

УДК 616-073.75:681.32

Мазуров А. И., канд. техн. наук, зам. ген. директора по науке,
ЗАО «НИПК «Электрон»»

Потрахов Н. Н., д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой ЭПУ,
ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)»

Воспроизведение объемности исследуемых органов на микрофокусных рентгенограммах

Ключевые слова: воспроизведение объема, линейная перспектива, плоскость.

Keywords: volume reproduction, linear prospect, plane.

На контактных рентгенограммах практически не воспроизводится объемность просвечиваемых органов, так как при контактной съемке не соблюдается большинство законов перспективы. Этот недостаток можно частично устранить, используя метод просвечивания объекта микрофокусным источником излучения с увеличением изображения. Представляет научный и практический интерес анализ условий микрофокусной съемки, при которых на рентгенограмме отображается объемность исследуемых органов.

Введение

В рентгенологии часто встречается задача оценки глубины залегания патологии или объема исследуемого органа по рентгенограммам. Теневая рентгеновская проекция не дает представления об объеме просвечиваемого органа и глубине залегания патологии, так как в одну точку на плоскости попадают все точки объекта, расположенные на оси пучка рентгеновского излучения.

Каждая точка перспективных изображений натуральных сцен соответствует только одной точке сцены. Кроме того, в неискаженных перспективных изображениях натуральных сцен обеспечивается правильная передача подобия, масштаба и глубины, более четко воспроизводится крупномасштабный передний план. Восприятию объемности натуральных сцен в значительной степени способствуют также распределение светотеней и заслонение отдаленных предметов более близкими.

В контактных рентгенограммах сохраняется только принцип подобия, все остальные принципы, создающие иллюзию объема, нарушаются.

Только очень опытный рентгенолог, прекрасно знающий анатомию человека, может по одной рентгеновской проекции оценить объем исследуемого органа или глубины залегания патологии. Для оценки этих величин в рентгеновских исследованиях, как правило, выполняют две взаимно перпендикулярные проекции. Специальные радиологические методы (линейная томография, томосинтез, стереосъемка, компьютерная томография) позволяют оценить глубину и объем объекта исследования более точно.

Скиалогические закономерности рентгеновских снимков на микрофокусном аппарате при съемке с многократным увеличением изображения существенно отличаются от скиалогии контактных снимков [1]. Для них характерны:

- **подробная детализация из-за резкой передачи** мелких деталей независимо от глубины залегания;
- **большая разница масштабов** на изображении переднего и заднего планов просвечиваемого объекта;
- **большие геометрические искажения** объемных структур;
- **изменение контуробразующих точек** объектов из-за малого фокусного расстояния и др.

Все эти особенности требуют нового подхода к интерпретации микрофокусных снимков, выполненных с многократным увеличением изображения.

В нашей стране накоплен большой опыт описания микрофокусных рентгеновских снимков с многократным увеличением изображения [2,3]. Авторы указанных исследований единодушно отмечают, что на таких рентгенограммах уменьшена сумма теней изображения различных анатомических структур и в ряде случаев это благоприятно для передачи объемности исследуемых органов.

Материалы и методы

Проанализируем особенности микрофокусных рентгенограмм с многократным увеличением изображения, которые влияют на восприятие объемности изображения. Для этой цели будем использовать микрофокусный снимок тест-объекта прямоугольной формы, у которого центр одной из граней перпендикулярен оси пучка рентгеновского излучения рентгеновского пучка. Этот снимок приведен на рис. 1, как и графическая схема интерьера комнаты. Трехмерное представление об указанных объектах создается благодаря тому, что на обоих изображениях показана знакомая нам линейная перспектива. Разница заключается лишь в том, что на схеме интерьера отдаленная стенка комнаты имеет меньшие размеры и четкость, в то время как на рентгенограмме деталь, более удаленная от приемника тест-объекта, имеет больший размер. При этом, в отличие от контактного рентгеновского снимка, на снимке с большим увеличением контуры тест-объекта не расплываются, а, наоборот, воспроизводятся более четко, как в перспективном изображении.

Передача объемности

Наблюдатель судит о нерезкости изображения объекта на рентгеновском снимке не по ее абсолютной величине, а с учетом величины самого объекта. Поэтому геометрическую нерезкость H_r необходимо вычислять с учетом масштаба передачи фокусного пятна трубки и масштаба объекта, на котором фокусное пятно создает нерезкость [4]:

$$H_r = (fm_f)/m_o = [f(m_o - 1)]/m_o,$$

где f — размер фокусного пятна; m_f — увеличение фокусного пятна в плоскости детектора; m_o — увеличение объекта.

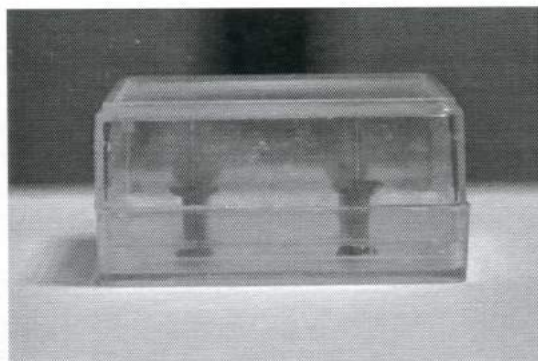
Тогда суммарная нерезкость H_Σ рентгенографической системы в составе рентгеновского аппарата и приемника изображения с учетом нерезкости приемника H_Π будет равна:

$$H_\Sigma = \sqrt{H_r^2 + H_\Pi^2} = (H_\Pi/m_o) \sqrt{1 + (m_o - 1)^2 (f/H_\Pi)^2}. \quad (2)$$

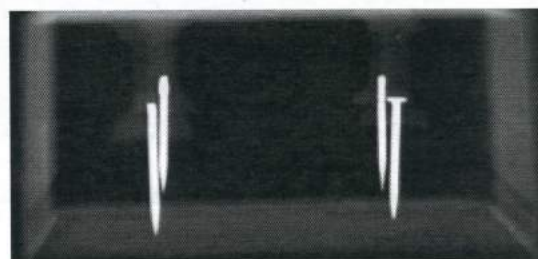
На рис. 2 представлено изменение величины суммарной нерезкости с ростом коэффициента увеличения изображения объекта m_o , которая нормирована на нерезкость приемника H_Π с разрешающей способностью $R_\Pi = 3,5 \text{ мм}^{-1}$ для аппарата для контактной съемки ($f = 1,2 \text{ мм}$, кривая 1) и микрофокусного аппарата ($f = 0,1 \text{ мм}$, кривая 2).

Анализ показывает, что микрофокусный аппарат обуславливает меньшую, а аппарат для контактной съемки — большую суммарную нерезкость системы, чем нерезкость приемника.

а)



б)



в)

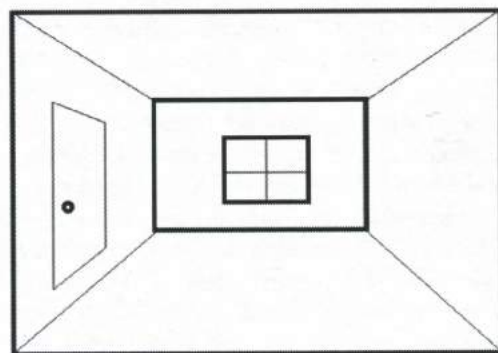


Рис. 1 Внешний вид (а) и микрофокусный рентгеновский снимок тест-объекта (б), графическая схема интерьера комнаты (в)

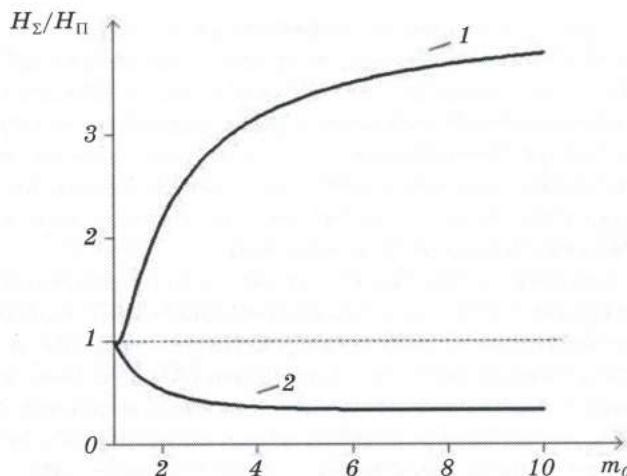


Рис. 2 Зависимость величины относительной нерезкости H_Σ/H_Π (отношение суммарной нерезкости к нерезкости приемника) от коэффициента увеличения изображения объекта m_o ; разрешающая способность приемника $R_\Pi = 3,5 \text{ мм}^{-1}$; 1 — $f = 1,2 \text{ мм}$; 2 — $f = 0,1 \text{ мм}$

Для каждого соотношения $H_{\text{п}}/f$ существует оптимальное увеличение изображения объекта $m_{\text{о}}^{\text{опт}} = 1 + (H_{\text{п}}/f)^2$, при котором обеспечивается минимальная суммарная нерезкость $H = H_{\text{п}}/\sqrt{m_{\text{о}}}$.

Таким образом, если при съемке на микрофокусном аппарате не допускать увеличения изображения объекта съемки больше оптимального, то по толщине объекта изменение нерезкости будет соответствовать закону линейной перспективы. Это создает предпосылки для возникновения иллюзии объемности [5]. На контактных рентгенограммах, полученных с помощью аппаратов с большим фокусным пятном трубки, изменение нерезкости противоречит закону перспективы.

Передача глубины

Для возникновения иллюзии глубины изображения, кроме указанных выше условий, необходимо соблюсти соотношение масштабов изображения отдельных деталей объекта по законам линейной перспективы, поскольку она строго соответствует зрительному восприятию натуральных сцен. Соотношение масштабов по глубине — коэффициент объемности изображения при микрофокусной съемке можно изменять, варьируя фокусное расстояние, как это видно из системы уравнений:

$$m_{\text{max}}/m_{\text{min}} = 1/(1 - \Delta); \Delta = (m_{\text{max}}Z)/F, \quad (3)$$

где m_{max} , m_{min} — максимальный и минимальный коэффициенты увеличения изображения детали объекта; Δ — масштабные искажения; Z — толщина объекта; F — фокусное расстояние.

Уменьшение фокусного расстояния приводит к увеличению масштабных искажений $\Delta = (m_{\text{max}} - m_{\text{min}})/m_{\text{min}}$ и отношения $m_{\text{max}}/m_{\text{min}}$, которое обуславливает эффект перспективы. Таким образом, на микрофокусных рентгенограммах с многократным увеличением изображения имеются три признака, которые обеспечивают иллюзию объемности:

- сохранен принцип подобия;
- детали с большим увеличением изображения имеют большую относительную резкость;
- соотношение масштабов изображения деталей объекта по его глубине соответствует законам линейной перспективы.

Все эти признаки изменяют скиалогию микрофокусной рентгенограммы по сравнению с контактными снимками. Величины масштабных искажений могут превышать допустимые в стандартной рентгенографии 25 % [6]. Происходит деформация формы трехмерных деталей, например, шарообразные детали будут иметь форму овала. При малых фокусных расстояниях контурообразующие точки объекта смещаются ближе к точечному источнику рентгеновского излучения (рис. 3, а). На изображении детали, находящиеся в разных плоскостях, которые перпендикулярны к оси пучка рентгеновского излучения, но расположены на прямых,

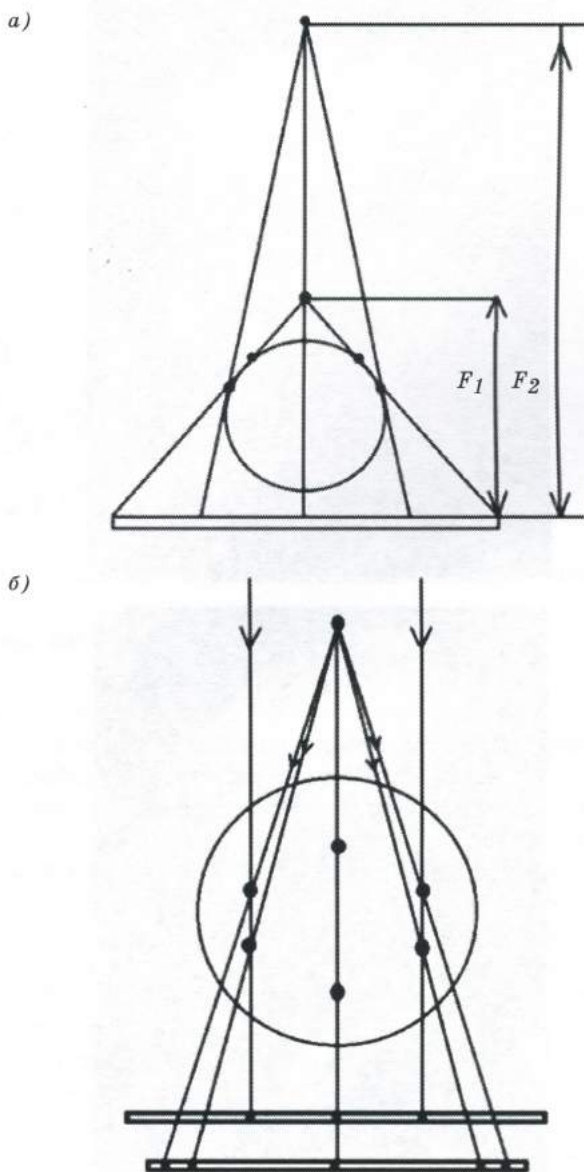
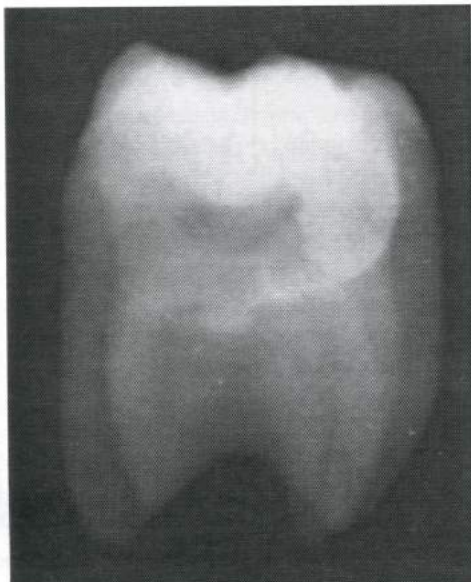


Рис. 3 Примеры изменения скиалогии микрофокусных рентгенограмм с уменьшением фокусного расстояния F : а — смещение контурообразующих точек; F_1 — фокусное расстояние при микрофокусной съемке; F_2 — фокусное расстояние при контактной схеме; б — распознавание «маскирующих» друг друга деталей при микрофокусной съемке деталей

параллельных оси пучка, будут также смещены относительно друг друга (рис. 3, б).

Если у рентгенолога недостаточно опыта, отличие скиалогии микрофокусных снимков с увеличением изображения от скиалогии контактных снимков может приводить к диагностическим ошибкам. Прежде чем микрофокусные рентгеновские аппараты найдут широкое применение в рентгенологической практике скиалогия псевдообъемных рентгенограмм должна быть тщательно изучена для эффективного использования микрофокусной рентгенографии в конкретных исследованиях [7].

а)



б)

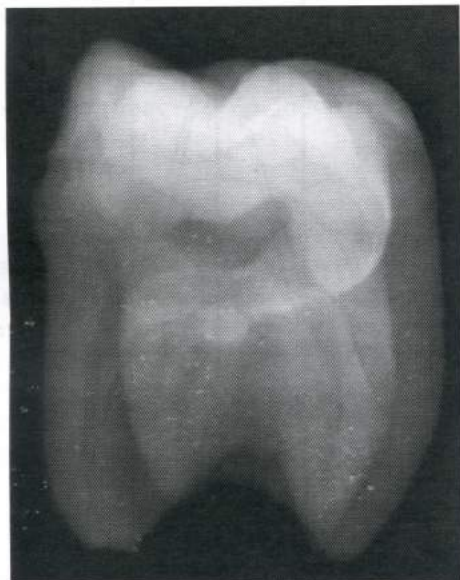


Рис. 4 Рентгенограммы четырехкорневого зуба контактно (а) и с увеличением изображения $t = 2$ (б)

Обсуждение

Проведенные исследования подтверждают возможность уменьшения суммы теней на микро-

фокусных рентгенограммах, что позволяет воспринимать объемность изображения. Эффект псевдообъемного изображения при микрофокусной рентгенографии, например в стоматологии, иллюстрируют рентгеновские снимки четырехкорневого зуба, удаленного по медицинским показаниям (рис. 4). Увеличение изображения позволяет более достоверно оценить состояние дентина, протяженность канала и наличие ответвлений в нем, а также форму строения канала в области апекса зуба.

Заключение

Микрофокусная рентгенография с многократным увеличением изображения имеет целый ряд преимуществ по сравнению с контактной съемкой. Одним из них является иллюзия объемности, которая, при соответствующем опыте рентгенолога, позволяет увеличить диагностическую ценность снимка.

Литература

1. Шик Я. Л. Скиалогия в рентгенодиагностике. М.: Медицина, 1967. 118 с.
2. Микрофокусная рентгенография / Н. Н. Потрахов, Г. Е. Труфанов, А. Ю. Васильев и др. СПб: ЭЛБИ-СПб, 2012. 80 с.
3. Потрахов Н. Н., Грязнов А. Ю., Потрахов Е. Н. Эффект псевдообъемного изображения в микрофокусной рентгенографии // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2009. № 2. С. 18–24.
4. Блинов Н. Н., Мазуров А. И. Новые реальности в современной рентгентехнике // Медицинская техника. 2003. № 5. С. 3–6.
5. Потрахов Н. Н., Грязнов А. Ю., Потрахов Е. Н. Эффект псевдообъемного изображения в микрофокусной рентгенографии // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2009. № 2. С. 18–24.
6. Дмоховский В. В. Основы рентгентехники. М.: Медгиз, 1960. 352 с.
7. Алпатова В. Г., Васильев А. Ю., Кисельникова Л. П. и др. Сравнительная оценка информативности цифровой микрофокусной рентгенографии с многократным увеличением изображения и радиовизиографии в эксперименте // Клиническая стоматология. 2010. № 1. С. 23–24.