

ЦИФРОВАЯ РАДИОЛОГИЯ И ТЕЛЕРАДИОЛОГИЯ

DOI: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2018-9-1-175-177>**СРАВНЕНИЕ РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ И ДОЗОВОЙ НАГРУЗКИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ РЕНТГЕНОВСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ В НЕСПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ УСЛОВИЯХ**

О. М. Алексеева

Центральный научно-исследовательский институт лучевой диагностики, Москва, Россия

Целью данного исследования являлось определение и сравнение качества визуализации органов и структур органов, а также эффективной дозовой нагрузки при различных физико-технических параметрах и фокусном расстоянии портативных рентгеновских аппаратов. В ходе эксперимента определены оптимальные режимы съемки и расстояние «объект — приемник» в визуализации органов грудной клетки.

COMPARISON OF THE RESOLVING POWER AND THE RADIATION DOSE OF THE WARD X-RAY WITH A PORTABLE ONE BASED ON A MICROFOCUS SHOOTING IN UNSPECIALIZED CONDITIONS

О. М. Алексеева

Central Research Radiology Institute, Moscow, Russia

The purpose of this study was to determine and to compare the quality of the visualization of organs and organ structures, as well as the effective radiation dose with various physico-technical parameters and focal length of portable X-ray. In the course of experiment the most optimal shooting modes and the object-receiver distance in the visualization of chest organs were determined.

Цель исследования. При проведении рентгенографических исследований вне кабинета лучевой диагностики, крайне важно учитывать необходимость проведения рентгенографии, основываясь на том, какая патология выявлена у пациента, каковы размеры, расположение коек в палатах, размеры самого рентгеновского переносного аппарата [1]. На сегодняшний день зарегистрировано множество различных рентгеновских устройств, применяемых в условиях палаты и реанимационных залов [2]. На качество рентгенографии влияют технические особенности аппарата и параметры режимов съемки. Проведено экспериментальное исследование, целью которого является определение качества визуализации органов и структур органов, а также эффективной дозовой нагрузки при различных подобранных режимах съемки и расстоянии «объект — приемник».

Материалы и методы. Исследование проводилось в три этапа: 1) проведение экспериментального исследования стандартным палатным рентгеновским аппаратом; 2) проведение экспериментального исследования передвижным рентгеновским аппаратом на основе острофокусной технологии; 3) сравнение результатов разрешающей способности и дозовой нагрузки, полученных с этих аппаратов. Проведено исследование взрослого фантома CT Whole Body Phantom PBU-60 (Kyoto Kagaku, Япония). В ходе эксперимента выполнена стандартная рентгенография органов грудной клетки (ОГК) на передвижном аппарате «МобиРен-4МТ» (МТЛ, Россия) и новом острофокусном рентгеновском аппарате (Элтех-Мед, Россия). В качестве цифрового приемника изображения использовался беспроводной приемник Thales Pixium EZ 3543 (Thales Group, Франция). Для определения пространственного разрешения использовалась плоскостная мира Nuo. Assoo. — Carle Place (Nuc. Accsoc., США). В рамках эксперимента оценивались ОГК. Исследуемую часть фантома укладывали на специальную подставку, так чтобы укладка максимально повторяла рентгенографическое исследование ОГК в палате, после чего проводили цифровую рентгенографию в прямой проекции (полулежя). Экспериментальное исследование проводилось при различных физико-технических параметрах. Во время эксперимента при каждой съемке рентгенографии ОГК дозиметром ДРК-1М-Э06 («Доза», Россия) оценивалась доза в мЗв. Все данные заносились в таблицу.

Результаты. Проведена оценка разрешающей способности аппарата при цифровой рентгенографии с использованием рентгеновского тест-объекта пространственного разрешения (мира). Оценка разрешающей способности проводилась визуально. Полученные данные отправлялись на рабочую станцию для последующего анализа. Все

данные по оценке заносились в таблицы. Разрешающая способность варьировалась от 1 до 3,5 пар линий на мм. При высоких физико-технических параметрах рентгенограмма была неинформативна для оценки. В таких случаях в таблицу заносился прочерк «—».

Заключение. Исходя из первого этапа эксперимента следует сделать вывод, что, учитывая эффективную дозовую нагрузку и визуализацию структур, оптимальным режимом для съемки ОГК в неспециализированных условиях можно считать 65 кВ 10 мАс на расстоянии 150 см «объект — приемник».

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Васильев А.Ю., Потрахов Н.Н., Блинов Н.Н. *Современный анализ проблемы рентгеновских исследований в неспециализированных условиях* // Биотехносфера. 2017. № 1 (49). С. 50–53. [Vasilev A.Yu., Potrakhov N.N., Blinov N.N. *Modern analysis of the problem of X-ray research in non-specialized conditions*. Biotechnosphaera, 2017, No. 1 (49), pp. 50–53 (In Russ)].
2. *Canadian Agency for Drugs and Technologies in Health*. Portable versus Fixed X-ray Equipment: A Review of the Clinical Effectiveness, Cost-effectiveness, and Guidelines [Internet]. URL: <https://www.cadth.ca> (дата обращения: 22.02.2016).

Сведения об авторе:

Алексеева Ольга Михайловна — научный сотрудник ООО «Центральный научно-исследовательский институт лучевой диагностики»; 109431, Москва, ул. Авиастроителя Миля, д. 15, корп. 1; e-mail: olya.alexseeva@yandex.ru; тел.: +7 (915) 058-13-93.

ВОЗМОЖНОСТИ ЦИФРОВОЙ МИКРОФУКУСНОЙ РЕНТГЕНОГРАФИИ С ПРЯМЫМ УВЕЛИЧЕНИЕМ ИЗОБРАЖЕНИЯ В ВЫЯВЛЕНИИ ЭРОЗИВНОГО ПОРАЖЕНИЯ КОСТНОЙ ТКАНИ ПРИ РАННЕМ РЕВМАТОИДНОМ АРТРИТЕД. Ю. Анохин, И. С. Железняк, В. Н. Малаховский, О. А. Сигина
Военно-медицинская академия им. С. М. Кирова,
Санкт-Петербург, Россия

В настоящее время «золотым стандартом» в оценке деструктивных изменений в суставах у пациентов с ревматоидным артритом является рентгенография. Однако доказано, что она обладает низкой чувствительностью при выявлении ранних рентгенологических признаков этого заболевания [1]. Перспективной методикой является цифровая микрофокусная рентгенография с прямым увеличением изображения (МФРГ), которая позволяет производить более тонкую оценку структурных изменений костной ткани [2, 3].

THE POSSIBILITIES OF DIGITAL MICROFOCAL RADIOGRAPHY WITH DIRECT MAGNIFICATION OF THE IMAGE IN REVEALING AN EROSION LESION OF BONE TISSUE IN EARLY RHEUMATOID ARTHRITISD. Yu. Anokhin, I. S. Zheleznyak, V. N. Malakhovskiy, O. A. Sigina
S. M. Kirov Military Medical Academy, St. Petersburg, Russia

Currently, the «gold standard» in assessing destructive changes in the joints is radiography. However, it is proved that it has low sensitivity in detecting early radiographic signs of this disease [1]. A promising technique is digital microfo- cal radiography with direct image magnification, which allows a more subtle evaluation of structural changes in bone tissue [2, 3].

Цель исследования. Провести сравнительный анализ возможностей различных методов лучевой диагностики в выявлении деструктивных изменений костной ткани при ревматоидном артрите.

Материалы и методы. Обследованы 30 пациентов с ранним ревматоидным артритом. Всем пациентам выполнена МРТ кистей с внутривенным контрастным усилением, УЗИ, рентгенография и микрофокусная рентгенография с прямым увеличением изображения.

Результаты. По данным МРТ эрозии выявлены у 24 (80%) пациентов, по данным УЗИ — у 11 (36,7%). При помощи рентгенографии эрозии выявлены у 6 (20%) пациентов, при помощи МФРГ — у 17 (56,6%). С учетом доказанной по результатам большого числа исследований высо-

кой чувствительности и специфичности МРТ в диагностике деструктивных костных изменений у больных с ранним ревматоидным артритом [4], данный метод использовался как референтный, при проведении сравнительного анализа диагностической эффективности рентгенографии, микрофокусной рентгенографии и УЗИ у данной группы пациентов. Наименьшей чувствительностью в выявлении эрозий обладала рентгенография (20,8%), при высокой специфичности (83,3%). Точность метода составила 33,3%. Чувствительность УЗИ была выше и составила 37,5%; при более низкой специфичности (66,6%). Точность метода 43,3%. Наибольшей чувствительностью по результатам сравнительного анализа обладала МФРГ — 66,6% ($p < 0,05$), при достаточно высокой специфичности (83,3%). Точность метода составила 70%.

Заключение. По результатам проведенного сравнительного анализа доказана достоверно более высокая чувствительность и точность МФРГ в сравнении с рентгенографией и УЗИ при обнаружении деструктивных изменений у пациентов с ранним ревматоидным артритом ($p < 0,05$). Таким образом, микрофокусная рентгенография с прямым увеличением изображения является эффективным рентгенологическим методом визуализации деструктивных изменений костной ткани при раннем ревматоидном артрите.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Salafii F. et al. *Ultrasound versus conventional radiography in the assessment of bone erosions in rheumatoid arthritis*. Clin. Exp. Rheumatol., 2014, No. 32 (1), pp. 85–90.
2. Васильев А.Ю. *Рентгенография с прямым многократным увеличением в клинической практике*. М., 1998. 195 с. [Vasil'ev A.Yu. *Rentgenografiya s pryamym mnogokratnym uvelicheniem v klinicheskoy praktike*. Moscow, 1998. 195 p. (In Russ.)].
3. Васильев Ю.А. *Цифровая микрофокусная рентгенография в изучении анатомического строения зубов* // Материалы XXXIX и XXX Всероссийских научно-практических конференций. М., 2013. С. 10. [Vasil'ev Yu.A. *Cifrovaya mikrofokusnaya rentgenografiya v izuchении anatomicheskogo stroeniya zubov*. Materialy XXXIX i XXX Vserossijskih nauchno-prakticheskikh konferencij. Moscow, 2013, p. 10 (In Russ.)].
4. Ostergaard M.A. et al. *An introduction to the EULAR-OMERACT rheumatoid arthritis MRI reference image atlas*. Ann. Rheum. Dis., 2005, No. 64 (1), pp. 3–7.

Сведения об авторах:

Анохин Дмитрий Юрьевич — исполняющий обязанности заведующего рентгеновским отделением кафедры рентгенологии и радиологии ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия им. С. М. Кирова» Минобороны России; 194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6; e-mail: damixon@mail.ru;

Железняк Игорь Сергеевич — доктор медицинских наук, доцент, начальник кафедры рентгенологии и радиологии ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия им. С. М. Кирова» Минобороны России; 194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6;

Малаховский Владимир Николаевич — доктор медицинских наук, профессор, ассистент кафедры рентгенологии и радиологии ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия им. С. М. Кирова» Минобороны России; 194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6;

Сигина Ольга Алексеевна — кандидат медицинских наук, ассистент кафедры рентгенологии и радиологии ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия им. С. М. Кирова» Минобороны России; 194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6.

ЭФФЕКТИВНЫЙ МЕТОД КОДИРОВАНИЯ РЕНТГЕНОГРАММ ЦВЕТОМ

А. И. Мазуров, А. К. Денисов

Научно-исследовательская производственная компания «Электрон», Санкт-Петербург, Россия
Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий механики и оптики «ЛИТМО», Санкт-Петербург, Россия

Для раскраски рентгенограмм разработана шкала цветов, обеспечивающая психологическую совместимость раскрашенной рентгенограммы с исходной. Шкала цветов построена в соответствии с квантовой гипотезой цветового зрения, которая определяет цвет тремя параметрами: числом фотонов, эффективно поглощенных зрительной системой за время снимка, их суммарной энергией и дисперсией этой энергии.

EFFECTIVE CODING TECHNIQUE OF X-RAY PHOTOGRAPHS BY COLOR

A. I. Mazurov, A. K. Denisov

Scientific Research production company «Electron», St. Petersburg, Russia
ITMO University, St. Petersburg, Russia

For the coloring of X-photographs, a color scale has been developed that ensures the psychological compatibility of the colored X-photograph to the original. The color scale is made in accordance with the quantum hypothesis of color vision, which determines the color by three parameters: the number of photons effectively absorbed by the visual system during the X-ray exposure, their total energy and the dispersion of this energy.

Цель исследования. В ряде областей лучевой диагностики (УЗИ, МРТ и др.) кодирование изображений цветом получило практическое применение. Хуже обстоит дело в рентгенодиагностике. Несмотря на то, что исследования по раскраске рентгенограмм проводятся с 50-х годов прошлого века, в рентгеновской практике она не получила применения. В задачу исследования входило выявление причины неэффективности раскраски рентгенограмм и разработка метода кодирования, повышающего их диагностическое качество.

Материалы и методы. В рентгенологии для раскраски рентгенограмм были опробованы шкалы цветов абсолютно черного тела, радужная, пурпурная и целый ряд других шкал [1, 2]. Установлено, что в ряде случаев закодированные цветом рентгенограммы имеют диагностическое качество, близкое к качеству исходной рентгенограммы, и выигрыша при постановке диагноза не дают. Для того чтобы разобраться в неэффективности цветового кодирования в рентгенологии, была использована квантовая гипотеза цветового зрения [3, 4], в соответствии с которой цвет на физическом уровне определяется тремя параметрами: числом эффективно поглощенных зрительной системой фотонов F за время снимка, их суммарной энергией E и дисперсией этой энергии $D(E)$.

Результаты. Анализ существующих цветовых шкал раскраски показал, что для многоградационных высокодетальных и зашумленных изображений, к которым относятся рентгенограммы, эти шкалы не обеспечивают психологическую совместимость раскрашенных рентгенограмм с исходными. На изображениях появляется много артефактов. Для обеспечения психологической совместимости раскрашенной рентгенограммы с исходной необходимо выполнить три условия: должен быть сохранен яркостный образ исходной рентгенограммы, траектория цветовой шкалы должна быть непрерывной и монотонной по всем трем параметрам F , E , $D(E)$. Эти условия обеспечивает система уравнений:

$$\begin{aligned} F/F_b &= L_R U_R + L_G U_G + L_B U_B \\ E/E_b &= L_R U_R \varepsilon_R + L_G U_G \varepsilon_G + L_B U_B \varepsilon_B \\ (D(E))/D(E)_b &= L_R U_R \varepsilon_R^2 + L_G U_G \varepsilon_G^2 + L_B U_B \varepsilon_B^2 \end{aligned}$$

Здесь F , E , $D(E)$ — яркость, энергия и дисперсия энергии в точках цветовой шкалы; F_b , E_b , $D(E)_b$ — те же величины в белом; L_R , L_G , L_B — яркостные коэффициенты красного, зеленого и синего цветов монитора; U_R , U_G , U_B — напряжения на входе красного, зеленого и синего каналов монитора; $(\varepsilon_R \varepsilon_R^2)$, $(\varepsilon_G \varepsilon_G^2)$, $(\varepsilon_B \varepsilon_B^2)$, $(\varepsilon_B \varepsilon_B^2)$ — координаты цветностей красного, зеленого, синего и белого цветов монитора в колориметрической системе FED(E).

Заключение. Компьютерное моделирование цветовой шкалы, построенной в соответствии с вышеприведенной системой уравнений, показало, что эта шкала обеспечивает психологическую совместимость раскрашенных рентгенограмм с исходной черно-белой рентгенограммой.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Ши З.-К., Сэлстрём П., Веландер У. *Метод кодирования рентгеновских снимков цветом* // Компьютерная обработка зрительных данных и изображений. 2002. № 20. С. 761–767. [Shi X.-Q., Sallstrom P., Welandar U. *A color coding method for radiographic images*. Image and Vision Computing, 2002, No. 20, pp. 761–767 (In Russ.)].
2. Рагуванши Р.С., Датар А. *Схема составной псевдоокраски с использованием метода спирали при обеспечении одинаковой яркости* // Международный журнал тенденций и технологий в инженерии. 2013. Т. 4, № 7. С. 2800–2805 [Raghuvanshi R.S., Datar A. *Composite Pseudocoloring Scheme Using Spiral Method with Ensuring Same Brightness*. International Journal of Engineering Trends and Technology, 2013, Vol. 4, No. 7, pp. 2800–2805 (In Russ.)].

3. Мазуров А.И., Раевская К.А. *Квантовая модель низшей метрики цвета* // Биомедицинская радиоэлектроника. 2013. No. 1. С. 45–47 [Mazurov A.I., Raevskaya K.A. *Lowest color metric quantum model*. Biomedical radioelectronics, 2013, No. 1, pp. 45–47 (In Russ.)].
4. Мазуров А.И. *Параметрическая колориметрическая система FED (E)* // Медико-технические технологии на страже здоровья «МЕДТЕХ-2013»: сборник трудов научно-технической конференции. М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2013. С. 78–80. [Mazurov A.I. *Parametric colorimetric system FED (E)*, Medical technologies on guard of health MEDTEKH-2013: collected papers from scientific and technical conference. Moscow: N.E. Bauman MGTU, 2013, pp. 78–80 (In Russ.)].

Сведения об авторах:

Мазуров А. И. — Научно-исследовательская производственная компания «Электрон», 198188, г. Санкт-Петербург, Волхонское шоссе, кв. 2, д. 4 Б; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий механики и оптики «ЛИТМО»; 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д. 49; e-mail: mazurov@electronray.com;

Денисов А. К. — Научно-исследовательская производственная компания «Электрон», 198188, г. Санкт-Петербург, Волхонское шоссе, кв. 2, д. 4 Б; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий механики и оптики «ЛИТМО»; 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д. 49.

МИНИАТЮРНЫЕ ИСТОЧНИКИ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С КАТОДАМИ ИЗ НАНОМАТЕРИАЛОВ ДЛЯ БЛИЗКОФОКУСНОЙ РЕНТГЕНОТЕРАПИИ

^{1,2}М. Л. Таубин, ¹А. В. Брацук, ¹Н. А. Головин, ¹В. В. Малышев, ¹А. А. Симонов, ¹Д. А. Чесноков

¹Научно-исследовательский институт «Научно-производственное объединение «ЛУЧ», г. Подольск, Россия

²Московский инженерно-физический институт, Москва, Россия

Экспериментально обоснована концепция создания миниатюрных источников рентгеновского излучения с применением материалов с повышенными эмиссионными и механическими характеристиками.

MINIATURE X-RAY SOURCES WITH CATHODES FROM NANOMATERIALS FOR CLOSE-FOCUS X-RAY THERAPY

^{1,2}M. L. Taubin, ¹A. V. Bratsuk, ¹N. A. Golovin, ¹V. V. Malyshev, ¹A. A. Simonov, ¹D. A. Chesnokov

¹FSUE «SRI SIA «LUCH», Podolsk, Russia

²NRNU «MEPhI», Moscow, Russia

In the report, the concept of creating miniature X-ray sources with the use of materials with increased emission and mechanical characteristics is experimentally substantiated. The results of investigation of emission and mechanical characteristics of competitive materials and results of synthesis of carbon nanotubes on substrates of field emission cathodes made of refractory metals are presented.

Цель исследования. Разработка миниатюрных источников для близкофокусной рентгенотерапии.

Материалы и методы. В работе использованы монокристаллы и нанокompозиты вольфрама, ниобий, углеродные нанотрубки.

Результаты. Показано, что для рентгеновских трубок с термоэмиссионными катодами использование монокристаллических сплавов

вольфрама в качестве материала анода снижает повреждаемость фокусной дорожки анода и, как следствие, увеличивает нагрузочные характеристики рентгеновской трубки. Использование монокристалла вольфрама для катода увеличивает эмиссионные характеристики рентгеновской трубки.

Большой же эффект, как и ожидалось, получен от использования наноматериалов. Так, экспериментально показано, что изготовление катода из нанокompозита вольфрама существенно увеличивает сопротивление высокотемпературной деформации материала катода и, как следствие, стабильность характеристик рентгеновской трубки.

В то же время применение в качестве материала катода вольфрама с нанокристаллической структурой повышает в полтора раз эмиссионные характеристики рентгеновской трубки.

В докладе приведены результаты исследования авторов по синтезу углеродных нанотрубок на подложки из тугоплавких металлов как с подслоем катализаторов, так и без них. Проведена оптимизация структуры углеродных слоев и исследована «холодная» эмиссия из полученных композиций применительно к использованию их в качестве автоэмиссионных катодов.

Заключение. Экспериментально показано, что изготовление катода рентгеновских трубок из нанокompозита вольфрама существенно увеличивает сопротивление высокотемпературной деформации материала катода. Исследована «холодная» эмиссия из полученных композиций с УНТ применительно к использованию их в качестве автоэмиссионных катодов.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

- Алексеев С.В., Таубин М.Л., Ясколко А.А. *Нанокompозиты в рентгеновской технике*. М.: Техносфера, 2014. 208 с. [Aleksseev S.V., Taubin M.L., Yaskolko A.A. *Nanocomposites in the x-ray technics*. Moscow: Izdatel'stvo Technosfera, 2014, 208 p. (In Russ.)].
- Елещкий А.В. *Углеродные нанотрубки и их эмиссионные свойства* // Успехи физических наук. 2002. Т. 172, № 4. С. 401–438. [Yeletsy A.V. *Carbon nanotubes and their emission properties*. Successes of physical sciences, 2002, Vol. 172, No. 4, pp. 401–438 (In Russ.)].

Сведения об авторах:

Таубин Михаил Львович — доктор технических наук, профессор, ФГУП «Научно-исследовательский институт Научно-производственное объединение «ЛУЧ» МО; г. Подольск; Железнодорожная ул., д. 24; НИЯУ «Московский инженерно-физический институт»; 115409, Москва, Каширское шоссе, д. 31; тел.: +7 (916) 697-73-42; e-mail: taubin@sialuch.ru;

Брацук Андрей Владимирович — инженер, НИЯУ «Московский инженерно-физический институт»; 115409, Москва, Каширское шоссе, д. 31; тел.: +7 (916) 697-73-42;

Головин Никита Андреевич — инженер, «Московский инженерно-физический институт»; 115409, Москва, Каширское шоссе, д. 31; тел.: +7 (916) 697-73-42;

Малышев Владимир Вадимович — инженер, НИЯУ «Московский инженерно-физический институт»; 115409, Москва, Каширское шоссе, д. 31; тел.: +7 (916) 697-73-42;

Симонов Антон Андреевич — инженер, НИЯУ «Московский инженерно-физический институт»; 115409, Москва, Каширское шоссе, д. 31; тел.: +7 (916) 697-73-42;

Чесноков Дмитрий Андреевич — начальник лаборатории, НИЯУ «Московский инженерно-физический институт»; 115409, Москва, Каширское шоссе, д. 31; тел.: +7 (916) 697-73-42.