТЕСТОВ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА (продолжение)

| Раздел  | Наименование  | Оборудование  | Допуски  | Периодичность  | Ссылка   |
|---|---|---------------|--|--|----------|
| 5.1.4   | Точность числа КТ-единиц, шум на изображении, однородность изображения и артефакты на изображении | Водной фантом | Число КТ-единиц: $\pm 5$ HU от исходного значения (вода)<br>Шум: $\pm 25\%$ от исходного значения<br>Однородность: $\pm 10$ HU (вода)<br>Отсутствие артефактов | 1 раз в 6 месяцев (точность числа КТ-единиц), 1 раз в неделю (другие характеристики) | [23, 24] |
| 5.1.5   | Точность измеренных размеров  | Тест-объект   | $\pm 2\%$ от номинального значения   | 1 раз в 3 месяца   | [4, 12]  |
| Компьютерная томография — тесты КК, выполняемые медицинскими физиками |   |               |  |  |          |
| 5.2.1   | Точность числа КТ-единиц, шум на изображении, однородность изображения и артефакты на изображении | Тест-объект   | Число КТ-единиц: $\pm 5$ HU от исходного значения (вода)<br>Шум: $\pm 25\%$ от исходного значения<br>Однородность: $\pm 10$ HU (вода)<br>Отсутствие артефактов | 1 раз в 6 месяцев  | [23, 24] |

ТАБЛИЦА 8. СВОДНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ТЕСТОВ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА (продолжение)

| Раздел | Наименование                                  | Оборудование  | Допуски  | Периодичность                           | Ссылка   |
|--------|---|---|--|---|----------|
| 5.2.2  | Линейность                                    | Тест-объект   | Вода: $\pm 4$ HU от исходного значения<br>Другие материалы: $\pm 10$ HU от исходного значения<br>Лучевая терапия, другие материалы: $\pm 20$ HU от референсного значения | 1 раз в год                             |          |
| 5.2.3  | Выявляемость деталей при низкой контрастности | Тест-объект   | См. раздел 5.2.3.5   | 1 раз в год и при обнаружении изменений | [23, 24] |
| 5.2.4  | Ширина рентгеновского пучка                   | Тест-объект   | Больше $\pm 3$ мм или $\pm 30\%$ от общей номинальной ширины коллимированного пучка  | 1 раз в год и при обнаружении изменений | [23, 24] |
| 5.2.5  | Ширина реконструированного среза изображения  | Тест-объект   | Таблица 5  | 1 раз в год и при обнаружении изменений | [23]     |
| 5.2.6  | Пространственное разрешение                   | Тест-объект для ФПМ, программное обеспечение или «бар-фантом» (альтернативно) | Спецификации изготовителя  | При приемке и при обнаружении изменений | [23]     |

ТАБЛИЦА 8. СВОДНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ТЕСТОВ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА (продолжение)

| Раздел  | Наименование                                  | Оборудование  | Допуски  | Периодичность                             | Ссылка       |
|---|---|---|--|---|--------------|
| 5.2.7   | Дозиметрия КТ                                 | Ионизационная камера карандашного типа, фантом для измерения CTDI | $C_{\text{vol}}: \pm 20\%$ от исходного значения<br>$C_{\text{air}}: \pm 20\%$ от исходного значения | 1 раз в год и при обнаружении изменений   | [23–27]      |
| Общие аспекты методов, используемых в лучевой диагностике — тесты КК, выполняемые рентгенологами        |   |   |  |   |              |
| 6.1.1   | Рутинная проверка видеодисплейного устройства | Тестовый шаблон ААРМ TG18-QC                                      | Соседние ступени различимы<br>Видны все низкоконтрастные накладки                                    | 1 раз в месяц                             | [23]         |
| 6.1.2   | Оценка уровня отбраковки                      | Таблицы и журналы   | $< 8\%$<br>$< 5\%$ для педиагрии   | 1 раз в<br>1–3 месяца                     | [29]         |
| 6.1.3   | Визуальный осмотр рабочего места              | Термометр, контрольный список                                     | См. раздел 6.1.3.5   | 1 раз в месяц и при обнаружении изменений | [18, 23]     |
| Общие аспекты методов, используемых в лучевой диагностике — тесты КК, выполняемые медицинскими физиками |   |   |  |   |              |
| 6.2.1   | Видеодисплейные системы                       | Тестовый шаблон ААРМ TG18-QC                                      | См. таблицу 7  | 1 раз в год                               | [23, 24, 31] |

ТАБЛИЦА 8. СВОДНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ТЕСТОВ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА (продолжение)

| Раздел   | Наименование  | Оборудование  | Допуски   | Периодичность                             | Ссылка      |
|--|---|---|---|---|-------------|
| Пленочно-экранные системы — тесты КК, выполняемые рентгенологами |   |   |   |   |             |
| 7.1.1  | Температура системы обработки пленки                | Цифровой термометр (откалиброванный)                          | $\pm 1,0^{\circ}\text{C}$   | 1 раз в день                              | [4, 22, 33] |
| 7.1.2  | Основа плюс вуаль, чувствительность и контрастность | Сенситометр, денситометр                                      | OD = $\pm 0,15$ для пленок общего назначения<br>OD = $\pm 0,10$ для маммографии<br>OD = $+0,03$ для основы плюс вуаль | 1 раз в день                              | [22]        |
| 7.1.3  | Измерение pH фиксажа                                | Индикаторная тест-полоска для определения pH и цветовая шкала | Спецификация изготовителя   | 1 раз в месяц                             | [4, 33]     |
| 7.1.4  | Техническое обслуживание и визуальный осмотр кассет | Маркерные фломастеры, наклейки, чистящий раствор, тампоны     | Светонепроницаемость<br>Отсутствие дефектов   | 1 раз в 6 месяцев и по мере необходимости | [4, 33]     |
| 7.1.5  | Техническое обслуживание экранов                    | Чистящий раствор, тряпка, щетка                               | Отсутствие артефактов   | 1 раз в неделю и по мере необходимости    | [4, 22, 33] |

ТАБЛИЦА 8. СВОДНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ТЕСТОВ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА (продолжение)

| Раздел | Наименование   | Оборудование                            | Допуски  | Периодичность                             | Ссылка  |
|--------|--|---|--|---|---------|
| 7.1.6  | Светонепроницаемость кассет                                | Негатоскоп, денситометр                 | Отсутствие вуали                                       | 1 раз в 6 месяцев и по мере необходимости | [4, 33] |
| 7.1.7  | Контакт пленки с экраном                                   | Тест-объект из металлической сетки      | Отсутствие артефактов                                  | 1 раз в 6 месяцев                         | [4, 33] |
| 7.1.8  | Светонепроницаемость и безопасное освещение темной комнаты | Пленки, картонная коробка, монеты, часы | Отсутствие видимых теней                               | 1 раз в 6 месяцев и по мере необходимости | [4, 33] |
| 7.1.9  | Рентгеновский негатоскоп                                   | Фотомер                                 | $\pm 20\%$ от среднего значения<br>Отсутствие мерцания | 1 раз в 3 месяца                          | [4, 33] |

**Примечание.** АКЭ — автоматический контроль экспозиции; KB — коэффициент вариации; KK — контроль качества; КТ — компьютерная томография; МЭК — Международная электротехническая комиссия; ПКП — производство кермы на площадь; ПММА — полиметилметакрилат; АЕРС — автоматическое управление мощностью экспозиционной дозы;  $C_{vol}$  — объемный CTDI;  $C_{air}$  — CTDI, измеренный в воздухе; STDI — компьютерно-томографический индекс дозы; МРУ — среднее значение пикселя; SDNR — отношение разности сигналов к шуму; SID — расстояние от источника до приемника изображения;  $t$  — время экспозиции;  $Y$  — радиационный выход.





## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- [1] АГЕНТСТВО ПО ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГИИ ОЭСР, ВСЕМИРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ, ЕВРОПЕЙСКАЯ КОМИССИЯ, МЕЖДУНАРОДНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ТРУДА, МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, ПАНАМЕРИКАНСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ, ПРОГРАММА ОРГАНИЗАЦИИ ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ ПО ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ, ПРОДОВОЛЬСТВЕННАЯ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ, Радиационная защита и безопасность источников излучения: международные основные нормы безопасности, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № GSR Part 3, МАГАТЭ, Вена (2015).
- [2] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Comprehensive Clinical Audits of Diagnostic Radiology Practices: A Tool for Quality Improvement, IAEA Human Health Series No. 4, IAEA, Vienna (2010).
- [3] WORLD HEALTH ORGANIZATION, Quality Assurance in Diagnostic Radiology, WHO, Geneva (1982).
- [4] INSTITUTE OF PHYSICS AND ENGINEERING IN MEDICINE, Recommended Standards for the Routine Performance Testing of Diagnostic X-ray Imaging Systems, IPEM Report 91, IPEM, York (2005).
- [5] AMERICAN ASSOCIATION OF PHYSICISTS IN MEDICINE, Quality Control in Diagnostic Radiology, AAPM Report No. 74, AAPM, New York (2002).
- [6] EUROPEAN COMMISSION, Criteria for Acceptability of Medical Radiological Equipment Used in Diagnostic Radiology, Nuclear Medicine and Radiotherapy, Radiation Protection No. 162, EC, Luxembourg (2013).
- [7] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, Evaluation and Routine Testing in Medical Imaging Departments — Part 3-1: Acceptance Tests — Imaging Performance of X-ray Equipment for Radiographic and Radioscopic Systems, IEC 61223-3-1, IEC, Geneva (1999).
- [8] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, Medical Electrical Equipment — Part 1-3: General Requirements for Basic Safety and Essential Performance — Collateral Standard: Radiation Protection in Diagnostic X-ray Equipment, IEC 60601-1-3, IEC, Geneva (2008).
- [9] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Dosimetry in Diagnostic Radiology: An International Code of Practice, Technical Report Series No. 457, IAEA, Vienna (2007).
- [10] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, Medical Electrical Equipment — Dose Area Product Meters, IEC 60580, IEC, Geneva (2019).
- [11] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, Medical Electrical Equipment — Part 2-54: Particular Requirements for the Basic Safety and Essential Performance of X-ray Equipment for Radiography and Radioscopy, IEC 60601-2-54, IEC, Geneva (2009).

- [12] INSTITUTE OF PHYSICS AND ENGINEERING IN MEDICINE, Measurement of the Performance Characteristics of Diagnostic X-ray Systems: Digital Imaging Systems, IPEM Report 32 (VII), IPEM, York (2010).
- [13] EUROPEAN COMMISSION, Criteria for Acceptability of Radiological (Including Radiotherapy) and Nuclear Medicine Installations, Radiation Protection No. 91, EC, Luxembourg (1997).
- [14] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, Medical Electrical Equipment — Part 2-43: Particular Requirements for the safety of X-ray equipment for Interventional Procedures, IEC 60601-2-43, IEC, Geneva (2011).
- [15] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG, Image Quality Assurance in Diagnostic X-ray Departments — Part 4: Constancy Testing of Medical X-ray Equipment for Fluoroscopy, DIN 6868-4, DIN, Berlin (2007).
- [16] AMERICAN ASSOCIATION OF PHYSICISTS IN MEDICINE, Acceptance Testing and Quality Control of Photostimulable Phosphor Imaging Systems, Report No. 93, AAPM, College Park, MD (2006).
- [17] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, Evaluation and Routine Testing in Medical Imaging Departments — Part 3-3: Acceptance tests — Imaging Performance of X-ray Equipment for Digital Subtraction Angiography (DSA), IEC 61223-3-3, IEC, Geneva (2010).
- [18] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Quality Assurance Programme for Digital Mammography, IAEA Human Health Series No. 17, IAEA, Vienna (2011).
- [19] INSTITUTE OF PHYSICAL SCIENCES IN MEDICINE, The Commissioning and Routine Testing of Mammographic X-ray systems: A Protocol Produced by a Working Party of the Diagnostic Radiology Topic Group, Report No. 59, IPSM, York (1995).
- [20] EUROPEAN FEDERATION OF ORGANISATIONS FOR MEDICAL PHYSICS, Mammo Protocol, EFOMP, Utrecht (2015),  
<https://www.efomp.org/index.php?r=fc&id=protocols>
- [21] EUROPEAN COMMISSION, DIRECTORATE-GENERAL FOR HEALTH AND CONSUMERS, European Guidelines for Quality Assurance in Breast Cancer Screening and Diagnosis, 4th edn (VON KARSA, L., et al., Eds), EC, Luxembourg (2006).
- [22] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Quality Assurance Programme for Screen Film Mammography, IAEA Human Health Series No. 2, IAEA, Vienna (2009).
- [23] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Quality Assurance Programme for Computed Tomography: Diagnostic and Therapy Applications, IAEA Human Health Series No. 19, IAEA, Vienna (2012).
- [24] AMERICAN COLLEGE OF RADIOLOGY, Computed Tomography Quality Control Manual, ACR (2017),  
[https://www.acr.org/-/media/ACR/Files/Clinical-Resources/QC-Manuals/CT\\_QCManual.pdf](https://www.acr.org/-/media/ACR/Files/Clinical-Resources/QC-Manuals/CT_QCManual.pdf)
- [25] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, Medical Electrical Equipment — Part 2-44: Particular Requirements for the Basic Safety and Essential Performance of X-ray Equipment for Computed Tomography, IEC 60601-2-44, IEC, Geneva (2009).

- [26] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, Medical Electrical Equipment — Dosimeters with Ionization Chambers and/or Semiconductor Detectors as Used in X-ray Diagnostic Imaging, IEC 61674, IEC, Geneva (2012).
- [27] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Status of Computed Tomography Dosimetry for Wide Cone Beam Scanners, IAEA Human Health Reports No. 5, IAEA, Vienna (2011).
- [28] SAMEI, E., et al., Assessment of display performance for medical imaging systems: Executive summary of AAPM TG18 report, *Med. Phys.* **32** (2005) 1205–1225.
- [29] JONES, A.K., Ongoing quality control in digital radiography: Report of AAPM Imaging Physics Committee Task Group 151, *Med. Phys.* **42** (11), American Association of Physicists in Medicine, Alexandria (2015).
- [30] BEVINS, N.B., et al., Display Quality assurance – The Report of AAPM Task Group 270, AAPM Report No. 270, American Association of Physicists in Medicine, Alexandria (2019),  
[https://www.aapm.org/pubs/reports/RPT\\_270.pdf](https://www.aapm.org/pubs/reports/RPT_270.pdf)
- [31] AMERICAN COLLEGE OF RADIOLOGY, AMERICAN ASSOCIATION OF PHYSICISTS IN MEDICINE, SOCIETY FOR IMAGING INFORMATICS IN MEDICINE, ACR–AAPM–SIIM Technical Standard for Electronic Practice of Medical Imaging, ACR (2017),  
<https://www.acr.org/-/media/ACR/Files/Practice-Parameters/elec-practice-medimag.pdf>
- [32] GRESS, D.A., et al., AAPM medical physics practice guideline 6.a.: Performance characteristics of radiation dose index monitoring systems, *J. Appl. Clin. Med. Phys.* **18** (2017) 12–22.
- [33] FINCH, A., BURY, R., WORKMAN, A., Assurance of Quality in the Diagnostic Imaging Department: Prepared by the Quality Assurance Working Group of the Radiation Protection Committee of the British Institute of Radiology, 2nd edn, British Institute of Radiology, London (2001).



## СОКРАЩЕНИЯ

|      |   |
|------|---|
| АКЭ  | автоматический контроль экспозиции  |
| АМР  | автоматизированное рабочее место (рабочая станция)  |
| КВ   | коэффициент вариации  |
| КТ   | компьютерная томография   |
| КК   | контроль качества   |
| МОРТ | Международное общество рентгенологов и<br>техников-радиологов (ISRRТ)   |
| МЭК  | Международная электротехническая комиссия   |
| ОК   | обеспечение качества  |
| ОИ   | область интереса  |
| ПЗ   | поле зрения   |
| ПКП  | произведение кермы на площадь   |
| ПММА | полиметилметакрилат   |
| СПО  | слой половинного ослабления   |
| ФПМ  | функция передачи модуляции  |
| AERC | автоматическое управление мощностью экспозиционной<br>дозы (соответствует автоматическому управлению<br>яркостью) |
| CTDI | компьютерно-томографический индекс дозы   |
| DMS  | программное обеспечение для управления дозой  |
| ESAK | мощность воздушной кермы на входной поверхности   |
| MGD  | средняя доза в молочной железе  |
| MPV  | среднее значение пикселя  |
| SDNR | отношение разности сигналов к шуму  |
| SID  | расстояние от источника до приемника изображения  |
| SNR  | отношение сигнал-шум  |
| SPR  | сканирующая проекционная рентгенография   |



## СОСТАВИТЕЛИ И РЕЦЕНЗЕНТЫ

|                   |  |
|-------------------|--|
| Arreola, M.       | Флоридский университет, Соединенные Штаты Америки  |
| Brambilla, M.     | Azienda Ospedaliero-Universitaria Maggiore della Carità (Университетская больница «Maggiore della Carità»), Италия |
| Burinskiene, V.   | Клиника Каунасского медицинского университета, Литва   |
| Ciraj-Bjelac, O.  | Международное агентство по атомной энергии   |
| Coskun, N.        | Государственная больница города Манисы, Турция   |
| Delis, H.         | Международное агентство по атомной энергии   |
| Elek, R.          | Национальный центр здравоохранения, Венгрия  |
| Faj, D.           | Университет им. Й. Ю. Штрессмайера, Хорватия   |
| Faulkner, K.      | Управление общественного здравоохранения Англии, Соединенное Королевство   |
| Gazdic-Santic, M. | Клинический центр города Сараево, Босния и Герцеговина   |
| Gershan, V.       | Университет имени св. Кирилла и Мефодия, Северная Македония  |
| Giannos, A.       | Банк кипрского онкологического центра, Кипр  |
| Gingold, E.L.     | Университет Томаса Джефферсона, Соединенные Штаты Америки  |
| Ivanovic, S.      | Клинический центр Черногории, Черногория   |
| Kalathaki, M.     | Греческая комиссия по атомной энергии, Греция  |
| Kaplanis, P.A.    | Министерство здравоохранения, Кипр   |
| Katsifarakis, D.  | Международное общество рентгенологов и техников-радиологов, Греция   |

|                       |  |
|-----------------------|--|
| Kishta, D.            | Университетский госпитальный центр «Мать Тереза», Албания                      |
| Kjakste, I.           | Вторая больница города Риги, Латвия  |
| Kostova-Lefterova, D. | Национальный центр радиобиологии и радиационной защиты, Болгария               |
| Крылова, Т.А.         | Российский онкологический научный центр, Российская Федерация                  |
| Mirkov, Z.            | Сербский институт гигиены труда, Сербия  |
| Porubszky, T.         | Национальный центр здравоохранения, Венгрия                                    |
| Ribeiro, T.N.R.       | Северный госпитальный центр города Лиссабона, Португалия                       |
| Ruuge, P.             | Восточно-Таллинская центральная больница, Эстония                              |
| Tsapaki, V.           | Международное агентство по атомной энергии                                     |
| Tsitovich, Y.         | Научно-исследовательский институт онкологии и медицинской радиологии, Беларусь |
| Vassileva, J.         | Международное агентство по атомной энергии                                     |
| Whitley, A.S.         | Международное общество рентгенологов и техников-радиологов, Греция             |

#### **Совещания консультантов**

Вена, Австрия: 18–22 апреля 2016 года, 12–16 июня 2017 года





# IAEA

Международное агентство по атомной энергии

№ 26

## ЗАКАЗ В СТРАНАХ

Платные публикации МАГАТЭ могут быть приобретены у перечисленных ниже поставщиков или в крупных книжных магазинах.

Заказы на бесплатные публикации следует направлять непосредственно в МАГАТЭ. Контактная информация приводится в конце настоящего перечня

### СЕВЕРНАЯ АМЕРИКА

#### ***Bernan / Rowman & Littlefield***

15250 NBN Way, Blue Ridge Summit, PA 17214, USA

Тел.: +1 800 462 6420 • Факс: +1 800 338 4550

Эл.почта: [orders@rowman.com](mailto:orders@rowman.com) • Сайт: <http://www.rowman.com/bernan>

### ОСТАЛЬНЫЕ СТРАНЫ

Просьба связаться с местным поставщиком по вашему выбору или с вашим основным дистрибьютером:

#### ***Eurospan Group***

Gray's Inn House

127 Clerkenwell Road

London EC1R 5DB

United Kingdom

#### ***Торговые заказы и справочная информация:***

Тел: +44 (0) 1767604972 • Факс: +44 (0) 1767601640

Эл.почта: [eurospan@turpin-distribution.com](mailto:eurospan@turpin-distribution.com)

#### ***Индивидуальные заказы:***

[www.eurospanbookstore.com/iaea](http://www.eurospanbookstore.com/iaea)

#### ***Дополнительная информация:***

Тел: +44 (0) 2072400856 • Факс: +44 (0) 2073790609

Эл.почта: [info@eurospangroup.com](mailto:info@eurospangroup.com) • Сайт: [www.eurospangroup.com](http://www.eurospangroup.com)

### **Заказы на платные и бесплатные публикации можно направлять напрямую по адресу:**

Группа маркетинга и сбыта (Marketing and Sales Unit)

Международное агентство по атомной энергии

Vienna International Centre, PO Box 100, 1400 Vienna, Austria

Телефон: +43 1 2600 22529 или 22530 • Факс: +43 1 26007 22529

Эл.почта: [sales.publications@iaea.org](mailto:sales.publications@iaea.org) • Сайт: <https://www.iaea.org/ru/publikacii>





В последние десятилетия медицинские рентгеновские технологии бурно развивались и происходил последовательный переход от аналоговой рентгенологии к цифровой, от односрезовой компьютерной томографии к многодетекторной компьютерной томографии и от рентгеноскопии к сложным ангиографическим системам. Эти технологии, однако, сопряжены с сопутствующим радиационным риском для пациентов и персонала. Поэтому для обеспечения точности и безопасного использования комплекса рентгеновского оборудования чрезвычайно важно контролировать эффективность его работы. Контроль качества (КК) представляет собой базовый уровень управления безопасностью и качеством в рентгенодиагностике. В настоящей публикации обобщены описанные в литературе тесты КК для всех рентгеновских методов. В целях облегчения пользования настоящим справочником для него были разработаны электронные таблицы и видеуроки, призванные служить подспорьем в проведении тестов.

## **СЕРИЯ ИЗДАНИЙ МАГАТЭ ПО ЗДОРОВЬЮ ЧЕЛОВЕКА**