

## Оптимизация рентгенографического процесса

Ф.Г. Горелик

ФГУ «ВНИИИМТ», г. Москва

Рентгенографическое исследование, использующее в качестве носителя информации рентгенографическую пленку, применяется многие годы. И хотя на смену этому методу пришли многочисленные более современные исследования, обычная рентгенография и в настоящее время применяется широко и повсеместно, и, конечно, так будет и в будущем.

**Цель работы.** Показать, от чего в рентгенографической системе зависит качество получаемого изображения и что должен делать рентгенолаборант, чтобы добиться большей диагностической информации.

В первую очередь рассмотрим параметры рентгенографического изображения, которыми можно характеризовать его информативность. Они могут быть разбиты на несколько категорий:

1) геометрические параметры, определяющие возможность системы воспроизводить объект без искажения формы органов и их размера;

2) контраст изображения, определяемый способностью системы передавать контраст, заложенный в объекте;

3) разрешение, определяющее возможность системы обеспечивать передачу мелких деталей и резкость изображения;

4) динамический диапазон, показывающий рабочий интервал ионизирующего излучения, в котором рентгенографическая система обеспечивает необходимую информацию;

5) инерционность, показывающая насколько рентгенографическая система обеспечивает возможность исключения потери информации из-за движения объекта.

При этом безусловный интерес представляет еще один параметр рентгенографической системы — ее чувствительность. Чувствительность системы определяет величину дозы, при которой могут быть достигнуты оптимальные

диагностические возможности изображения. Поскольку человеческий организм небезразличен к ионизирующему излучению, вопрос о необходимости снижения лучевой нагрузки на пациента становится часто определяющим при оценке рентгенографической системы.

Опишем основные устройства, входящие в систему получения рентгенографических изображений. Они могут быть разбиты на 3 группы:

а) группа устройств формирования рентгеновского излучения (рентгеновский аппарат, штативы, отсеивающая решетка);

б) группа приемника излучения (рентгенографическая кассета, усиливающие экраны, пленка);

в) группа устройств обработки пленки (проявочные устройства, автоматические проявочные машины, химические реагенты). Отдельно входящим в систему элементом следует считать объект, поскольку исследуемые в нем органы отличаются столь разительно, что требуют различных условий, а следовательно, и различных устройств, и условий работы для получения необходимых результатов.

Ниже изложены условия, которые необходимо соблюдать при формировании рентгеновского излучения, чтобы получить информативное диагностическое изображение.

Для обеспечения точной передачи формы и размера снимаемого объекта он должен располагаться как можно ближе к приемнику излучения, рентгеновская трубка должна быть параллельна приемнику излучения, зона интереса снимаемого объекта расположена параллельно приемнику излучения.

Качество обеспечиваемого системой изображения существенно зависит от экспозиционных факторов, таких, как количество (мАс) и спектр излучения, расстояние до приемника излучения (фокусное расстояние). Увеличение или уменьшение мАс или фокусного расстоя-

ния позволяет подбирать количество рентгеновского излучения (дозу) для получения необходимой плотности почернения пленки без изменения контраста объекта. Причем между мАс и величиной дозы существует линейная зависимость, в то время как фокусное расстояние и доза связаны законом обратных квадратов, и для увеличения дозы в 4 раза фокусное расстояние должно быть изменено в 2 раза. В практических условиях фокусное расстояние обычно постоянно, а изменения интенсивности потока добиваются либо изменением мАс либо напряжения на рентгеновской трубке. Однако в случае последнего меняется спектр рентгеновского излучения, что приводит к изменению контраста объекта и, как следствие, к изменению контраста изображения. Например, чем выше напряжение на трубке, тем ниже контраст объекта, и, следовательно, для малоконтрастных объектов целесообразно повышать напряжение. Изменить спектр излучения в сторону его ужесточения можно также с помощью дополнительной фильтрации рентгеновского пучка.

Другим фактором, ухудшающим контраст получаемого изображения, является рассеянное излучение в объекте исследования. Для уменьшения последнего следует использовать диафрагмирующие устройства, отсеивающие растры, компрессию.

При диафрагмировании следует пользоваться основным правилом: первичный пучок излучения всегда должен быть сформирован по размерам снимаемого объекта. При пользовании растром следует учитывать, что он должен быть подобран в соответствии с используемым фокусным расстоянием.

Время экспозиции при использовании подвижного раstra должно быть таким, чтобы растр сместился на достаточное расстояние, тогда можно избежать полосчатости на изображении. Кроме того, должна быть исключена вибрация решетки, в которой растр движется, так как это может увеличивать нерезкость. Наличие решетки с растром приводит к увеличению расстояния объект—пленка, что несколько увеличивает геометрическую нерезкость и размер изображения. Кроме того, использование решетки повышает входную рабочую дозу. Однако выигрыш в качестве изображения, благодаря ее использованию, таков, что выше-названными недостатками обычно пренебрегают.

Другой способ улучшения качества изображения — компрессия. Компрессия (сдавлива-

ние) какой-либо части тела, например живота у полного пациента, обеспечивает увеличение контраста объекта за счет уменьшения в нем рассеянного излучения, уменьшение инерционности за счет уменьшения подвижности сжимаемой части тела, уменьшение геометрической нерезкости за счет приближения объекта к приемнику излучения и снижение дозы облучения пациента благодаря более тонкому слою сдавленной ткани.

Для уменьшения нерезкости получаемого изображения и возможности передачи мелких деталей при формировании первичного пучка рентгеновского излучения должны выбираться минимально возможный размер фокусного пятна рентгеновской трубки и максимально возможное фокусное расстояние, особенно когда исследуются мелкоструктурные детали (например, конечности).

При съемке объекта для уменьшения влияния на качество изображения инерционности необходимо принимать меры для ограничения произвольных и непроизвольных движений объекта и максимально снижать время экспозиции.

Вторая группа устройств, входящая в рентгенографический комплекс и определяющая его возможности, — это устройства, объединенные под названием “приемник излучения”. Применяемые приемники излучения должны подбираться оптимальными для различных видов исследования, обеспечивая высокую диагностическую информативность при минимально возможных рабочих дозах.

Рентгенографический приемник излучения предназначен для преобразования прошедшего объект и содержащего его теневого изображение рентгеновского излучения в изображение, зафиксированное на пленке.

Для этих целей может использоваться специальная рентгенографическая пленка прямого действия, как это делается, например, при рентгенографии зубов. Но при этом коэффициент преобразования излучения в полезный сигнал из-за очень высокой проникающей способности рентгеновского излучения составляет всего 1–2%. В результате для получения на пленке изображений необходимой плотности при исследовании других частей тела человека требуются входные дозы, недопустимые с точки зрения возможного облучения пациента.

Поэтому, несмотря на безусловные потери в качестве изображения, в обычной рентгенографии используется пленка, имеющая чувствительные слои к более длинноволново-

му излучению, а чтобы преобразовать рентгеновское излучение в излучение с необходимой длиной волны, в приемник излучения дополнительно включают специальные усиливающие экраны.

Рентгенографическая пленка представляет собой основу, на которую с 2 сторон нанесен чувствительный эмульсионный слой. Толщина основы в экранной и безэкранный пленке одинакова, но безэкранный пленка прямого экспонирования рентгеновским излучением содержит в эмульсии больше галоидного серебра и имеет большую толщину эмульсионных слоев. Экранная рентгенографическая пленка, работающая в комплекте с усиливающими экранами, имеет более тонкие эмульсионные слои. При взаимодействии рентгеновского излучения с люминесцентным слоем усиливающего экрана каждый рентгеновский фотон образует в кристалле люминофора тысячи световых фотонов, хорошо поглощаемых чувствительной эмульсией пленки. В результате экранная рентгенографическая пленка с усиливающими экранами позволяет получить по сравнению с безэкранный в 50–200 раз большую чувствительность.

Применение в рентгенографических комплектах усиливающих экранов позволяет не только уменьшить дозу облучения на пациентов и персонал, но и уменьшить время экспозиции, и тем самым уменьшить нерезкость из-за движения; уменьшить тепловую нагрузку на рентгеновскую трубку благодаря сокращению времени экспозиции и мАс; увеличить возможность варьирования кВ и, следовательно, улучшить контраст объекта; уменьшить размер фокусного пятна вследствие снижения нагрузки на рентгеновскую трубку и, соответственно, уменьшить геометрическую нерезкость и коэффициент увеличения изображения.

Усиливающий экран представляет собой картонную или пластиковую подложку, на которую нанесен люминесцентный слой из мелких кристаллов люминофора в связующем веществе. На его поверхность наносится защитный слой, облегчающий очистку экрана и предохраняющий его от царапин, влаги, пятен. Экраны имеют толщину эмульсионного слоя порядка 70–250 мкм, величина кристаллов люминофора обычно лежит в пределах 8–20 мкм.

**ВАЛТЕКС НТ**

*Наука и технологии*

представляет: Standard Imaging, USA

[www.standardimaging.com](http://www.standardimaging.com)

Мировой Лидер в области специализированного оборудования для контроля качества лучевой радиотерапии и диагностики.

Широкий спектр приборов для радиационных (рентген, гамма, электронный пучок) методов лечения: дозиметрия; брахитерапия; радиационная терапия с модуляцией интенсивности; радиотерапия, управляемая изображением; стереотактическая радиохирургия.

**Электронметры, нонные камеры, анализаторы пучка, программное обеспечение для подготовки и планирования лечения, фантомы и симуляторы воды.**

Детали можно найти на сайте фирмы: [www.standardimaging.com](http://www.standardimaging.com)

**[www.valtex.ru](http://www.valtex.ru) – это все что Вам надо знать для выбора импортного оборудования во всех областях науки и техники.**

**Тел.: (495) 960-28-37**

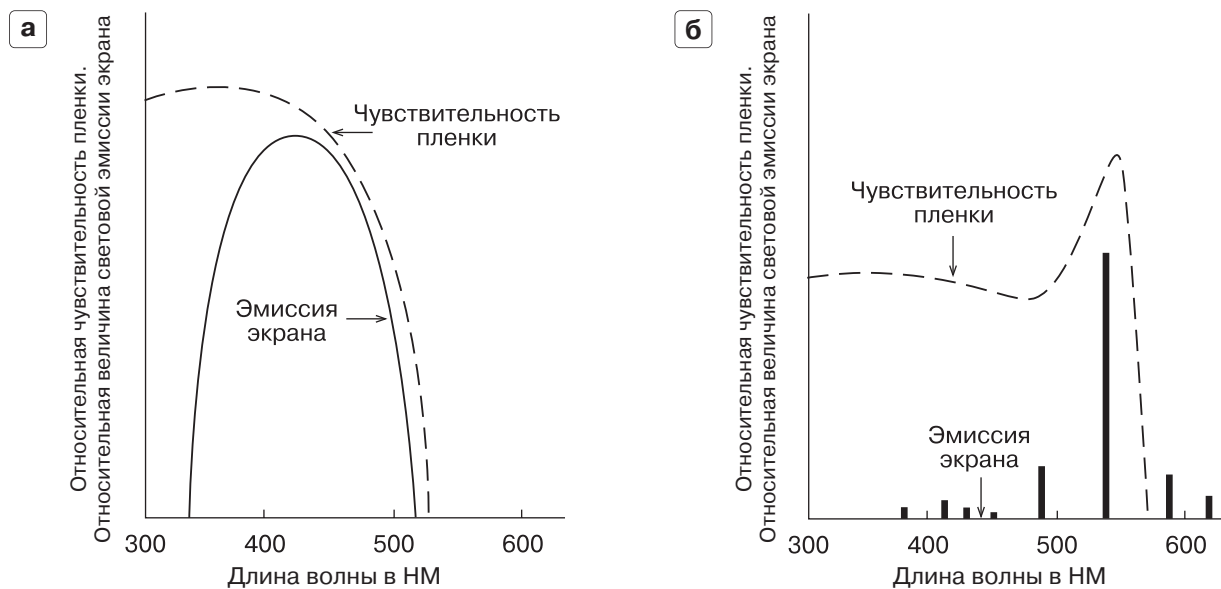


Рис. 1. Спектральные характеристики экранов и пленки: а – “синий” комплект; б – “зеленый” комплект.

От типа применяемого люминофора, его структуры, размеров частиц, технологии нанесения, толщины люминесцентного слоя зависят параметры усиливающих экранов и качество получаемого изображения. Люминофор, имеющий высокий атомный номер, имеет лучшую поглощающую способность, поэтому в последние годы нашли широкое применение редкоземельные люминофоры. Увеличение толщины слоя, а следовательно, и количества люминофора также увеличивает поглощение излучения и световой выход экрана, то есть его чувствительность. Но есть пределы, выше которых увеличивать толщину слоя нельзя из-за увеличения нерезкости. Если технология изготовления позволяет делать люминесцентный слой плотным, то влияние толщины слоя на нерезкость уменьшается. Чем тоньше структура люминофора, тем нерезкость изображения меньше, но при этом уменьшается и светоотдача экрана. Эти примеры показывают, что между параметрами экранов существуют антагонистические противоречия, между которыми надо искать компромисс и выбирать для исследований наиболее подходящий тип экранов: для мелкоструктурных объектов – экраны с малой нерезкостью (высокой разрешающей способностью), для больших плотных объектов – экраны с высокой чувствительностью.

Параметры экранов зависят не только от применяемого в них люминофора, но и от качества пучка излучения за объектом, так как поглощающая способность экранов зависит от

“жесткости” рентгеновского пучка, которая, в свою очередь, зависит от величины кВ и формы напряжения, фильтрации пучка, исследуемой части тела, рассеянного излучения, наличия решетки, влияния деки и крышки кассеты. Кроме того, различные типы люминофора по-разному реагируют на “жесткость” пучка. Среди них есть такие, которые, несмотря на уменьшение поглощения при низких напряжениях, имеют более высокую светоотдачу. К таким экранам относятся отечественные экраны типа ЭУ-ИЗ, поэтому их целесообразно использовать при низких кВ, особенно они перспективны при педиатрических исследованиях.

В ситуациях, когда необходимо обеспечить минимальную нерезкость изображения, как, например, при маммографии или съемке конечностей, можно рекомендовать комплект с одним “задним” усиливающим экраном и односторонней рентгеновской пленкой. В остальных случаях для рентгенографии обычно используются комплекты с 2 усиливающими экранами, расположенными перед и за двухсторонней рентгеновской пленкой, причем на “заднем” экране должно присутствовать соответствующее обозначение. “Передний” и “задний” экраны могут отличаться толщиной слоя, технологией изготовления и даже типом люминофора.

Тип используемого люминофора определяет также спектр излучения усиливающих экранов, а следовательно, и тип пленки, который с ними должен использоваться. Многие годы



применялись усиливающие экраны, работающие в синей области спектра. Для работы с ними хорошо подходят пленки с чувствительным слоем, изготовленным из эмульсии с галоидным серебром. В последние годы появились усиливающие экраны на основе редкоземельных элементов, максимум спектрального излучения которых сдвинут в зеленую область спектра. Для таких экранов разработана специализированная ортохроматическая пленка, чувствительность которой оптимальна в зеленой области спектра. И, хотя пленка остается чувствительной к синей и ультрафиолетовой части спектра, наилучший результат она дает с “зелеными” экранами.

На рис. 1 представлены кривые спектральной чувствительности пленки и спектрального излучения усиливающего экрана: а) “синий” комплект (экран на основе люминофора  $\text{CaWO}_4$ ); б) “зеленый” комплект (экран на основе люминофора  $\text{Gd}_2\text{O}_2\text{S}$ ).

Таким образом, при использовании рентгенографических комплектов надо не только учитывать, для каких исследований предназначены те или иные усиливающие экраны, но и следить, чтобы использовалась соответствующая им по спектральной чувствительности пленка.

Классификация усиливающих экранов обычно производится по чувствительности. Как правило, их делят на несколько категорий: низкочувствительные (обычно их обозначают как экраны высокого разрешения), средней чувствительности (универсальные, стандартные, общего назначения) и высокочувствительные.

На рынке медицинской техники присутствует большое количество рентгенографических комплектов, работающих как в “синей”, так и в “зеленой” области спектра. Среди них и других есть комплекты, использующие усиливающие экраны с очень высоким разрешением (на них обычно присутствует маркировка Fine), с высоким разрешением (Fast Detail), со средней чувствительностью (Medium и Regular) и сверхвысокой чувствительностью (Fast). Подобный ряд усиливающих экранов изготавливают практически все зарубежные фирмы, занимающиеся их производством.

**Таблица 1.** Параметры усиливающих экранов

Параметры	Fine	Fast Detail	Medium	Regular	Fast
Чувствительность, отн. ед.	1,0	2,0	2,5	3,5	5,0
Разрешающая способность, л/мм	18	14	12	9	6

Усредненные характеристики типичного ряда усиливающих экранов, работающих в “зеленой” области спектра с двухсторонней рентгенографической пленкой, приведены в табл. 1. За 1.0 принята чувствительность наиболее тонкого и мелкоструктурного усиливающего экрана.

В нашей стране выпускаются “зеленые” усиливающие экраны типа ЭУ-Г3 и ЭУ-Г4, которые по чувствительности находятся в диапазоне, соответствующем экранам Medium и Regular, уступая им несколько по разрешающей способности. Они имеют разрешающую способность 9 и 8 л/мм соответственно.

Оценивать возможности усиливающих экранов в рентгенографии можно, только рассматривая их в комплекте с рентгеновской пленкой, поскольку последняя также влияет как на чувствительность, так и на качество получаемого изображения. Но, прежде чем рассмотреть влияние параметров рентгеновской пленки и способов ее обработки на чувствительность рентгенографического комплекта и параметры качества изображения, следует сказать несколько слов о рентгенографических кассетах, которые делают возможным совместное применение в приемнике излучения усиливающих экранов и пленки, обеспечивая их тесный контакт друг с другом и защиту пленки от внешнего светового излучения.

Рентгенографическая кассета представляет собой металлический или пластиковый контейнер с открывающейся задней крышкой. Внешний вид рентгенографических кассет представлен на рис. 2. В кассете, предназначенной для работы с двухсторонней пленкой, на передней и задней крышках стационарно закрепляются усиливающие экраны, а в кассете, предназначенной для работы с односторонней пленкой (маммографические кассеты), один усиливающий экран закрепляется на задней крышке. Рентгенолаборант, чаще вручную, вставляет в кассету рентгенографическую пленку. На рис. 3 схематично изображен поперечный разрез заряженной рентгенографической кассеты общего назначения, дающий полное представление о входящих в рентгенографический приемник излучения компонентах.

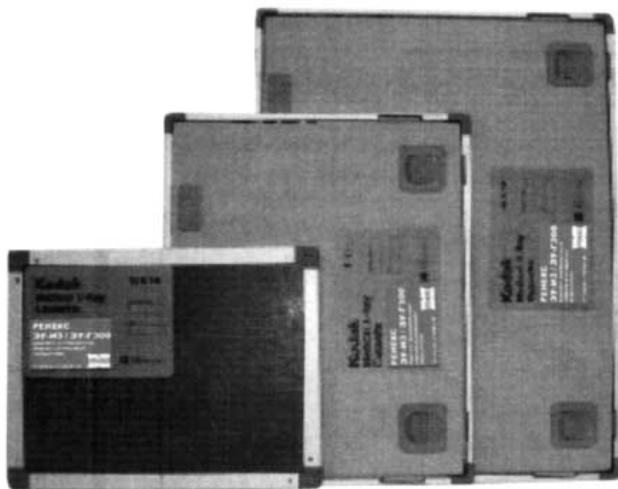


Рис. 2. Рентгенографические кассеты.

В современных рентгенографических кассетах надежного контакта между пленкой и экранами обычно добиваются с помощью магнитного прижима. Плохое прилегание пленки к экранам ухудшает качество изображения. При наличии зазора между ними выходящий из экрана свет распространяется в стороны и усиливает нерезкость изображения. Плохой контакт пленки с экранами может свести на нет все усилия по снижению нерезкости изображения (выбор малого фокуса, фиксация пациента, высокое разрешение экранов и т. д.). Основными причинами плохого прилегания обычно бывают воздушные карманы между пленкой и экранами, инородные частицы на экранах и повреждение кассеты или ее замков.

Должный уход за усиливающими экранами позволяет снизить риск ухудшения качества изображения, в том числе и нерезкости за счет плохого прилегания. Экраны должны очищаться от загрязнений и инородных частиц (артефактов) средствами, рекомендованными изготовителями. Обычно эти средства помогают снять с экранов электростатическое электричество, разряд которого может создать на экране черные ветвящиеся артефакты. С экранами надо обращаться очень аккуратно, стараться не царапать их поверхность.

Нарушение контакта пленки и экранов в кассете может происходить постепенно и становится заметным, когда достигает значительной степени. Поэтому необходимо регу-

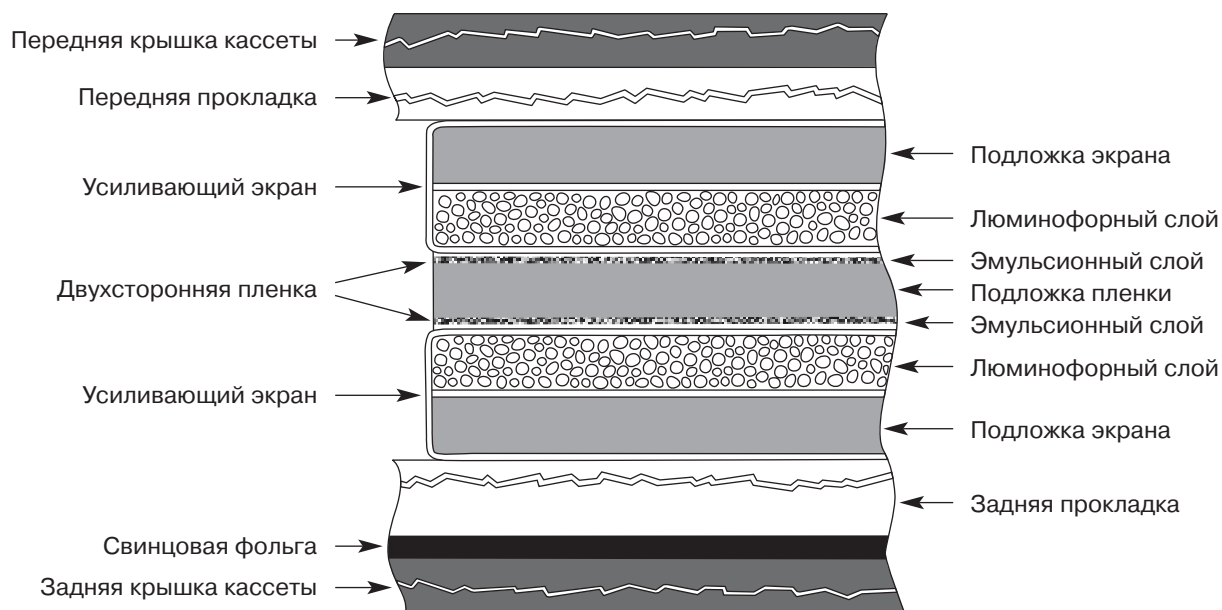


Рис. 3. Схематичный разрез заряженной рентгенографической кассеты.

лярно проверять качество данного контакта. С этой целью тонкую металлическую сетку располагают сверху на кассете, делают ее снимок и рассматривают его на негатоскопе. При наличии в кассете участков плохого прилегания на снимке при большом расстоянии рассматривания видны темные пятна, при рассмотрении вблизи сетка в этих местах выглядит нечеткой, размытой.

Теперь перейдем к рассмотрению конечного элемента рентгенографического приемника излучения, обеспечивающего регистрацию изображения, — рентгенографической пленки. Оценку возможностей пленок производят по сенситометрическим параметрам (чувствительность, контрастность, вуаль, фотографическая широта), которые определяются по характеристической кривой. На рис. 4 представлен вид характеристической кривой пленки. Эта кривая представляет собой зависимость плотности почернения пленки от величины логарифма экспозиции.

Характеристическая кривая пленки показывает, что при увеличении освещенности в рабочем диапазоне плотность возрастает сначала медленно (основание кривой), затем быстрее, и в какой-то момент ее возрастание становится пропорционально логарифму освещенности (полезный диапазон плотностей), затем пропорциональность уменьшается, и рост плотности почернения замедляется (плечо кривой). Величина нарастания плотности (градиент) показывает, с какими потерями или, наоборот, с каким увеличением преобразуется пленкой контраст объекта в контраст изображения. В нижней части кривой этот градиент обычно имеет величину порядка 1.0. Средний градиент, который указывается в документации на пленку, определяется в полезном диапазоне плотностей — для современных пленок имеет значение порядка 2.5. Это означает, что при малых значениях плотности контраст объекта передается пленками без изменений, а в диапазоне нормальных плотностей контраст изображения будет превышать контраст объекта в 2,5 раза.

Характеристическая кривая комплекта экран—пленка отличается тем, что для нее по оси абсцисс откладываются вместо значений освещенности значения логарифма дозы. Это позволяет с ее помощью определить диапазон рабочих значений доз, необходимых для получения на пленке необходимых значений плотности, при которых достигается максимально возможный контраст изображения, и чувствительность комплекта, которая определяется

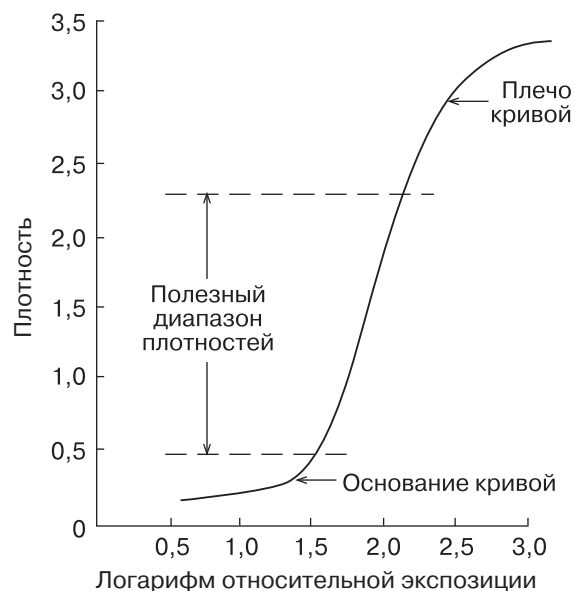


Рис. 4. Характеристическая кривая пленки.

величиной обратной значению дозы, необходимой для создания на пленке значения плотности, равного 1.0 над вуалью.

Рентгенографические пленки универсального применения обычно имеют среднее значение градиента (контрастности), поскольку этот параметр связан с фотографической широтой пленки (динамическим диапазоном) обратной зависимостью. В зависимости от вида исследования целесообразно использовать пленку с более высокой контрастностью (например, при исследовании молочной железы используется пленка с градиентом порядка 3.5) или с большей фотографической широтой (например, при исследовании грудной клетки используется универсальная пленка с градиентом порядка 2.5). Однако пленки с меньшими значениями градиента в рентгенологической практике не применяются, поскольку, как правило, приходится иметь дело с малоразличимыми по плотности деталями (малоконтрастными деталями объекта) и увеличение их контрастности на изображении очень важно.

Фактором, сильно влияющим на контраст пленки, является вуаль. Пленка, независимо от того, воздействовало на нее излучение или нет, после проявления всегда имеет некоторую плотность почернения, представляющую собой сумму плотности основы и вуали. Контраст изображения с возрастанием вуали падает. Величина вуали может существенно возрастать при длительном хранении. Это один из основных параметров, который ограничивает срок хранения пленки.

Рассмотрим, как влияет на сенситометрические параметры пленки процесс обработки. Рентгенографическая пленка обрабатывается подобно черно-белым фотоматериалам, используемым в обычной фотографии. На пленке в процессе снимка образуется скрытое изображение, которое фотообработкой превращается в видимое. В процессе обработки проэкспонированные кристаллы галоидного серебра превращаются в металлическое серебро (проявление), из эмульсии удаляются непроэкспонированные кристаллы галоидного серебра, и обеспечивается затверждение желатины (фиксирование), производится окончательное удаление соли серебра (промывка) и удаление воды (сушка).

Процесс обработки рентгенографической пленки может быть ручным или автоматическим, но он всегда состоит из указанных выше этапов: проявление, фиксирование, промывка и сушка. Влияние температурных и временных режимов обработки пленки, так же как тип применяемых для этих целей реактивов, настолько существенно для сенситометрических параметров пленки, что часто просто оказывается определяющим для получаемого качественного изображения. Именно поэтому, разрабатывая пленку, изготовители обязательно должны подготавливать под нее реактивы и регламент обработки, который неукоснительно следует соблюдать.

Рентгенолаборанту можно рекомендовать упрощенный метод проверки обработки. Пленку из свежей партии следует облучить 3 раза, меняя экспозицию 2 раза, загорая от излучения попеременно 2 поля, затем обработать в свежих реактивах, четко соблюдая регламент, и, если плотность среднего поля примерно равна 1.0 (с трудом читается газетный текст рядом с неактивным фонарем), зарегистрировать режим работы рентгеновского аппарата, при котором производилась съемка. Не реже 1 раза в 2 нед или в тех случаях, когда есть сомнения в процессе обработки, повторить съемку в тех же режимах и убедиться, что глаз не видит различий в плотности по сравнению с контрольным снимком.

Итак, оценивая влияние пленки на возможности рентгенографической системы, следует сказать, что тип выбираемой пленки и способ ее обработки могут влиять как на чувствительность системы, так и на качество получаемого изображения. Прежде всего это проявляется на контрастности получаемого изображения, а для динамического диапазона

системы влияние пленки просто является определяющим. Влияние на нерезкость изображения пленки не так велико, но и оно может быть ощутимо.

Для работы с экранами, обеспечивающими высокое разрешение, должна выбираться мелкозернистая пленка, которая не будет ухудшать качества изображения. Такая пленка обычно уступает стандартным пленкам по чувствительности. Отличия в чувствительности рентгенографических пленок приводит к еще большим различиям в чувствительности комплектов экран—пленка, чем те, которые обусловлены применением различных типов экранов. Диапазон чувствительности современных комплектов экран—пленка в международных единицах лежит в диапазоне 50—600.

Ранее говорилось, что чувствительность определяется величиной, обратной значению дозы, необходимой для получения плотности пленки 1.0. Однако методы определения этого параметра в нашей стране и в международной практике несколько отличаются. У нас принято выражать чувствительность в обратных рентгенах, за рубежом — в специально оговоренных единицах. Если какая-либо зарубежная фирма гарантирует, что чувствительность комплекта составляет например 100, это означает, что в отечественной, более привычной, для нас терминологии эта величина составляет примерно  $700 \text{ P}^{-1}$ .

В заключение сформулируем принципы подхода к проведению рентгенографического исследования, чтобы добиться максимально возможной диагностической информации.

1. Режим работы рентгеновского аппарата должен быть выбран так, чтобы попасть на рабочую часть характеристической кривой пленки.

2. Режим работы рентгеновского аппарата и условия съемки объекта должны выбираться из условий получения наилучшего контраста объекта и максимального снижения нерезкости изображения.

3. Выбор типа приемника излучения (рентгенографического комплекта экран—пленка) должен производиться с учетом конкретного рентгенодиагностического исследования.

4. Для гарантии получения высокого качества изображения объекта усиливающие экраны, рентгенографические пленки, условия и реактивы для обработки пленки должны быть согласованы друг с другом; желательно использовать пленку и экраны одной фирмы.