

## **Раздел - Медицинская практика**

### **Сравнение двух методов рентгеновской сенситометрии**

Головкова Светлана Ивановна, старший научный сотрудник лаборатории приемников рентгеновского излучения научно–исследовательского отдела новых технологий и семиотики лучевой диагностики заболеваний органов и систем ФГБУ "Российский научный центр рентгенорадиологии" Минздрава России,

Рюдигер Юрген, кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией приемников рентгеновского излучения научно–исследовательского отдела новых технологий и семиотики лучевой диагностики заболеваний органов и систем ФГБУ "Российский научный центр рентгенорадиологии" Минздрава России

*ФГБУ «Российский научный центр рентгенорадиологии» Минздрава России, г. Москва.*

117997, Москва, ГСП-7, ул. Профсоюзная, д. 86

### **Резюме**

**Предпосылки:** В настоящее время в России действуют два стандарта, устанавливающие методы рентгеновской сенситометрии: отраслевой стандарт ОСТ 6-17-54-80 и межгосударственный стандарт ГОСТ ISO 9236-1-2011. В этих методах применяются разные способы модуляции экспозиции. В принципе, при исследовании систем с усиливающими экранами способ экспонирования по ОСТ может приводить к искажению рентгеносенситометрических параметров, обусловленному несоблюдением закона взаимозаместимости, а также эффектом прерывистого облучения.

**Цель работы** - проверка соответствия или поиск возможной корреляции результатов сенситометрии, полученных двумя методами.

**Материалы и методы:** Исследование проводилось путем сравнения рентгеносенситометрических параметров, полученных методами ОСТ и ИСО для шести систем кассета/экран/плёнка/процесс обработки.

**Основные результаты:** Выявлены большие расхождения в величинах чувствительности,

определенных разными методами, причем без какой-либо корреляции.

**Заключение:** Дальнейшее применение метода ОСТ для исследования систем с усиливающими экранами должно быть ограничено.

Ключевые слова:

Рентгеновская сенситометрия, система кассета/экран/пленка/процесс обработки, рентгенографическая пленка, сенситограмма, характеристическая кривая, чувствительность, средний градиент

Ответственный за переписку: Головкова Светлана Ивановна, старший научный сотрудник, ФГБУ «РНИЦРР» Минздрава России, 117997, Москва, ГСП-7, ул. Профсоюзная, д. 86, тел. 499-120-3404, e-mail: sveta.golovkova@list.ru

### **Comparison of Two Methods of X-Ray Sensitometry**

Golovkova Svetlana, senior researcher of Laboratory of X-Radiation Receivers of research Department of new technologies and semiotics beam diagnostics of diseases of organs and systems Federal State Budgetary Institution Russian Scientific Center of Roentgenoradiology (RSCRR) of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation,

Rüdiger Jürgen, Ph.D., Head of Laboratory of X-Radiation Receivers of research Department of new technologies and semiotics beam diagnostics of diseases of organs and systems Federal State Budgetary Institution Russian Scientific Center of Roentgenoradiology (RSCRR) of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation

Federal State Budgetary Institution Russian Scientific Center of Roentgenoradiology (RSCRR) of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow Russia, 117997, Moscow, Profsoyuznaya Street 86

## **Summary**

**Background:** At present in Russia there are two valid standards specifying methods of X-ray sensitometry: the industry standard OST 6-17-54-80 and the interstate standard GOST ISO 9236-1-2011. In these methods different techniques of exposure modulation are applied. In principle, the application of the OST method to investigation of systems with intensifying screens can result in distortion of sensitometric parameters caused by reciprocity law failure and by the intermittency effect.

**Aim of research -** compliance checking or searching for possible correlation between sensitometric results obtained by the two methods.

**Materials and Methods:** The investigation was carried out by comparison of X-ray sensitometric parameters obtained by the OST and ISO methods for six systems cassette/screen/film/processing.

**Main results:** Large discrepancies in speed values determined by different methods have been revealed, without any correlation.

**Conclusion:** The further application of the OST method for testing of systems with intensifying screens has to be restricted.

Key words:

X-ray sensitometry, cassette/screen/film/processing system, X-ray film, sensitogram, characteristic curve, speed, average gradient

## **Введение**

### **Методика исследования**

### **Результаты и обсуждение**

### **Заключение**

## **Введение**

Рентгеновская сенситометрия, в отличие от световой, позволяет определять характеристики не только рентгенографических пленок, но и целых систем кассета/экран/пленка/процесс обработки, которые применяются в медицинской рентгенографии. Благодаря экспонированию рентгеновским излучением с ее помощью можно исследовать зависимость чувствительности от качества излучения, а также оценить изменение чувствительности при замене любого из элементов системы.

В зависимости от способа модуляции экспозиции, существующие методы рентгеновской сенситометрии можно разделить на три группы. Одну из них представляет клиновая сенситометрия, при которой комплект кассета/экран/пленка экспонируется за ступенчатым клином, изготовленным чаще всего из алюминия. Клиновая сенситометрия является простой в исполнении и позволяет имитировать реальные условия рентгенологического исследования. Тем не менее она не нашла применения в метрологии, так как при модуляции экспозиции с помощью клина одновременно с дозой изменяется и спектр рентгеновского излучения. В силу данного обстоятельства чувствительность различных систем оценивается при разном качестве излучения, что существенно затрудняет сравнение полученных данных вследствие неодинаковой зависимости эффективности разных усиливающих экранов от энергии рентгеновского излучения. По этой же причине искажается форма характеристической кривой и, следовательно, величины среднего градиента и коэффициента контрастности (Маслов и др. 1988).

Вторую группу составляют методы рентгеновской сенситометрии, в которых экспозиция варьируется путем изменения времени экспонирования, а качество излучения и его интенсивность остаются неизменными. К этой группе относится метод рентгеновской сенситометрии, устанавливаемый отраслевым стандартом (ОСТ 1980), который применяется в нашей стране на протяжении более семи десятилетий (Жегалкин 1941). В его основу положен оригинальный способ модуляции экспозиции с помощью свинцовой диафрагмы с 15 концентрическими вырезами, угловые размеры которых уменьшаются от центра к краю в геометрической прогрессии. Во вращающейся кассете, помещаемой за такой диафрагмой, различные участки экранов и пленки облучаются дозами, пропорциональными угловым размерам вырезов модулятора. Экспозиционная доза измеряется с помощью дозиметра прямо во время сеанса облучения в месте, расположенному сбоку от вращающейся кассеты. Доза на пленке рассчитывается на основе этого измерения с учетом геометрии установки. Метод ОСТ является удобным и простым в исполнении. К его достоинствам также следует отнести надежный дозиметрический контроль, хорошую воспроизводимость результатов и высокую производительность. Но наряду с несомненными преимуществами он обладает недостатком, свойственным всем рентгеносенситометрическим методам второй группы: из-за разного времени облучения полей сенситограммы в результатах исследования систем с усиливающими экранами могут появиться искажения, связанные с отклонениями от закона взаимозаместимости. Кроме того, при применении метода ОСТ на величину чувствительности таких систем может влиять также эффект прерывистого облучения, обусловленный многократным экспонированием полей сенситограммы при вращении кассеты.

И, наконец, в третью группу входят методы рентгеновской сенситометрии, в которых экспозиция модулируется только по интенсивности путем изменения расстояния между источником излучения и кассетой с экранами и пленкой. При таком способе экспонирования все поля сенситограммы облучаются рентгеновским излучением неизменного качества, однократно и с одинаковым временем экспонирования, а, значит, отсутствуют все те

недостатки, которые свойственны методам первых двух групп. Типичным представителем третьей группы является метод рентгеновской сенситометрии по стандарту ИСО, который применяется в нашей стране относительно недавно (ГОСТ 2009; ГОСТ 2013). Однако он не получил широкого распространения не только у нас в стране, но и за рубежом, так как требует больших рентгеновских помещений, больших затрат времени и достаточно сложен в метрологическом отношении. По этим причинам исследование корреляции результатов сенситометрии, полученных более простым методом ОСТ и методом ИСО, представляет большой интерес.

Поскольку сравниваемые нами стандарты разрабатывались в разное время и основаны на соответствующих своему времени представлениях и нормах, в их положениях имеются отдельные разногласия. Одно из них заключается в том, что метод ИСО предназначается для рентгеносенситометрического исследования систем кассета/экран/пленка/процесс обработки, а метод ОСТ – для пленок. Впрочем, это противоречие носит чисто формальный характер, так как рентгенографические пленки общего назначения (экранные пленки) экспонируются по ОСТ в кассете в комбинации с эталонными усиливающими экранами и, естественно, обрабатываются в определенных условиях. Таким образом, фактически исследуется тоже система кассета/экран/пленка/процесс обработки (Головкова и др. 2011), но, несмотря на вклад всех ее элементов, результаты сенситометрии целиком приписываются только пленке<sup>1</sup>.

Поэтому, чтобы устранить существующее противоречие между двумя стандартами, в дальнейшем изложении мы будем придерживаться более современного понятия "система" и в случае применения метода ОСТ.

Важно также отметить, что в рассматриваемых методах используется излучение разного качества, разные критериальные плотности для определения чувствительности и разные

---

<sup>1</sup> Именно в результате такого подхода, не учитывающего вклад усиливающих экранов, чувствительность по ОСТ рентгенографических пленок общего назначения характеризуется несопоставимо более высокими значениями, чем у безэкранных пленок.

единицы измерения чувствительности. Принимая во внимание эти обстоятельства, мы поставили перед собой две задачи. Во-первых, оценить, насколько изменятся рентгеносенситометрические параметры систем, получаемые методом ОСТ при переходе к качеству излучения и критериальной плотности, применяемых в ИСО. Во-вторых, сравнить результаты сенситометрии, полученные разными методами при качестве излучения и критериальной плотности по ИСО.

### **Методика исследования**

Нами были исследованы системы кассета/экран/пленка/процесс обработки с рентгенографическими пленками общего назначения, как синечувствительными (Curix RP1, Kodak MXBE и Super RX), так и ортохроматическими (Ortho CP-GU, Kodak MXG и Super HR-U). В системы с синечувствительными пленками (в дальнейшем "синие" системы) входил комплект эталонных сенситометрических экранов типа Ренекс ЭУ-В2, а в системы с ортохроматическими пленками ("зеленые" системы) - комплект эталонных сенситометрических экранов типа Ренекс ЭУ-Г3. Экспонирование проводилось в одной и той же сенситометрической кассете типа Ренекс КРП. Таким образом, методом ИСО исследовались системы, которые включали в себя кассету и экраны, применяемые для определения сенситометрических параметров рентгенографических пленок общего назначения в методе ОСТ. Все сенситограммы обрабатывались в проявочной машине «Compact 2» («Protec», Германия), в реактивах G139/G334 («Agfa HealthCare N.V.», Бельгия), в экспресс-процессе (температура проявителя 33°C, продолжительность цикла 2,2 минуты).

Рентгеносенситометрические параметры по ИСО были определены при экспонировании комплектов кассета/экран/пленка на специальной установке, созданной нами в соответствии с требованиями (ГОСТ 2013). Экспонирование всех систем проводилось в режиме II, предусмотренном стандартом для исследования систем, не предназначенных для специфического применения.

В соответствии с этим режимом экспонирования характеристические кривые были получены при слое половинного ослабления (СПО) 5,7 мм Al и дополнительной фильтрации 12 мм Al. Необходимое качество рентгеновского излучения было обеспечено при установке анодного напряжения 66 кВ. Экспонирование полей сенситограммы выполнялось на определенных расстояниях от фокуса трубы, которые были выбраны при калибровке установки таким образом, чтобы величина воздушной кермы изменялась равномерно по логарифмической шкале. Время облучения каждого поля на сенситограммах "синих" систем составляло около 65 мс, на сенситограммах "зеленых" систем – около 60 мс, т.е. находилось в середине диапазона, установленного стандартом - (60±30) мс.

Чувствительность по ИСО определялась при том же качестве излучения, что и форма характеристической кривой. Однако вместо дополнительного фильтра у трубы перед кассетой на расстоянии 60 мм от плоскости пленки устанавливался фантом, имитирующий череп человека, который должен применяться для определения чувствительности в режиме экспонирования II. Для этой цели в соответствии с требованиями стандарта использовалась пластина из чистого алюминия толщиной 12 мм, имеющая форму квадрата со стороной 30 см, которая облучалась при экспонировании полностью.

Для определения чувствительности измерялась воздушная керма  $K_i$  трех экспозиций, приводящих к образованию на пленке значений нетто-плотности<sup>2</sup>  $D_i$  в пределах диапазона (1,0±0,3). Затем по определенной ранее характеристической кривой для разности  $\Delta D = D_i - 1,0$  находилась соответствующая ей разность  $\Delta \log K_i$ . Эта величина использовалась для коррекции измеренных значений  $K_i$ , чтобы получить значения  $K_i^*$ , соответствующие нетто-плотности 1,0 в случае экспонирования за фантомом. Чувствительность по ИСО (S) вычислялась по формуле:

$$S = \frac{K_0}{K_S} , \quad (1)$$

---

<sup>2</sup> Нетто-плотность – понятие, введенное в стандарте ИСО для обозначения оптической плотности экспонированной и обработанной пленки за вычетом ее минимальной плотности.

где  $K_0$  равно  $10^{-3}$  Гр;

$K_s$  - среднее трех значений  $K_i^*$ , выраженное в Гр.

Экспонирование идентичных комплектов кассета/экран/пленка на рентгеносенситометрической установке по ОСТ проводилось в двух режимах:

- 1) СПО 7 мм Al, дополнительная фильтрация 20 мм Al, уставка анодного напряжения 77 кВ.
- 2) СПО 5,7 мм Al, дополнительная фильтрация 12 мм Al, уставка анодного напряжения 73 кВ.

Качество излучения в первом режиме являлось стандартным для экспонирования по ОСТ, а во втором – соответствовало требованиям ИСО.

Стандартная чувствительность по ОСТ ( $S_{0,85}$ ), выражаемая в обратных Рентгенах, рассчитывалась по формуле:

$$S_{0,85} = \frac{1}{H_{kp}}, \quad (2)$$

где  $H_{kp}$  – экспозиционная доза в Рентгенах, соответствующая на характеристической кривой нетто-плотности 0,85, которая используется в качестве критериальной величины для определения чувствительности в методе ОСТ.

Дополнительно к этому при втором режиме экспонирования для каждой системы определялась чувствительность  $S_{1,0}$ , соответствующая критериальной нетто-плотности 1,0 на характеристической кривой, которая рассчитывалась как в обратных Рентгенах, так и в безразмерных единицах, принятых в ИСО<sup>3</sup>.

Средний градиент при исследованиях методами ОСТ и ИСО определялся по формуле:

$$g = \frac{D_2 - D_1}{\log K_2 - \log K_1}, \quad (3)$$

где  $D_2$  и  $D_1$  – нетто-плотности 2,0 и 0,25, соответственно;

---

<sup>3</sup> Следует отметить, что чувствительность  $S_{1,0}$ , определенная в безразмерных единицах ИСО, не является чувствительностью по ИСО, так как получена в условиях экспонирования, не соответствующих данному стандарту. По этой причине для этой величины мы используем другое обозначение.

$K_2$  и  $K_1$  – относительные значения воздушной кермы (или экспозиционной дозы при методе ОСТ), соответствующие нетто-плотностям  $D_2$  и  $D_1$  на характеристической кривой.

## Результаты и обсуждение

Рентгеносенситометрические параметры различных систем<sup>4</sup>, полученные при экспонировании методами ОСТ и ИСО, представлены в таблице 1, в которой использованы следующие обозначения:  $S_{0,85}$ ,  $P^{-1}$  – стандартная чувствительность по ОСТ в обратных Рентгенах;  $S_{1,0}$ ,  $P^{-1}$  – чувствительность в обратных Рентгенах, определенная методом ОСТ для критериальной плотности 1,0;  $S_{1,0}$  – чувствительность в безразмерных единицах ИСО, определенная методом ОСТ для критериальной плотности 1,0;  $S$  – чувствительность по ИСО,  $g$  – средний градиент.

Таблица 1.

Рентгеносенситометрические параметры систем, определенные разными методами

Исследуемая система с пленкой	Результаты сенситометрии методом ОСТ						Результаты сенситометрии методом ИСО	
	СПО 7 мм Al		СПО 5,7 мм Al				СПО 5,7 мм Al	
	$S_{0,85}$ , $P^{-1}$	$g$	$S_{0,85}$ , $P^{-1}$	$S_{1,0}$ , $P^{-1}$	$S_{1,0}$	$g$	$S$	$g$
Curix RP-1	660	2,6	640	570	65	2,6	95	2,5
Super RX	780	2,5	740	660	75	2,5	100	2,5
Kodak MXBE	870	2,3	830	740	85	2,3	105	2,1
ORTHO CP-GU	4150	2,3	3400	2950	340	2,3	325	2,2
Super HR-U	2500	2,6	1950	1750	200	2,6	325	2,5
Kodak MXG	2850	2,5	2150	1900	220	2,5	305	2,5

При сравнении данных, полученных методом ОСТ, видно, что переход от экспонирования со стандартным качеством излучения (СПО 7 мм Al) к экспонированию более мягким излучением (СПО 5,7 мм Al) не приводит к каким-либо изменениям среднего градиента.

<sup>4</sup> Для идентификации систем в таблице указаны только пленки. Остальные элементы систем подробно описаны в разделе "Методике исследования".

Однако чувствительность всех систем становится ниже, причем у "синих" систем она уменьшается примерно на 5%, а у "зеленых" – примерно на 20%. Наблюдаемое различие в поведении "синих" и "зеленых" систем объясняется тем, что гадолиниевые экраны обладают более выраженной зависимостью эффективности от энергии рентгеновского излучения, чем вольфраматные.

Оценка чувствительности методом ОСТ с применением более высокой критериальной нетто-плотности (то есть 1,0 вместо 0,85) приводит к дополнительному снижению чувствительности всех систем приблизительно на 10%. Это связано с тем, что на характеристической кривой более высоким оптическим плотностям отвечают более высокие экспозиционные дозы. Соответственно, чувствительность, которая является величиной, обратной экспозиционной дозе, необходимой для образования критериальной нетто-плотности, уменьшается с увеличением этой плотности.

Таким образом, общее снижение величины чувствительности по ОСТ, происходящее в результате перехода к качеству излучения и критериальной плотности, принятых в методе ИСО, составляет для "синих" систем около 15%, а для "зеленых" – около 30%.

Сравнение результатов, полученных разными методами, не позволяет обнаружить явных различий в среднем градиенте для каждой отдельно взятой системы, так как небольшая разница в значениях (0,1-0,2), которая наблюдается у некоторых систем, не превышает погрешности определения. Тем не менее, рассмотрение всей совокупности данных показывает, что применение метода ОСТ, в принципе, может приводить к завышению среднего градиента некоторых систем, поскольку все зарегистрированные отклонения направлены только в эту сторону<sup>5</sup>. В этой связи мы хотим отметить, что все наши рекомендации об ограничении в применении некоторых пленок из-за низких значений среднего градиента, определенных

---

<sup>5</sup> Этот вывод подтверждается также результатами аналогичных исследований, проведенных нами с применением реактивов другого производителя.

методом ОСТ (Головкова и др., 2011; Рюдигер и др., 2000а; Рюдигер и др., 2000б), сохраняют свою актуальность.

Что касается чувствительности, то в целом метод ОСТ существенно занижает реальную величину этого параметра (на 20-40%). Исключением является только система с пленкой ORTHO CR-GU, для которой оба метода дают приблизительно одинаковые результаты. Однако исследование возможных причин особенного поведения этой пленки является достаточно сложной задачей и выходит за рамки данной работы. Следует также отметить, что те существенные различия в чувствительности некоторых рентгенографических пленок общего назначения, которые мы наблюдали на основе метода ОСТ (Головкова, Рюдигер, 2013а; Головкова, Рюдигер, 2013б), были обусловлены по большей части недостатками, свойственными этому методу. Первый опыт применения метода ИСО показывает, что различия в чувствительности пленок разных производителей являются крайне незначительными, так как в зависимости от выбора пленки чувствительность "синей" системы изменяется всего лишь на 10%, а зеленой – еще меньше.

## **Заключение**

Рентгеносенситометрическое исследование, проведенное нами для систем кассета/экран/пленка/процесс обработки, показало, что метод по ОСТ 6-17-54-80 не позволяет получать данные, идентичные результатам сенситометрии по ГОСТ ISO 9236-1-2011, особенно для величины чувствительности. По этой причине, а также из-за отсутствия всякой корреляции с методом ИСО, метод ОСТ не следует применять для определения абсолютных величин рентгеносенситометрических параметров систем с усиливающими экранами.

В то же время он по-прежнему остается пригодным для рентгеносенситометрических исследований безэкраных систем, для исследования относительных изменений рентгеносенситометрических параметров экранных систем в зависимости от качества излучения и условий обработки, а также для контроля качества серийной продукции.

## **Список литературы**

1. Головкова С.И., Мягкова М.Г., Рюдигер Ю., Шевченко В.Н. Рентгеносенситометрические параметры медицинских рентгенографических пленок общего назначения. Вестник РНЦРР. 2011. Выпуск 11. Т. 4. URL: [http://vestnik.rncrr.ru/vestnik/v11/papers/golov\\_v11.htm](http://vestnik.rncrr.ru/vestnik/v11/papers/golov_v11.htm) (дата обращения 11.06.2015).
2. Головкова С.И., Рюдигер Ю. Изменения сенситометрических параметров медицинских рентгенографических пленок. Часть 1. Оценка при автоматическом способе обработки. Медицинская техника. 2013. № 5. С. 37-39.
3. Головкова С.И., Рюдигер Ю. Изменения сенситометрических параметров медицинских рентгенографических пленок. Часть 2. Оценка при ручном способе обработки. Медицинская техника. 2013. № 6. С. 21-25.
4. ГОСТ Р ИСО 9236-1-2008. Сенситометрия систем экран/пленка для медицинской рентгенографии. Часть 1. Определение формы характеристической кривой, чувствительности и среднего градиента. М: Стандартинформ. 2009.
5. ГОСТ ISO 9236-1-2011. Сенситометрия систем экран/пленка для медицинской рентгенографии. Часть 1. Определение формы характеристической кривой, чувствительности и среднего градиента. М: Стандартинформ. 2013.
6. Жегалкин Г.А. Рентгеновская сенситометрия. Труды ЦИР и Р. 1941. Т. IV. С. 48-54.
7. Маслов Л.А., Гурвич А.М., Чикирдин Э.Г. и др. Сравнение различных методов рентгеновской сенситометрии. Медицинская техника. 1988. № 5. С. 36-41.
8. ОСТ 6-17-54-80. Материалы фотографические черно-белые на прозрачной подложке. Метод рентгеносенситометрического испытания радиографических и флюорографических пленок. М. 1980.
9. Рюдигер Ю., Головкова С.И., Кавторова В.П. и др. К вопросу о применимости медицинских радиографических пленок зарубежного производства при различных способах обработки. Вестник рентгенологии и радиологии. 2000. №3. С 60-62.

10. Рюдигер Ю., Головкова С.И., Кавторова В.П. и др. Рентгеносенситометрические показатели зарубежных медицинских радиографических пленок при ручной обработке. Лучевая диагностика и лучевая терапия на пороге третьего тысячелетия. Тезисы докладов конференции. Москва. 2000. С. 511-513