

Исследование чувствительности систем экран/пленка при четырех способах экспонирования по ГОСТ ISO 9236-1

Аннотация

Определена чувствительность рентгенографических систем с экранами повышенного усиления при четырех способах экспонирования, соответствующих требованиям ГОСТ ISO 9236-1-2011. Установлено, что независимо от типа применявшихся экранов максимальная чувствительность любой из исследованных систем достигается при способе экспонирования IV, характеризуемом СПО 8,6 мм Al. Рассмотрена возможная причина расхождений с результатами исследования зависимости чувствительности систем от качества излучения, опубликованными ранее.

Введение

Чувствительность систем экран/пленка для общей рентгенографии при разном качестве излучения уже исследовалась нами ранее [1]. Однако, несмотря на применение метода рентгеновской сенситометрии с модуляцией экспозиции по шкале интенсивности, значения чувствительности, полученные в той работе, не являются стандартными величинами по ГОСТ ISO 9236-1 [2], так как использовались другие условия экспонирования, применяемые в нашей стране для испытаний усиливающих экранов [3]. Стандартные рентгеносенситометрические характеристики систем по ГОСТ ISO 9236-1 до сих пор определялись нами при способе экспонирования II [4], [5], который, согласно положению стандарта, является предпочтительным для измерения чувствительности при использовании только одного качества излучения.

Настоящая работа посвящена исследованию чувствительности пяти различных систем с экранами повышенного усиления методом, изложенным в ГОСТ ISO 9236-1, с применением всех предусмотренных в стандарте способов экспонирования, имитирующих условия четырех распространенных видов медицинских рентгенографических исследований. Судя по литературным источникам, подобных сравнительных исследований различных систем не проводилось. Единственной публикацией, содержащей данные о рентгеносенситометрических характеристиках при четырех аналогичных способах экспонирования, является работа [6], в которой была исследована только одна рентгенографическая система с целью сравнения результатов, полученных в четырех зарубежных лабораториях.

Материалы и методы

Нами были исследованы системы с комплектами экранов повышенного усиления «Ренекс ЭУ-ИЗ» и «Ренекс ЭУ-ГЗ» производства ЗАО «РЕНЕКС». Экраны «Ренекс ЭУ-ИЗ», обладающие рентгенолюминесценцией в основном в синей области спектра, экспонировались в комбинации с синечувствительными пленками «Curix RP-1» («Agfa HealthCare N.V.») и MXBE («Carestream Health Inc.»). Экраны «Ренекс ЭУ-ГЗ», излучающие преимущественно в зеленой области спектра, исследовались в сочетании с ортохроматическими пленками «Ortho CP-GU» («Agfa HealthCare N.V.»), MXG («Carestream Health Inc.») и «Super HR-U» («Fujifilm Corp.»). Экспонирование всех

систем экран/пленка осуществлялось в кассете «Ренекс КРП» (ЗАО «РЕНЕКС»). Обработка пленок проводилась в проявочном автомате «Compact 2» («Protec Medizintechnik GmbH») в реактивах «РЕНМЕД-АВТО» (ООО «Фирма «ВИПС-МЕД») при температуре проявителя 33 °С и продолжительности цикла 2,2 мин.

Чувствительность систем определялась методом, изложенным в разделе 7 ГОСТ ISO 9236-1, в котором при расчетах учитывается форма характеристических кривых. Характеристические кривые всех систем были получены при качестве излучения II, характеризуемом слоем половинного ослабления (СПО) 5,7 мм Al (анодное напряжение 66 кВ, дополнительная фильтрация 12 мм Al). Время экспонирования полей на каждой сенситограмме было одинаковым и составляло 60 мс для синих систем и 56 мс для зеленых систем.

Определение чувствительности систем производилось при всех способах экспонирования, предусмотренных в ГОСТ ISO 9236-1. Спецификация способов экспонирования систем приведена в *табл. 1*.

В соответствии с требованиями стандарта все фантомы представляли собой пластины в форме квадрата со стороной 30 см. При экспонировании способами I, II и III фантомы устанавливались перед кассетой на расстоянии 60 мм от плоскости пленки. При способе экспонирования IV пластина из полиметилметакрилата (ПММА) устанавливалась у рентгеновской трубки, а пластина из алюминия – перед кассетой, на расстоянии 60 мм от плоскости пленки. Фантомы I, II и III и часть фантома IV из алюминия при экспонировании облучались полностью.

Результаты и обсуждение

Несмотря на то что в данной работе исследовались системы с экранами одного класса усиления, примерное равенство чувствительности систем с экранами «Ренекс ЭУ-ИЗ» и «Ренекс ЭУ-ГЗ» наблюдается только при способе экспонирования I (*табл. 2*). При каждом следующем способе экспонирования чувствительность систем увеличивается, но у зеленых систем в большей мере, чем у синих. В конечном счете по сравнению со способом экспонирования I при способе экспонирования IV чувствительность систем с экранами «Ренекс ЭУ-ИЗ» увеличивается примерно в 1,5 раза, а чувствительность систем с экранами «Ренекс ЭУ-ГЗ» – в 3 раза. Неодина-

Таблица 1

Спецификация способов экспонирования для определения чувствительности

| Способ экспонирования (вид исследования) | Анодное напряжение, кВ | Слой половинного ослабления, мм Al | Фантом | Время экспонирования, мс | |
|--|------------------------------|--|--|--------------------------|-------------------|
| | | | | синих систем | зеленых систем |
| I (конечности) | 46 | 3,0 | 25 мм ПММА + 2 мм Al + + 25 мм ПММА | 66 | 67 |
| II (череп) | 66 | 5,7 | 12 мм Al | 60 | 61 |
| III (поясничный отдел позвоночника и толстая кишка) | 85 | 7,4 | 13 мм Al | 63 | 60 |
| IV (грудная клетка) | 117 | 8,6 | 70 мм ПММА + 5 мм Al | 16 | 14 |

ковое изменение чувствительности систем обусловлено разным «ходом с жесткостью» эффективности иттриевых и гадолиниевых экранов [1], а также более высоким энергетическим выходом люминесценции Gd₂O₂S:Tb-люминофора [7].

Таблица 2

Чувствительность систем при четырех способах экспонирования по ГОСТ ISO 9236-1

| Исследованные системы | | Чувствительность при способе экспонирования | | | |
|-----------------------|-------------|---|-----|-----|-----|
| Экраны | Пленка | I | II | III | VI |
| Ренекс ЭУ-ИЗ | MXBE | 179 | 253 | 262 | 280 |
| | Curix RP-1 | 212 | 302 | 308 | 330 |
| Ренекс ЭУ-ГЗ | MXG | 193 | 387 | 468 | 568 |
| | Super HR-U | 191 | 387 | 471 | 560 |
| | ORTHO CP-GU | 243 | 498 | 614 | 747 |

Наряду с экранами, пленки также вносят вклад в чувствительность систем. Сравнить вклад разных пленок можно путем сопоставления чувствительности систем с одинаковыми экранами. Согласно данным, приведенным в табл. 2, система с пленкой «Curix RP-1» превосходит по чувствительности систему с пленкой MXBE в 1,2 раза, а система с пленкой «ORTHO CP-GU» является эффективнее систем с пленками MXG и «Super HR-U» в 1,3 раза. Следует отметить, что эти соотношения, отображающие разный вклад пленок в чувствительность систем, не являются постоянными величинами, так как чувствительность каждой марки пленки может меняться от партии к партии, а также зависит от применяемых для обработки реактивов и режимов обработки [5], [8], [9]. Однако, судя по результатам настоящего исследования, системы с одинаковыми экранами и разными пленками характеризуются одной и той же зависимостью относительной чувствительности от способа экспонирования и, следовательно, от качества излучения (см. табл. 1).

Данное обстоятельство позволяет провести сравнение относительной чувствительности систем при одних и тех же качествах излучения в разных работах независимо от того, какие пленки и условия их обработки применялись при проведении исследований. Обязательным условием для этого является использование в системах одинаковых экранов либо экранов с идентичным «ходом с жесткостью», что, как правило, соблюдается в случае экранов, изготовленных из одинаковых люминофоров.

В табл. 3 приведена относительная чувствительность систем с экранами «Ренекс ЭУ-ГЗ» при четырех способах экспонирования по ГОСТ ISO 9236-1, определенная по результатам настоящего исследования. Для сравнения там же приведена относительная чувствительность системы с экранами «Kodak Lanex Medium», вычисленная нами по результатам, полученным в четырех зарубежных лабораториях [6].

Таблица 3

Относительная чувствительность систем с гадолиниевыми экранами

| Исследованные системы | | Относительная чувствительность при способе экспонирования | | | |
|-----------------------|------------------|---|------|------|------|
| Экраны | Пленка | I | II | III | VI |
| Ренекс ЭУ-ГЗ | MXG | 1,00 | 2,01 | 2,42 | 2,94 |
| | Super HR-U | 1,00 | 2,03 | 2,47 | 2,93 |
| | ORTHO CP-GU | 1,00 | 2,05 | 2,53 | 3,07 |
| Kodak Lanex Medium | Kodak T-MAT G/RA | 1,00 | 1,94 | 2,71 | – |
| | | 1,00 | 2,03 | 2,53 | 2,89 |
| | | 1,00 | 2,02 | 2,41 | – |
| | | 1,00 | 2,02 | 2,62 | 3,10 |

Несмотря на то что в работе [6] использовались другие гадолиниевые экраны, а также другие времена экспонирования, соответствующие требованиям первого издания ISO 9236-1 [10], результаты двух исследований хорошо согласуются друг с другом.

Вместе с тем при сравнении с результатами работы [1] выявляются некоторые расхождения данных. Прежде всего обращает на себя внимание явное несоответствие, полученное при исследовании систем с экранами «Ренекс ЭУ-ИЗ». Согласно [1], максимум чувствительности системы с этими экранами находится при эффективной энергии 52,5 кэВ (СПО 7,4 мм Al), а при 58 кэВ (СПО 8,6 мм Al) чувствительность уменьшается примерно на 2 %. Из результатов настоящего исследования складывается иная картина: чувствительность систем с теми же экранами при СПО 8,6 мм Al оказывается выше, чем при СПО 7,4 мм Al, приблизительно на 7 %. Кроме того, сравнение данных, полученных при тех же СПО для систем с экранами «Ренекс ЭУ-ГЗ», показывает, что относительная чувствительность при СПО 8,6 мм Al также увеличивается больше, чем в работе [1], в среднем на 9 %. Несмотря на то что выявленные расхождения не превышают погрешности определения чувствительности, их наличие во всех без исключения случаях и одинаковое направление отклонений указывают на случайное их происхождение.

Скорее всего, обнаруженные расхождения данных связаны с разными условиями экспонирования систем в этих двух исследованиях. В работе [1] все измерения выполнялись в узких пучках излучения и на значительных расстояниях от дополнительных фильтров, т. е. в условиях, когда вклад рассеянного излучения незначителен. Напротив, в настоящей работе для определения чувствительности в соответствии с требованиями ГОСТ ISO 9236-1 применялись широкие пучки. При этом при помощи фантомов, устанавливаемых непосредственно перед экспонируемой системой экран/пленка, специально создавались определенные доли рассеянного излучения для имитации условий, существующих в медицинской практике. Чтобы оценить влияние рассеянного излучения на чувствительность систем, мы сравнили стандартную чувствительность по ГОСТ ISO 9236-1 с чувствительностью, определенной по характеристическим кривым, так как условия экспонирования для получения характеристических кривых являются достаточно близкими к условиям экспонирования, использованным в работе [1]. К сожалению, такое прямое сравнение удалось провести только для чувствительности, определенной способом экспонирования II, потому что (на основании положения стандарта о независимости формы характеристической кривой от качества излучения) калибровка нашей сенситометрической установки для определения формы характеристических кривых была выполнена при качестве излучения, соответствующем этому способу экспонирования. В результате проведенного сравнения оказалось, что чувствительность, определенная по характеристическим кривым, превышает стандартную чувствительность по ГОСТ ISO 9236-1 на 15...20 %. Поскольку при способе экспонирования III применяется фантом из алюминия толщиной 13 мм, уменьшение чувствительности систем, обусловленное создаваемым им рассеянным излучением, должно быть не меньше, чем при экспонировании способом II. В отличие от этих двух способов при способе экспонирования IV перед экспонируемой системой устанавливается только часть фантома, представляющая собой пластину из алюминия толщиной 5 мм. Поэтому резонно предположить, что уменьшение чувствительности из-за создаваемого ею рассеянного излучения должно быть существенно меньше. Таким образом, обнаруженные расхождения с результатами работы [1] как по величине, так и по направлению отклонений, вполне могут быть обусловлены разными долями рассеянного излучения в пучках при способах экспонирования III и IV.

Заключение

Сенситометрическое исследование систем с экранами «Ренекс ЭУ-ИЗ» и «Ренекс ЭУ-ГЗ» методом, изложенным в ГОСТ

ISO 9236-1, показало, что при способе экспонирования I, имитирующем условия рентгенографических исследований конечностей, чувствительность всех систем находится на примерно одинаковом и самом низком уровне. Наибольшая чувствительность любой из исследованных систем независимо от типа использовавшихся экранов достигается при способе экспонирования IV, моделирующем условия рентгенографических исследований грудной клетки. По сравнению со способом экспонирования I при способе экспонирования IV чувствительность систем с экранами «Ренекс ЭУ-ИЗ» увеличивается примерно в 1,5 раза, а чувствительность систем с экранами «Ренекс ЭУ-ГЗ» – в 3 раза.

В отличие от других методов рентгеновской сенситометрии метод ГОСТ ISO 9236-1 позволяет определять чувствительность систем экран/пленка в условиях экспонирования, приближенных к медицинской практике. В то же время это несомненное преимущество метода ограничивает возможности его применения для других целей. В частности, из-за разных долей рассеянного излучения, создаваемых фантомами при разных способах экспонирования, полученные результаты нельзя использовать для построения кривых, отражающих зависимость чувствительности от качества рентгеновского излучения.

Список литературы:

1. Головкова С.И., Рюдигер Ю. О влиянии усиливающих экранов на чувствительность и разрешающую способность систем визуализации изображения в общей рентгенографии // Медицинская техника. 2016. № 2. С. 23-26.
2. ГОСТ ISO 9236-1–2011 Сенситометрия систем экран/пленка для медицинской рентгенографии. Часть 1. Определение формы характеристической кривой, чувствительности и среднего градиента (идентичен стандарту ISO 9236-1:2004).
3. ГОСТ 27048–86 Экраны усиливающие медицинские. Основные параметры, общие технические требования и методы испытаний.

4. Головкова С.И., Рюдигер Ю. Сравнение двух методов рентгеновской сенситометрии // Вестник РНЦРР. 2015. Т. 15. № 3.
5. Головкова С.И., Рюдигер Ю. Рентгеносенситометрические характеристики систем для общей рентгенографии при автоматической обработке пленок в разных реактивах // Медицинская техника. 2019. № 4. С. 26-28.
6. Buhr E., Bergmann D., Hoeschen D., Ailliet M., Sirand-Rey G., Gazolla C., Uras S. An interlaboratory measurement of screen-film speed and average gradient according to ISO 9236-1 // Medical Physics. 2000. Vol. 27. № 2. PP. 307-311.
7. Гурвич А.М., Катомина Р.В., Мяжкова М.Г., Петрова И.Ю., Томбак М.И. Энергетический выход рентгенолюминесценции поликристаллических люминофоров // Журнал прикладной спектроскопии. 1977. № 1. С. 75-81.
8. Головкова С.И., Рюдигер Ю. Изменения в сенситометрических параметрах медицинских рентгенографических пленок. Часть 1. Оценка при автоматическом способе обработки // Медицинская техника. 2013. № 5. С. 37-39.
9. Головкова С.И., Рюдигер Ю. Изменения сенситометрических параметров медицинских рентгенографических пленок. Часть 2. Оценка при ручной обработке // Медицинская техника. 2013. № 6. С. 21-25.
10. ISO 9236-1:1996 Photography – Sensitometry of screen-film systems for medical radiography – Part 1: Determination of sensitometric curve shape, speed and average gradient.

Светлана Ивановна Головкова,
ведущий инженер,
Юрген Рюдигер,
канд. физ.-мат. наук, зав. группой,
группа приемников рентгеновского излучения,
ФГБУ «Российский научный центр
рентгенодиагностики» Министерства
здравоохранения Российской Федерации,
г. Москва,
e-mail: gj_rudiger@mail.ru

А.В. Синегуб, В.А. Суворов, Д.В. Гаврилов, М.Р. Бахрами

Сравнительный анализ напряженно-деформированного состояния облепленного 3D-печатного имплантата плеча

Аннотация

Применение 3D-печати в ортопедии имеет ряд преимуществ, одним из которых является облегчение веса имплантата за счет ячеистых структур. Целью данного исследования является проверка возможности облегчения 3D-имплантата плеча без потери жесткости и прочности.

Исследование основывается на сравнительном анализе напряженно-деформированного состояния индивидуального плечевого имплантата в двух исполнениях: цельном и ячеистом (облепленном). Первое исполнение имеет цельную форму и изготавливается посредством традиционных технологий. Второе исполнение имеет ячеистую структуру, которая облегчает вес имплантата, и изготавливается посредством аддитивных технологий – 3D-печати.

В результате работы было получено, что имплантат с ячеистым исполнением не уступает по прочности необлепленному и может смело использоваться в ортопедии.

Введение

Эндопротезирование плечевого сустава с применением стандартных компонентов на фоне онкологических заболеваний, выраженных дефектов проксимального отдела плечевой кости и роста числа ревизионных вмешательств приводит к неудовлетворительным результатам – до 65 % [1]-[4]. Проблема сопровождается высоким риском послеоперационных осложнений (от 17 до 62 %): нестабильностью установленных компонентов эндопротеза, инфекционными осложнениями, разрастанием массивной гетеротопической оссификации, импиджмент-синдромом, наличием подвывихов, контрактурой сустава, смещением

центра ротации с нарушением биомеханики плечевого сустава [5]-[9]. Также остается нерешенным вопрос обеспечения максимальной стабильности соединения имплантат-кость, которое определяет срок службы протеза [10]-[12];

Применение аддитивных технологий, а именно 3D-печати, для изготовления индивидуальных костных эндопротезов набирает популярность в ортопедии. Это имеет ряд преимуществ и позволяет [11], [13]:

- изготавливать имплантаты сложных форм с восстановлением объема утраченной костной ткани;
- повышать стабильность имплантата за счет создания микропористых поверхностей (или ячеистых структур) на его