

Оптимизация разрешающей способности цифровых флюорографов

А.И. Мазуров, М.Б. Элинсон

ЗАО “НИПК “Электрон”, Санкт-Петербург

За последние несколько лет наблюдается устойчивая тенденция оснащения флюорографической службы России цифровыми флюорографическими аппаратами, которые имеют целый ряд несомненных преимуществ по сравнению с пленочными флюорографами [1]. Уже не менее 10 российских предприятий серийно выпускают цифровые флюорографы (“Гелпик”, “Электрон”, “Спектр-АП”, “Амико”, “Научприбор”, “Вымпел”, “Мосрентген”, “Медрентех” и др.), что позволяет констатировать подготовленность технической базы для замены пленочной флюорографии на цифровую. Производимые фирмами цифровые флюорографы построены на разных типах приемников и, естественно, отличаются целым рядом параметров и характеристик [2].

Наиболее близкими по принципу построения к классическим пленочным флюорографам являются цифровые аппараты, в которых используется тот же метод съемки с рентгеновского экрана, но не на пленку, а на ПЗС-матрицу телевизионной камеры. Второй класс флюорографов создан на базе линеек рентгеновских детекторов с механическим сканированием грудной клетки узким веерным пучком рентгеновского излучения. Третий класс флюорографов создан на базе рентгеновского электронно-оптического преобразователя, который для обеспечения требуемого рабочего поля последовательно перемещается по четырем квадратам рабочего поля с последующей “сшивкой” 4 оцифрованных изображений в единое изображение.

В флюорографии всегда имеется необходимость установления оптимального соотношения между уровнем риска от рентгеновского излучения и выигрышем за счет лучшей диагностики. Эта оптимизация достигается ограничением параметров и характеристик флюорографа на уровне достаточности с целью минимизации экспозиционной дозы и стоимости флюорографа. В первую очередь, это

относится к пространственной разрешающей способности приемников, которая у приемников разных флюорографов находится в пределах от 1 до 2,5 мм⁻¹. Это очень большой разброс. По вопросу оптимизации разрешающей способности флюорографов существует две точки зрения. Например, в письме [3] рекомендуется ограничить разрешение флюорографа на уровне 1,2 мм⁻¹, а на сайте “Амико” – на уровне 1,4–1,6 мм⁻¹. В защиту своей точки зрения “Амико” на сайте выдвигает следующие аргументы:

увеличение разрешения приемников в 2 раза, т.е. числа элементов приемника с 1000 × 1000 до 2000 × 2000, что требует увеличения дозы в плоскости приемника в 4 раза;

стоимость приемника с большим числом разрешаемых элементов изображения возрастает;

для хранения цифровых рентгенограмм с числом элементов 4 × 10⁶ по сравнению с рентгенограммами с числом элементов 10⁶ требуется в 4 раза больший объем памяти.

Самый главный заключительный аргумент: разрешающая способность в 2,5 мм⁻¹ является избыточной для скринингового метода и приводит к увеличению дозы на исследования и стоимости флюорографа.

Вторая точка зрения, которой придерживается НИПК “Электрон”, противоположна первой и состоит в следующем. Разрешающую способность приемников цифровых флюорографов необходимо оптимизировать на уровне 2,5 мм⁻¹ по следующим причинам.

1. Нельзя игнорировать тот факт, что разрешающая способность пленочных флюорографических камер нормируется на уровне не ниже 2,5 мм⁻¹. Доза на пленочных флюорографах в несколько раз больше, чем на цифровых, и, казалось бы, именно на этих камерах необходимо снизить разрешение с целью уменьшения лучевой нагрузки. Но этого не происходит. Например, на современной камере пленочного

флюорографа 12Ф9 даже для пленки 70×70 мм разрешение нормировано в $2,5 \text{ мм}^{-1}$. Это норма оправдала себя при эксплуатации в России более 15 тыс. пленочных флюорографов, 5 тыс. из которых еще продолжают работать. Дело в том, что, по мнению рентгенологов [3, 4], на снимках легких должны быть видны образования площадью около 1 мм^2 . В таких образованиях (одиночных деталях произвольной формы и с различной крутизной фронтов) основная часть энергии спектра пространственных частот сосредоточена в диапазоне от 0 до приблизительно 2 мм^{-1} [5]. Поэтому сохранение этого спектра пространственных частот в рентгеновском изображении легких обеспечивает высокую вероятность видимости образований с диаметром около 1 мм. Из теории визуального восприятия объектов известно, что уверенное различение детали диаметром 1 мм обеспечивается, если на нее приходится не менее 16 пикселей, что соответствует разрешению приемника не менее 2 мм^{-1} . Это же подтверждают психофизиологические исследования, которые показали, что для предотвращения отвлекающего эффекта строк раstra монитора, отрицательно влияющего на работу рентгенолога, растр должен содержать не менее 4 строк на 1 мм, т.е. минимум 16 элементов на 1 мм^2 .

2. До сих пор речь шла о разрешающей способности приемника флюорографа, которую в литературе и технических условиях на флюорограф приводят как разрешение всего аппарата. Но, как известно, разрешающая способность флюорографа определяется не только приемником. Разрешение флюорографа зависит также от размеров фокусного пятна рентгеновской трубки, подвижности органов грудной клетки и геометрического увеличения рентгеновского изображения [6]:

$$R_{\phi} = R_{\pi} \frac{m_0}{\sqrt{1 + (m_0 - 1)^2 (fR_{\pi})^2 + m_0^2 (vtR_{\pi}^2)}} .$$

Здесь R_{ϕ} — разрешающая способность флюорографа, R_{π} — разрешающая способность приемника, m_0 — геометрическое увеличение объекта, f — размер фокусного пятна трубки, v — скорость движения изображения внутренних органов во входной плоскости приемника, t — время экспозиции.

В большинстве флюорографов применяют двухфокусные рентгеновские трубки с фокусами 0,6 и 1,2 мм, но с целью сокращения выдержки работают, как правило, на фокусе $f = 1,2$ мм.

При фокусных расстояниях флюорографов 100–120 см среднее увеличение органов грудной клетки можно принять равным $m_0 = 1,2$.

Приводимые в литературе данные по скоростям движения внутренних органов грудной клетки имеют сильный разброс: от 5 до 100 мм/с. В работе [4] приведены самые высокие скорости движения: клапаны сердца — 500 мм/с, сердце — 100 мм/с, легкие — 100 мм/с. При оценке разрешения флюорографа примем значение скорости $v = 25$ мм/с.

Опытным путем установлено, что динамическая нерезкость не сказывается на разрешающей способности аппаратов для исследования органов грудной клетки, если экспозиции составляют не более 10 мс. К сожалению, возможность использования коротких выдержек ограничивается мощностью излучателей и мощностью рентгеновских питающих устройств. Например, при режиме съемки: напряжение на трубке 100 кВ, количество электричества 5 мАс, экспозиция 5 мс, требуются излучатель и питающее устройство мощностью 100 кВт.

Поэтому на практике на флюорографах с маломощным питающим устройством экспозиции могут достигать 100 мс и более. Для расчетов примем $t = 20$ мс.

Тогда при $R_{\pi} = 2,5 \text{ мм}^{-1}$, $f = 1,2$ мм, $v = 25$ мм/с, $t = 20$ мс, $m_0 = 1,2$ разрешающая способность флюорографа, рассчитанная по вышеприведенной формуле, будет равна $1,6 \text{ мм}^{-1}$. При больших выдержках, фокусах трубок и скоростях движения внутренних органов разрешение флюорографа еще больше уменьшится по сравнению с разрешением приемника. Из этого расчета можно сделать вывод, что разрешение приемника $2,5 \text{ мм}^{-1}$ для исследования подвижных органов грудной клетки не является избыточным. При меньшем разрешении увеличивается вероятность пропуска патологических изменений.

3. Цифровые технологии имеют возможность адаптивного изменения разрешающей способности приемника. Во флюорографах на ПЗС-матрицах изменение разрешения легко реализуется путем изменения размера пиксела (биминг).

Например, в камере КФЦ-“Электрон”, которой оснащен цифровой флюорограф ФЦ-01-“Электрон”, имеется возможность такого изменения размера пиксела, что формируется растр 1000×1000 или 2000×2000 элементов. Переход от одного раstra к другому реализован программными средствами.

Это позволяет работать как в режиме максимальной чувствительности, так и максимального разрешения.

При снимках в боковой проекции или тучных пациентов, когда уровень шумов не позволяет реализовать разрешение, обеспечиваемое контрастно-частотной характеристикой флюорографа, приемник КФЦ-“Электрон” может быть переведен в режим пониженного разрешения (растр 1000×1000 элементов). Но не следует забывать, что при этом увеличивается вероятность пропуска патологии тонких структур.

Эксплуатация флюорографа ФЦ-01-“Электрон” в клиниках России показала, что в режиме максимального разрешения (2000×2000 пикселей) отпадает необходимость дообследования пациента, так как флюорограф можно эффективно использовать для дифференциальной диагностики заболеваний легких. Это экономит время и затраты и в конечном счете сокращает суммарную дозу облучения, полученного пациентом. Низкая же пространственная разрешающая способность цифровых флюорографов (с матрицей 1000×1000 пикселей и менее) не может компенсироваться их широким динамическим диапазоном, и этот класс аппаратов не различает тонкие структуры легких [6], что отрицательно сказывается на их чувствительности в медицинском смысле этого слова, т.е. увеличивается вероятность пропуска мелких новообразований.

4. Что касается объема памяти архива для хранения рентгенограмм, то объем памяти определяется, как правило, не емкостью исходных рентгенограмм, а целями архива. Сжатие цифрового потока возможно в любое разумное число раз.

Если подвести итог вышесказанному, то напрашивается вывод: разрешающая способ-

ность $2,5 \text{ мм}^{-1}$, нормированная для пленочных флюорографических камер, должна быть сохранена как оптимальная и для приемников цифровых флюорографов. А пути снижения лучевых нагрузок следует искать не в снижении разрешения приемника, а в подавлении рассеянного излучения, увеличении квантовой эффективности приемника, оптимизации качества рентгеновского излучения и неукоснительном соблюдении требований радиационной безопасности, регламентированных нормативными документами.

Хочется надеяться, что точка зрения, оправдывающая низкое разрешение флюорографов, была продиктована, скорее, рекламными целями, чем существом проблемы. Подтверждением этого является тот факт, что в новый справочник по медицинской технике для лучевой диагностики [2] все производители включили только новые флюорографы с разрешением от $1,6$ до $3,2 \text{ мм}^{-1}$.

Список литературы

1. *Вейн Ю.А., Мазуров А.И., Ребони В.О.* Проблемы технического оснащения флюорографической службы // Медицинская техника. 2003. № 5. С. 12–15.
2. Медицинская техника для лучевой диагностики: Справочник / Под ред. Леонова Б.И., Блинова Н.Н. М.: НПЦ Интелфорум, 2004.
3. *Харченко В.П.* Методическое письмо № 94/01-02 от 3 февраля 2001 г. главного радиолога МЗ РФ. М.: РНЦР, 2001.
4. *Нудельман С. и др.* Электронно-оптическая цифровая рентгенография // ТИИЭР. Т. 70. № 7. С. 14–48.
5. *Харкевич А.А.* Спектры и анализ. М.: ГИФМЛ, 1962.
6. *Белова И.Б.* Современные возможности и перспективы использования отечественных цифровых рентгенографических установок в лечебно-профилактических учреждениях: Автореф. дис. ... докт. техн. наук. Орел: Изд. ОрелЛУ, 2001.

В следующем номере журнала читайте:

Степанов В.В. Перечень документов и список литературы по организации работы рентгеновского отделения (кабинета) лечебно-профилактического учреждения (по состоянию на 1 августа 2004 г.)

Босин В.Ю., Зырянов В.Ю. Проблемы диагностики ранних форм почечной недостаточности

Буйлов В.М. Экскреторная урография: прощание преждевременно?