

14. *Maierov E.E., Prokopenko V.T., Ushveridze L.A.* A system for the coherent processing of specklegrams for dental tissue surface examination // *Biomedical Engineering*. 2014. Vol. 47. № 6. PP. 304-306.
15. *Майоров Е.Е., Машек А.Ч., Удахина С.В., Цыганкова Г.А., Хайдаров Г.Г., Черняк Т.А.* Разработка компьютерной интерференционной системы контроля негладких поверхностей // *Приборы*. 2015. № 11 (185). С. 26-31.
16. *Майоров Е.Е., Прокопенко В.Т., Машек А.Ч., Цыганкова Г.А., Курлов А.В., Хохлова М.В., Кирик Д.И., Капранов Д.Д.* Экспериментальное исследование метрологических характеристик автоматизированной интерферометрической системы измерения формы поверхности диффузно отражающих объектов // *Измерительная техника*. 2017. № 10. С. 33-37.
17. *Майоров Е.Е., Машек А.Ч., Цыганкова Г.А., Поликарпова А.А., Константинова А.А., Хохлова М.В.* Исследование интерферометра Майкельсона с когерентно-ограниченным источником излучения для контроля диффузно отражающих объектов // *Известия ТулГУ. Технические науки*. 2018. Вып. 4. С. 387-397.
18. *Майоров Е.Е., Машек А.Ч., Цыганкова Г.А., Абрамян В.К., Хайдаров Г.Г., Хайдаров А.Г., Константинова А.А.* Анализ интерференционного сигнала когерентно-ограниченной системы контроля негладких поверхностей // *Известия ЮФУ. Технические науки*. 2018. № 2. С. 221-233.

Евгений Евгеньевич Майоров,
канд. техн. наук, зав. кафедрой,
Университет при Межпарламентской
Ассамблее ЕврАзЭС,
Людмила Ивановна Шаламай,
канд. мед. наук, доцент,
Первый Санкт-Петербургский
государственный медицинский университет
им. акад. И.П. Павлова,
Александр Владимирович Дагаев,
канд. техн. наук, доцент,
Санкт-Петербургский университет
технологий управления и экономики,
Дмитрий Игоревич Кирик,
канд. техн. наук, доцент,
Санкт-Петербургский государственный
университет телекоммуникаций
им. проф. М.А. Бонч-Бруевича,
Марина Владимировна Хохлова,
канд. техн. наук, доцент,
Военно-космическая академия
им. А.Ф. Можайского,
г. С.-Петербург,
e-mail: *majorov_ee@mail.ru*

С.И. Головкова, Ю. Рюдигер

Рентгеносенситометрические характеристики систем для общей рентгенографии при автоматической обработке пленок в разных реактивах

Аннотация

Методом ИСО исследованы рентгеносенситометрические характеристики синих и зеленых систем экран/пленка для общей рентгенографии, включающих в себя наиболее распространенные в России синечувствительные и ортохроматические пленки. Проведено сравнение значений чувствительности, среднего градиента, минимальной и максимальной плотности, полученных при автоматической обработке пленок в реактивах трех производителей.

Введение

Мы неоднократно публиковали данные о рентгеносенситометрических характеристиках рентгенографических пленок общего назначения при автоматической обработке в разных реактивах [1]-[5]. Во всех этих работах исследование проводилось методом ОСТ [6], который являлся стандартным методом исследования рентгеносенситометрических характеристик пленок в нашей стране на протяжении нескольких десятилетий. Следует отметить, что сенситометрические параметры рентгенографических пленок общего назначения, определявшиеся этим методом, на самом деле являются характеристиками систем, поскольку пленки экспонировались в кассетах в комбинации с эталонными усиливающими экранами. Однако из-за модуляции экспозиции по шкале времени и применения многократного экспонирования метод ОСТ может приводить к искажению рентгеносенситометрических характеристик систем с усиливающими экранами. Позднее в нашей стране был внедрен метод ИСО [7], в котором модуляция экспозиции осуществляется по шкале интенсивности, а все поля сенситограммы экспонируются однократно и в течение одного и того же времени. Первый опыт применения нами этого стандарта с подробным сравнением двух разных методов и полученных результатов отражен в работе [8]. Настоящее исследование предпринято с целью сравнения рентгеносенситометрических характеристик систем экран/пленка для общей рентгенографии, полученных методом ИСО при автоматической обработке пленок в разных реактивах.

Материалы и методика исследования

Нами были исследованы рентгеносенситометрические характеристики различных синих и зеленых систем для общей рентгенографии. Синие системы включали в себя комплект усиливающих экранов «Ренекс ЭУ-В2» и одну из синечувствительных пленок: «Curix RP-1» (производства «Agfa HealthCare N.V.»), «Retina XBE» («Carestream Health Inc.»), «Super RX-N» («Fujifilm Corp.») или «Super RX» («Fujifilm Corp.»). В состав зеленых систем входил комплект усиливающих экранов «Ренекс ЭУ-Г3», а также одна из ортохроматических пленок: «Ortho CP-GU» («Agfa HealthCare»), MXG («Carestream Health») или «Super HR-U» («Fujifilm»). Экспонирование всех систем экран/пленка осуществлялось в кассете «Ренекс КРП» в соответствии с положениями стандарта ИСО [7]. Для обработки сенситограмм поочередно применялись реактивы «РЕНМЕД-АВТО-ПК»/«РЕНМЕД-АВТО-ФК» (производства ООО «Фирма «ВИПС-МЕД»), «SFM ROLL-D»/«SFM ROLL-F» («SFM Hospital Products GmbH») или «X-OMAT EX II»/«RP X-OMAT LO» («Carestream Health Inc.»). Обработка сенситограмм во всех случаях проводилась в проявочном автомате «Compact 2» («Protex Medizintechnik GmbH») в одинаковых условиях: температура проявителя – 33 °С, продолжительность цикла – 2,2 мин.

Значения среднего градиента определялись по характеристическим кривым, полученным методом ИСО при качестве излучения II [7], характеризуемом слоем половинного ослабления (СПО) 5,7 мм Al (66 кВ, дополнительная фильтрация

12 мм Al). Время экспонирования всех полей на каждой отдельной сенситограмме было постоянным и составляло 58...62 мс для синих систем и 55...62 мс для зеленых систем. Средний градиент систем (\bar{g}) вычислялся по формуле

$$\bar{g} = \frac{D_2 - D_1}{\log_{10} K_2 - \log_{10} K_1}, \quad (1)$$

где D_2 и D_1 – значения нетто-плотности (т. е. оптической плотности экспонированной и обработанной пленки за вычетом ее минимальной плотности) 2,0 и 0,25 соответственно; K_2 и K_1 – соответствующие относительные значения воздушной кермы, определенные по характеристической кривой.

Чувствительность определялась в режиме экспонирования П [7], имитирующем условия рентгенографического исследования черепа в медицинской практике (СПО = 5,7 мм Al). Экспонирование проводилось при анодном напряжении 66 кВ с применением фантома, представляющего собой пластину из чистого алюминия толщиной 12 мм. Фантом имел форму квадрата со стороной 30 см и располагался перед кассетой на расстоянии 60 мм от плоскости пленки (дополнительный фильтр, который устанавливается у рентгеновской трубки для определения формы характеристической кривой, при определении чувствительности не используется). При экспонировании вся площадь фантома облучалась полностью.

Для расчета чувствительности измерялась воздушная керма K_i трех экспозиций, приводящих к образованию на пленке трех значений нетто-плотности D_i из диапазона ($1,0 \pm 0,3$). Затем по определенной ранее характеристической кривой для разности $\Delta D = D_i - 1,0$ находилась соответствующая ей разность $\Delta \log_{10} K_i$. Эта величина использовалась для коррекции измеренных значений K_i , чтобы получить значения K_i^* , соответствующие нетто-плотности 1,0. Чувствительность по ИСО (S) вычислялась по формуле

$$S = K_0 / K_S, \quad (2)$$

где K_0 равно 10^{-3} Гр; K_S – среднее арифметическое трех значений K_i^* , Гр.

Минимальная плотность измерялась на неэкспонированном участке, а максимальная плотность – на последнем поле сенситограммы, подвергнутой химико-фотографической обработке.

Результаты и обсуждение

Рентгеносенситометрические параметры исследованных систем приведены в табл. 1, в которой использованы следующие обозначения: S – чувствительность; \bar{g} – средний градиент; D_{\min} – минимальная плотность, Б; D_{\max} – максимальная плотность, Б.

Из приведенных в табл. 1 данных видно, что между характеристиками синих и зеленых систем существуют некоторые различия. Разумеется, более высокая чувствительность зеленых систем связана с преимуществом по эффективности гадолиниевых экранов 3-го класса, т. е. повышенного усиления (класса 200), над «стандартными» вольфраматными экранами 2-го класса усиления (класса 100). Однако различие значе-

ний среднего градиента систем свидетельствует о том, что ортохроматические пленки в среднем обладают большей контрастностью, нежели синечувствительные. Можно также отметить, что минимальная плотность у синечувствительных пленок немного выше, чем у ортохроматических, и что ее значение практически не зависит от применяемых реактивов (за исключением пленки «Curix RP1»).

Синие системы

Существенных изменений чувствительности синих систем, связанных с применением разных реактивов, не обнаружено. Максимальная разница в чувствительности зарегистрирована у системы с пленкой «Curix RP-1» при обработке в реактивах «X-OMAT» и «РЕНМЕД-АВТО». Однако она не превышает 15 % и, скорее всего, не приведет к необходимости изменения условий экспонирования в медицинской практике.

Независимо от применяемых реактивов средний градиент синих систем также меняется незначительно за исключением системы с пленкой «Super RX-N». Необходимо отметить, что эта пленка обладает самым низким средним градиентом и самой низкой максимальной плотностью при обработке во всех реактивах. Но если реактивы «РЕНМЕД-АВТО» и «X-OMAT» обеспечивают эти параметры хотя бы на уровне, свойственном флюорографическим пленкам, то реактивы «SFM ROLL» не позволяют достичь даже таких результатов: нетто-плотность 2,0, необходимая для определения среднего градиента, образуется на пленке только при очень больших экспозициях, что приводит к чрезвычайно низкой величине среднего градиента – 0,9. По этой причине мы рекомендуем не применять реактивы «SFM ROLL» для обработки пленки «Super RX-N». Более того, и при обработке в реактивах «РЕНМЕД-АВТО» и «X-OMAT» пленка «Super RX-N» не является универсальной. На наш взгляд, она может применяться только для исследования высококонтрастных объектов, например грудной клетки, ЖКТ с контрастированием и т. п. В связи с этим хотелось бы отметить, что другая синечувствительная пленка «Super RX», поставившаяся раньше тем же производителем, не имела подобных ограничений области применения. Несмотря на истекший срок годности и обусловленную этим обстоятельством высокую минимальную плотность, она и по сей день обладает существенно более высоким средним градиентом, чем пленка «Super RX-N». (Для более объективного сравнения можем указать, что до окончания срока годности пленки «Super RX» ее средний градиент при обработке в реактивах «РЕНМЕД-АВТО» составлял 2,6.) Кроме того, максимальная плотность пленки «Super RX» находится на одном уровне с синечувствительными пленками других производителей.

Дополнительно можно отметить, что по величине максимальной плотности, производимой на синечувствительных пленках, реактивы «SFM ROLL» уступают аналогам. Однако ввиду достаточно высоких абсолютных значений этого параметра отмеченное отличие, вероятнее всего, не отразится на информативности рентгенограмм, полученных на всех пленках, за исключением «Super RX-N».

Таблица 1

Рентгеносенситометрические параметры систем при обработке в разных реактивах

Исследованные системы		Реактивы											
		РЕНМЕД-АВТО				SFM ROLL				X-OMAT			
Экраны	Пленка	S	\bar{g}	D_{\min}	D_{\max}	S	\bar{g}	D_{\min}	D_{\max}	S	\bar{g}	D_{\min}	D_{\max}
Ренекс ЭУ-В2	Curix RP-1	130	2,2	0,33	3,20	140	2,2	0,35	2,93	150	2,1	0,37	3,16
	Retina XBE	135	2,2	0,31	2,78	150	2,2	0,30	2,65	150	2,4	0,30	2,86
	Super RX	135	2,4	0,42	2,99	135	2,1	0,42	2,81	130	2,3	0,43	3,07
	Super RX-N	130	1,7	0,24	2,32	125	0,9	0,23	2,23	125	1,6	0,25	2,41
Ренекс ЭУ-Г3	Ortho CP-GU	460	2,8	0,24	3,03	335	2,5	0,23	2,84	310	2,4	0,23	3,15
	MXG	330	2,5	0,23	2,82	360	2,2	0,23	2,76	405	2,5	0,23	2,94
	Super HR-U	360	2,7	0,26	2,94	380	2,4	0,26	2,78	385	2,7	0,26	3,06

Чувствительность зеленой системы с пленкой «Super HR-U» практически не зависит от применяемых реактивов. Влияние реактивов на чувствительность двух других зеленых систем является довольно сильным, но из-за неодинаковой направленности изменений у разных систем нельзя отдать предпочтение каким-либо одним реактивам. С одной стороны, по сравнению с аналогом «РЕНМЕД-АВТО» реактивы «X-ОМАТ» позволяют получить выигрыш в чувствительности системы с пленкой MXG около 20 %. С другой стороны, реактивы «РЕНМЕД-АВТО» обладают самой высокой проявляющей активностью в отношении пленки «Ortho CP-GU». Благодаря этому они обеспечивают чувствительность системы с этой пленкой в 1,5 раза выше, чем реактивы «X-ОМАТ», и в 1,4 раза выше, чем реактивы «SFM ROLL». Такая большая разница гарантирует снижение экспозиции в медицинской практике, как минимум, на одну ступень.

Одновременно с высокой чувствительностью реактивы «РЕНМЕД-АВТО» позволяют для системы с пленкой «Ortho CP-GU» получить также самый высокий средний градиент, что может способствовать повышению качества диагностики, особенно при исследовании мелких и малоконтрастных объектов. Для двух других систем с пленками MXG и «Super HR-U» реактивы «РЕНМЕД-АВТО» наряду с реактивами «X-ОМАТ» обеспечивают заметно больший средний градиент, чем реактивы «SFM ROLL».

При сравнении реактивов «SFM ROLL» с аналогами у всех зеленых систем также отмечается небольшое снижение максимальной плотности, хотя это обстоятельство не имеет принципиального значения для применения в медицинской практике.

Выводы

В результате проведенного исследования установлено, что все три использовавшихся вида реактивов обеспечивают подходящие для применения в медицинской практике рентгеносенситометрические характеристики всех систем за исключением синей системы с пленкой «Super RX-N». Данная пленка характеризуется крайне низкими значениями среднего градиента и максимальной плотности при обработке в реактивах «РЕНМЕД-АВТО» и «X-ОМАТ», а в реактивах «SFM ROLL» – беспрецедентно низкими. По этой причине мы рекомендуем не использовать реактивы «SFM ROLL» для обработки пленки «Super RX-N» и ограничить ее применение исследованиями только высококонтрастных объектов и обработкой в двух других реактивах.

Несмотря на определенное влияние реактивов на величину рентгеносенситометрических характеристик остальных систем, большинство выявленных различий являются несущественными. Вместе с тем, при исследовании зеленых систем были обнаружены некоторые преимущества тех или иных реактивов для обработки отдельных пленок. Так, для обработки пленки «Ortho CP-GU» предпочтительнее применять реактивы «РЕНМЕД-АВТО», а для обработки пленки MXG – реактивы «X-ОМАТ». Значения среднего градиента (и тем самым контрастность изображения), полученные на ортохроматических пленках MXG и «Super HR-U» при обработке пленок в реактивах «SFM ROLL», немного ниже, чем при обработке в других реактивах.

В заключение хотелось бы отметить, что выводы, сделанные в рассматриваемой работе, можно распространить на системы с любыми усиливающими экранами независимо от класса усиления. Замена экранов приводит лишь к изменению абсолютных значений чувствительности, в то время как их соотношение для каждой исследованной пленки при обработке в тех же реактивах останется прежним. Значения среднего градиента и максимальной плотности сохранятся на том же уровне, поскольку их величина зависит только от совокупности индивидуальных свойств пленки и реактивов, а усиливающие экраны не оказывают влияния на эти характеристики.

Список литературы:

1. Рюдигер Ю., Головкова С.И., Кавторова В.П. и др. К вопросу о применимости медицинских радиографических пленок зарубежного производства при различных способах химико-фотографической обработки // Вестник рентгенологии и радиологии. 2000. № 3. С. 60-62.
2. Головкова С.И., Мязкова М.Г., Рюдигер Ю., Шевченко В.Н. Показатели современных рентгенографических пленок / Материалы V Всероссийского национального конгресса лучевых диагностов и терапевтов «Радиология-2011». Москва, 25-27 мая 2011 г. // Диагностическая и интервенционная радиология. 2011. Т. 5. № 2. С. 126-127.
3. Головкова С.И., Мязкова М.Г., Рюдигер Ю., Шевченко В.Н. Рентгеносенситометрические параметры медицинских рентгенографических пленок общего назначения. // Вестник РНЦРР. 2011. № 11 / http://vestnik.rncrr.ru/vestnik/v11/papers/golov_v11.htm (дата обращения 24.09.2018).
4. Головкова С.И., Рюдигер Ю. Исследование реактивов «РЕНМЕД-АВТО» для автоматической обработки медицинских рентгеновских пленок // Вестник РНЦРР. 2011. Вып. 13. Т. 1 / http://vestnik.rncrr.ru/vestnik/v13/papers/rudiger_v13.htm (дата обращения 24.09.2018).
5. Golovkova S.I., Rüdiger J. Changes in Sensitometric Parameters of Medical X-Ray Films. Part 1: Evaluation using automatic processing // Biomedical Engineering. 2014. Vol. 47. № 5. PP. 264-267.
6. ОСТ 6-17-54–80 Материалы фотографические черно-белые на прозрачной подложке. Метод рентгеносенситометрического испытания радиографических и флюорографических пленок.
7. ГОСТ ISO 9236-1–2011 Сенситометрия систем экран/пленка для медицинской рентгенографии. Часть 1. Определение формы характеристической кривой, чувствительности и среднего градиента.
8. Головкова С.И., Рюдигер Ю. Сравнение двух методов рентгеновской сенситометрии // Вестник РНЦРР. 2015. Т. 15. № 3 / http://vestnik.rncrr.ru/vestnik/v15/papers/golovkova_v15-3.htm (дата обращения 24.09.2018).

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