

Влияние размеров фокусного пятна рентгеновской трубки на разрешающую способность радиовизиографа

Аннотация

Приведены результаты экспериментальной оценки зависимости действительной разрешающей способности радиовизиографа от размеров фокусного пятна рентгеновской трубки.

Введение

Непосредственным поводом для опубликования данной статьи стало появление в зарубежной печати свидетельств о том, что размер фокусного пятна рентгеновской трубки влияет на качество получаемых радиовизиографами рентгеновских изображений [1], [2]. Например, в работе [2] указано, что уменьшение размеров фокусного пятна от $0,8 \times 0,8$ до $0,4 \times 0,4$ мм позволяет существенно увеличить «четкость» (резкость) дентальных снимков.

Следует отметить, что в отечественной медицине вопросы, связанные с повышением качества и информативности рентгеновских изображений при уменьшении размеров фокусного пятна источника излучения, уже подробно изучены [3]. Качественно и количественно оценены эффекты увеличения глубины резкости, повышения контраста и просвечивающей способности, а также снижения экспозиционной дозы и потребляемой мощности при использовании для дентальной съемки рентгеновских трубок с диаметром фокусного пятна менее 0,1 мм [4].

Однако по предложению и при непосредственном участии руководителя одного из ведущих российских поставщиков рентгеновского оборудования для стоматологии были проведены специальные исследования.

Материалы

Традиционно рентгенография объектов исследования выполняется контактным способом съемки стандартной рентгенографии [5]. При съемке контактным способом используется источник излучения с протяженным фокусным пятном d (диаметром около 1 мм). Объект съемки располагается на достаточно большом расстоянии f от источника излучения и вплотную – «в контакте» – к приемнику излучения. Размер фокусного пятна d , а также расстояние f между источником излучения и объектом существенно влияют на качество (нерезкость – H_f) изображения. Величина расстояния f выбирается, исходя из требований к величине нерезкости получаемых снимков, с учетом конкретных размеров фокусного пятна рентгеновской трубки d_1 и толщины объекта. Даже незначительное удаление приемника излучения от объекта съемки на расстояние Δf приводит к ухудшению качества снимка вследствие увеличения нерезкости H_f .

В общем случае отношение расстояний $(f + \Delta f)$ определяет коэффициент увеличения изображения объекта m по сравнению с его истинными геометрическими размерами:

$$m = \frac{f + \Delta f}{f}.$$

При заданных фокусном пятне рентгеновской трубки d и разрешающей способности приемника R_n макси-

мальная разрешающая способность рентгенографической системы может быть определена из выражения [6]:

$$R_{\text{макс}} = \sqrt{R_n^2 + \left(\frac{1}{d}\right)^2}.$$

Расчеты по этому соотношению показывают, что максимальное значение разрешающей способности рентгенографической системы в зависимости от размеров фокусного пятна рентгеновской трубки при характерном для современных дентальных приемников разрешении $R_n = 20$ пар лин./мм составляет величины, приведенные в табл. 1.

Таблица 1

Расчет разрешающей способности радиовизиографа

d , мм	0,7	0,5	0,3	0,2	0,1	0,05
$R_{\text{макс}}$ пар лин./мм	20,0	20,1	20,3	20,6	22,4	28,3

Таким образом, на фокусном пятне d диаметром 0,1 мм и цифровом приемнике с $R_n = 20$ пар лин./мм можно получить на 10 % большую разрешающую способность рентгенографической системы (радиовизиографа) по сравнению с контактной съемкой на фокусном пятне $d = 0,7$ мм. На фокусном пятне $d = 0,05$ мм разрешающая способность рентгенографической системы увеличится в 1,4 раза.

Методы

В лабораторных условиях выполнялись контактная съемка МИРы и прицельная дентальная съемка участка скелетированной нижней челюсти с фантомом мягких тканей. Схема съемки представлена на рис. 1. В качестве источника рентгеновского излучения 1 использовались: рентгеновский аппарат «ERGON-X HF» (Италия) с размером фокусного пятна $0,7 \times 0,7$ мм и рентгеновский аппарат семейства «ПАРДУС» (Россия) с регулируемым диаметром фокусного пятна в диапазоне 0,05...0,5 мм.

Для визуализации рентгеновских изображений объекта съемки 4 использовались приемники «SOPIX-2» (Италия) и «РЕНТГЕНОВИДЕОГРАФ» (ЗАО «ЭЛТЕХ-Мед», Россия) на основе рентгеночувствительной ПЗС-матрицы 3 с размером пиксела 20×20 мкм.

В ходе исследований было получено несколько серий снимков путем последовательного перебора параметров съемки: диаметра фокусного пятна d , расстояния f «источник излучения – объект съемки», расстояния Δf «объект съемки – приемник изображения». Оценка резкости снимков и соответственно разрешающей способности радиовизиографа производилась с помощью клинообразной МИРы 2. Максимальная частота штрихов МИРы – 30 пар лин./мм.

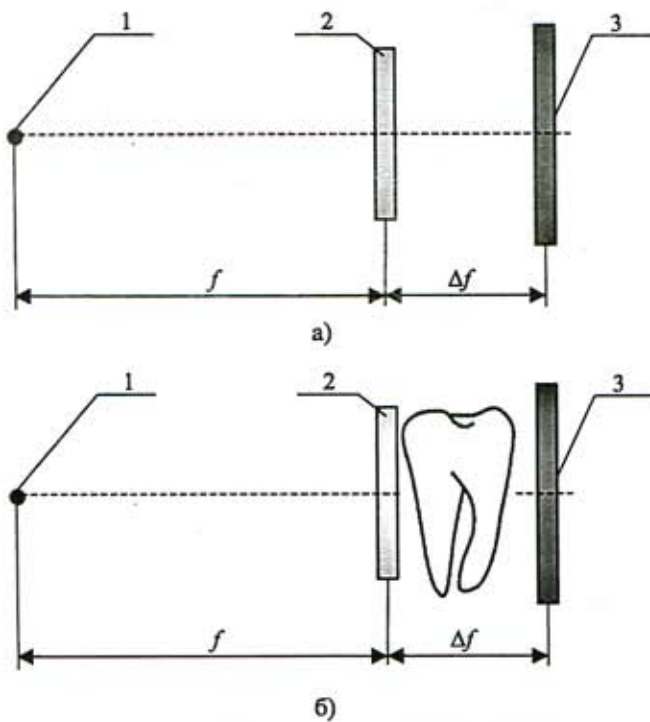


Рис. 1. Схема съемки МИРы (а) и участка челюсти (б):
1 – фокусное пятно; 2 – МИРы; 3 – приемник изображения;
4 – объект съемки

Результаты

Результаты визуальной оценки числа различных штрихов МИРы на снимках каждой серии приведены в табл. 2.

Таблица 2
Результаты визуальной оценки разрешающей способности радиовизиографа

d, мм	Разрешающая способность радиовизиографа, пар лин./мм				
	Снимок МИРы			Снимок участка челюсти	
	f = 200 мм, Δf = 0	f = 200 мм, Δf = 10	f = 50 мм, Δf = 10	f = 200 мм, Δf = 10	f = 50 мм, Δf = 10
0,7	18	16	14	12	13
0,4	18	17	17	12	13
0,1	19	18	18	17	17

В качестве примера на рис. 2 и 3 представлены прицельные снимки участка челюсти, полученные на приемник изображения «SOPIX-2» аппаратом с фокусным пятном Ø0,2 мм («ПАРДУС») при кожно-фокусном расстоянии (КФР) 200 и 50 мм, а также аппаратом с фокусным пятном 0,7 × 0,7 мм («ERGON-X HF») при КФР 200 мм.

Визуальный анализ прицельных снимков участка челюсти показал, что:

- с уменьшением определяющего размера фокусного пятна рентгеновской трубки от 0,5 до 0,2 мм на КФР 200 мм разрешающая способность радиовизиографа увеличивается от 14 до 18 пар лин./мм (рис. 2). Сказывается положительное влияние уменьшения размеров фокусного пятна на резкость изображения. Дальнейшее уменьшение размеров фокусного пятна при данном КФР нецелесообразно вследствие ограничений,

накладываемых разрешающей способностью приемника;

- с уменьшением КФР от 200 до 50 мм при определяющем размере фокусного пятна 0,2 мм разрешающая способность радиовизиографа уменьшается от 18 до 17 пар лин./мм (рис. 3). Сказывается отрицательное влияние на резкость изображения уменьшения КФР при съемке.

В табл. 3 приведены усредненные физико-технические условия съемки двумя рентгеновскими аппаратами с разными размерами фокусного пятна, обеспечивающие сравнимый контраст снимков участка челюстно-лицевого отдела на один и тот же приемник изображения («РЕНТГЕНОВИДЕОГРАФ»).

Таблица 3
Физико-технические условия дентальной съемки портативными аппаратами

Условия съемки	ПАРДУС-Р	ERGON-X HF
Напряжение, кВ	65	65
Ток, мА	0,15	7
Размер фокусного пятна, мм	Ø0,2	0,5×0,5
Мощность на мишени во время снимка, Вт	10	450
Время экспозиции, с	0,15	0,06
Экспозиция снимка, мАс	0,02	0,42
Кожно-фокусное расстояние, мм	50	200

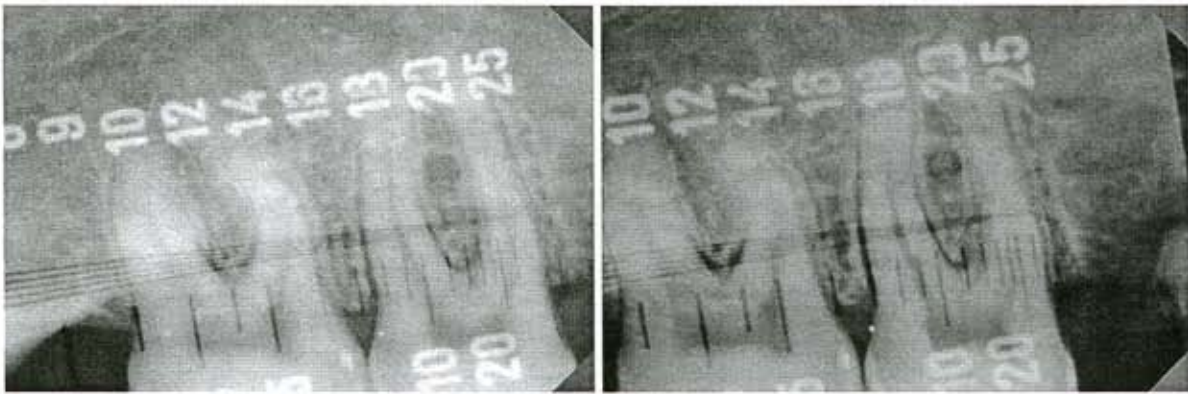
Обсуждение

Увеличение разрешающей способности цифрового приемника рентгеновского изображения за счет уменьшения размеров пиксела – возможный путь увеличения разрешающей способности рентгенографической системы в целом при контактной «длиннофокусной» дентальной съемке. Однако с уменьшением размеров пиксела в k раз теоретически, в k^2 раз, уменьшается и его площадь, а соответственно уменьшается дозовая чувствительность приемника изображения.

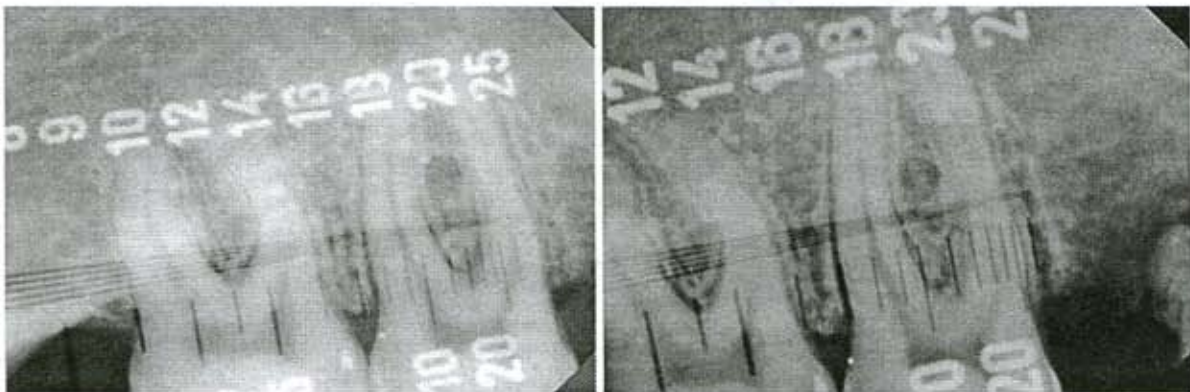
Для компенсации потери чувствительности приемника изображения с целью сохранения информативности получаемых рентгеновских снимков необходимо увеличивать экспозиционную дозу источника излучения, увеличивая тем самым радиационную нагрузку на пациента и медперсонал. Поэтому в ряде областей медицины, в первую очередь в стоматологии, для увеличения разрешающей способности рентгенографической системы целесообразно уменьшать размер фокусного пятна и КФР. Указанные меры позволяют выполнять микрофокусную съемку с увеличением изображения объекта. Такой способ съемки обеспечивает:

- во-первых, уменьшение экспозиционной дозы в n^2 раз при уменьшении фокусного расстояния в n раз;
- во-вторых, увеличение разрешающей способности рентгенографической системы в \sqrt{m} раз при увеличении изображения в m раз [6], [7].

Сравнение экспериментальных данных табл. 3 показывает, что при одинаковом напряжении ток рентгеновского аппарата с фокусным пятном Ø0,2 мм почти в 50 раз меньше, а экспозиция одного прицельного снимка в 20 раз меньше, чем эти же параметры для аппарата с фокусным пятном 0,7 × 0,7 мм.



а) б)
Рис. 2. Прицельные снимки участка челюсти аппаратом с определяющим размером фокусного пятна 0,7 мм (а) и 0,2 мм (б)



а) б)
Рис. 3. Прицельные снимки участка челюсти аппаратом с определяющим размером фокусного пятна 0,2 мм при КФР 200 мм (а) и 50 мм (б)

Заключение

Методика микрофокусной съемки в настоящее время является наиболее перспективной методикой рентгенографии в стоматологии и челюстно-лицевой хирургии, поскольку позволяет принципиально снизить радиационную нагрузку на пациента и медперсонал, повысить качество и информативность дентальных снимков, уменьшить потребляемую рентгеновским аппаратом мощность.

Список литературы:

1. Hellstern F., Geibel M.-A. Quality Assurance in Digital Dental Radiography – Justification and Dose Reduction in Dental and Maxillofacial Radiology // International Journal of Computerized Dentistry. 2012. Vol. 15. PP. 35-44.
2. Ultimate portable X-ray system / Проспект фирмы «Posdion» (Южная Корея). 2012.
3. Потрахов Н.Н., Грязнов А.Ю. Микрофокусная рентгенография в медицинской диагностике. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2012. 121 с.
4. Потрахов Н.Н. Микрофокусная рентгенография в стоматологии и челюстно-лицевой хирургии. – СПб.: ООО «Техномедиа», 2007. 184 с.
5. Основы рентгенодиагностической техники. Уч. пособие. / Под ред. Н.Н. Блинова. – М.: Медицина, 2002. 392 с.
6. Мазуров А.И., Потрахов Н.Н. Возможности и ограничения микрофокусной рентгенографии в медицине // Биотехносфера. 2010. № 4. С. 20-23.
7. Юлдашев З.М. Обработка медицинских малококонтрастных изображений // Биомедицинская радиоэлектроника. 2013. № 1. С. 39-41.

*Николай Николаевич Блинов,
д-р техн. наук, профессор,
генеральный директор,
ЗАО «Амико»,*

*Александр Юрьевич Васильев,
д-р техн. наук, профессор,
заведующий кафедрой лучевой диагностики,
Московский государственный
медико-стоматологический университет,
г. Москва,*

*Артем Юрьевич Грязнов,
д-р техн. наук, профессор,
Карина Константиновна Жамова,
аспирант,*

*Виктор Борисович Бессонов,
ассистент,
Евгений Николаевич Потрахов,
аспирант,*

*Николай Николаевич Потрахов,
д-р техн. наук, профессор,
зав. кафедрой,
кафедра электронных приборов и устройств,
СПбГЭТУ «ЛЭТИ»,
г. С.-Петербург,
e-mail: nblinov@amico.ru*