

Возможности методики двухэнергетической рентгенографии при рентгеновских исследованиях органов грудной клетки

А. Ю. Васильев¹, Д. И. Наумова^{*,1}, О. М. Алексеева², В. А. Нечаев²,
Ю. Е. Шунков³, А. Р. Дабагов⁴, Н. Ю. Петухова⁵, Е. И. Вяткина⁵

¹ ФГБОУ ВО «Московский государственный медико-стоматологический университет им. А. И. Евдокимова» Минздрава России

² ГБУЗ «Городская клиническая больница им. В. М. Буянова Департамента здравоохранения города Москвы»

³ ООО «Научно-технический центр «МТ»

⁴ АО «МЕДИЦИНСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЛТД»

⁵ ГБУЗ МО «Московский областной научно-исследовательский клинический институт им. М. Ф. Владимирского»

Utility of Dual Energy Substruction Chest Radiography

A. Yu. Vasil'ev¹, D. I. Naumova^{*,1}, O. M. Alekseeva², V. A. Nechaev²,
Yu. E. Shunkov³, A. R. Dabagov⁴, N. Yu. Petukhova⁵, E. I. Vyatkina⁵

¹ Moscow State University of Medicine and Dentistry named after A. I. Evdokimov, Ministry of Healthcare of Russia

² City Clinical Hospital named after V. M. Buyanov, Moscow Healthcare Department

³ Scientific-Technical Center «МТ»

⁴ Medical Technologies LTD

⁵ State Budgetary Healthcare Institution of Moscow Region, Moscow Regional Research Clinical Institute named after M. F. Vladimirskiy

Реферат

Двухэнергетическая рентгенография (ДЭР) — перспективная методика исследования, включающая получение двух рентгенограмм на высокой и низкой энергиях и построении на их основе раз-

** Наумова Дарья Игоревна*, студентка 6-го курса лечебного факультета ФГБОУ ВО «Московский государственный медико-стоматологический университет им. А. И. Евдокимова» Минздрава России.

Адрес: 127473, г. Москва, ул. Десятская, д. 20/1.

Тел.: +7 (915) 143-37-70. Электронная почта: daryanaumova71@gmail.com

ORCID: 0000-0002-4487-3597

Naumova Dar'ya Igorevna, 6-th year student of General Medicine Faculty of Moscow State Medical University of Medicine and Dentistry named after A. I. Evdokimov, Ministry of Healthcare of Russia.

Address: 20/1, ul. Delegatskaya, Moscow, 127473, Russia.

Phone number: +7 (915) 143-37-70. E-mail: daryanaumova71@gmail.com

ORCID: 0000-0002-4487-3597

дельных изображений мягких и костных тканей. ДЭР способна минимизировать отрицательные качества стандартной рентгенографии при сопоставимой дозовой нагрузке. Основная цель исследования — изучить возможности ДЭР в оценке анатомических и патологических структур органов грудной клетки (ОГК). В ходе работы было обследовано 100 пациентов с подозрением на различные патологические изменения ОГК. Каждому пациенту были выполнены стандартная рентгенография и ДЭР, в результате чего было получено и проанализировано 300 изображений. Оценка результатов проводилась отдельно по костной и мягкотканной реконструкциям. Анализ показал, что в костном режиме ДЭР в 19 % случаев была улучшена визуализация, а в 9 % — получена новая информация о наличии переломов, участков деструкции костной ткани. Данные по мягкотканной реконструкции ДЭР показали, что в 30 % случаев была улучшена визуализация легочного рисунка и структуры корней легких, а в 3 % — выявлена новая информация в виде ортогонального расположения сосудов и бронхов, участков уплотнений, мелких кальцинатов, плохо различимых при стандартной рентгенографии. Исследование показало, что ДЭР может использоваться как самостоятельная методика, позволяя за счет разделения тканей уменьшить суммационный эффект и улучшить визуализацию анатомических структур. ДЭР не может рассматриваться как замена или альтернатива томосинтезу и многосрезовой компьютерной томографии (МСКТ), однако в некоторых случаях может исключать необходимость в проведении дополнительных томографических методик.

Ключевые слова: двухэнергетическая рентгенография, стандартная рентгенография, заболевания органов грудной клетки.

Abstract

Dual-energy subtraction (DES) radiography is a perspective technique which based on impact high and lower energy photons, produces soft-tissue and bone selective images. DES radiography is able to minimize negative qualities of traditional chest X-ray, DES radiography requires expose to comparable doses of radiation. The main aim of the study was to assess the value of DES radiography to detect anatomical and pathological structures of chest. A total of 100 patients with chest lesions were examined by using DES radiography and traditional chest X-ray. As a result, 300 images were analyzed. The soft-tissue and bone selective images were assessed separately. Dual-energy bone reconstruction improved visualization 19 % of the cases; for 9 % of all new information (fractures, bone destruction) was obtained. Soft-tissue reconstruction improved visualization of pulmonary structure 30 % of the cases; additional information consisted small pulmonary calcifications and high-density zones (3 %). By eliminating rib shadows and soft tissues, DES radiography improved visualization of pathological structures of chest. DES radiography can be used as an independent modality, but not considered as a substitute for multi-spiral computed tomography (MSCT) and tomosynthesis.

Key words: Dual-Energy Radiography, Traditional X-Ray, Lung Disease.

Актуальность

В настоящее время наиболее широко в диагностике патологии органов грудной клетки применяется стандартная рентгенография. Однако данная методика обладает рядом ограничений, к которым относятся формирование теневой картины как суммы изображений, неспособность учесть спектральные свойства исследуемых материалов и статич-

ность получаемой картины [2]. Ранее с целью выявления деталей, невидимых на стандартной рентгенограмме, в рентгенологической практике применялась методика получения изображения при помощи лучей повышенной жесткости. Приведенная методика позволяла успешно исследовать пациентов с фиброзно-кавернозным туберкулезом,

бронхоэктатической болезнью, оценивать изменения лимфатических узлов. В связи с развитием новых технологий, позволяющих минимизировать отрицательные качества стандартной рентгенографии, особый интерес для практического здравоохранения представляет методика двухэнергетической рентгенографии (ДЭР).

Двухэнергетическая рентгенография — методика исследования, включающая получение двух рентгенограмм на высокой и низкой энергии, и построение на их основе отдельных изображений мягких и костных тканей. Исходя из физико-технического потенциала можно прогнозировать, что данная методика позволит лучше оценить патологию органов грудной клетки, трудноразличимую при проведении стандартной рентгенографии из-за проекционного наложения различных анатомических структур. Кроме того, известно, что дозовая нагрузка при ДЭР сравнима со стандартной рентгенографией, но значительно ниже, чем при проведении томографических методик [5, 6].

Цель: изучить возможности двухэнергетической рентгенографии в

оценке анатомических и патологических структур органов грудной клетки.

Материалы и методы

Исследования выполнялись на телеуправляемом рентгеновском аппарате «ТелеКоРД-МТ-Плюс» (АО «МТЛ», Россия) расстояние «источник — приемник» — 180 см, мощность тока — 500 мА. Для получения отдельных изображений костной ткани (РИКТ) и мягких тканей (РИМТ) применялось напряжение на трубке, соответствующее 120 и 60 кВп. В ходе работы было обследовано 100 человек с подозрением на патологические изменения органов грудной клетки по данным рентгенографии. Всем пациентам выполнялась стандартная рентгенография в прямой проекции и ДЭР с получением мягкотканной и костной реконструкций. Для анализа результатов была применена шкала оценок от -1 до 2 с соответствующими анализами изображения: от критерия «реконструкция отрицательно влияет на результаты исследования и может способствовать ятрогении» до критерия «выявлена новая информация» (табл.).

Критерии оценки эффективности двухэнергетической рентгенографии органов грудной клетки

Оценка	Критерии анализа изображения
-1	Реконструкция отрицательно влияет на результаты исследования и может способствовать ятрогении
0	Новая информация не получена
1	Получена дополнительная информация в виде улучшения визуализации анатомических и патологических структур органов грудной клетки
2	Выявлена новая информация в виде визуализации структур, которые не определяются на нативном снимке
-2	Не подлежит описанию

Результаты и их обсуждение

В ходе работы получено и проанализировано 300 изображений. Оценка результатов проводилась отдельно по РИКТ (рис. 1) и РИМТ (рис. 2).

На рис. 1 видно, что целевыми показателями было определено количество оценок, позволяющее получить дополнительную информацию (оценки 1 и 2).

Анализ показал, что в костном режиме ДЭР в 19 % случаев лучше отображалась структура костной ткани ребер и ключиц, контуры, реберно-ключичные сочленения, а в 9 % получена новая информация о наличии переломов, участков деструкции костной ткани.

Анализ данных по мягкотканной реконструкции ДЭР показал, что в 30 %

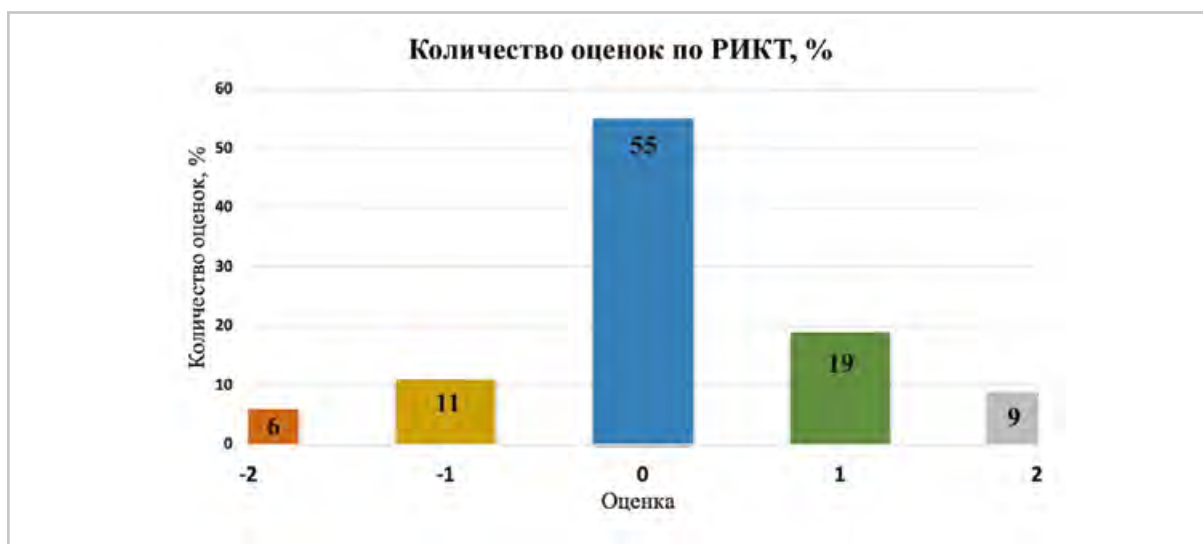


Рис. 1. Результаты оценки двухэнергетической рентгенографии органов грудной клетки по костной ткани

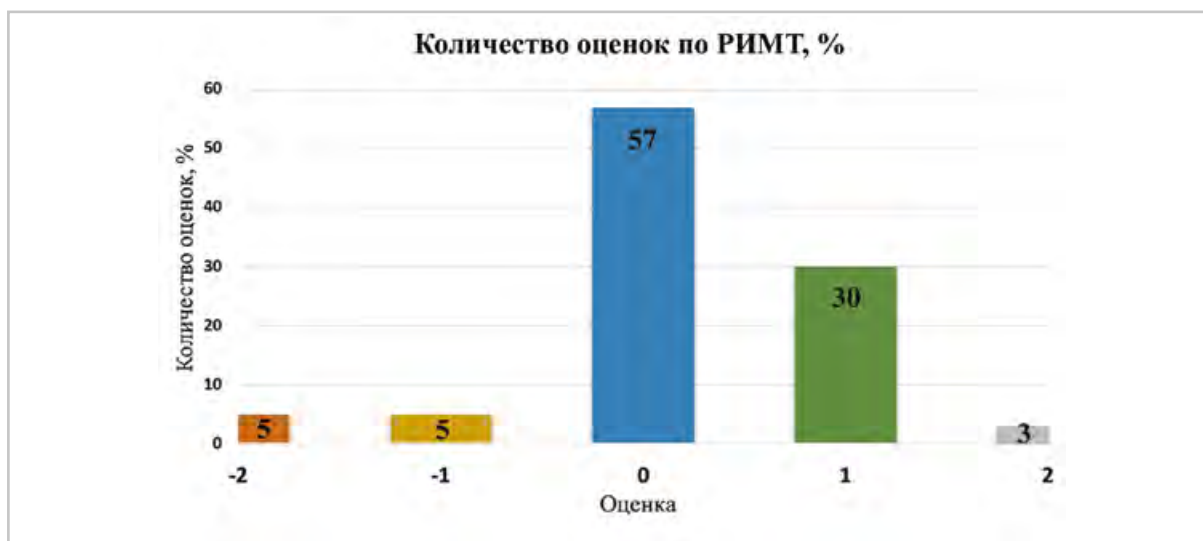


Рис. 2. Результаты оценки двухэнергетической рентгенографии органов грудной клетки по мягким тканям

случаев лучше отображались структура легочного рисунка и корней легких, контуры и интенсивность образований легких, а в 3 % случаев выявлена новая информация в виде ортогонально расположенных сосудов и бронхов, участков уплотнений, мелких кальцинатов, плохо различимых при стандартной рентгенографии.

При сравнительном анализе стандартной рентгенографии и ДЭР последняя позволила более отчетливо визуализировать обызвествленные внутригрудные лимфоузлы и дифференцировать кальцинаты от ортогонально расположенных сосудистых структур (рис. 3, *а – в*).

Очень важным достоинством данного исследования оказалась способность ДЭР в улучшении визуализации небольших средней интенсивности очаговых образований в легких и возможность оценки связи этих образований с тенью ребер на рентгенограмме. Факти-

чески с помощью ДЭР удается провести дифференциальную диагностику между кальцином, образованием легкого и остеомой (рис. 4, *а – в*).

Особенно эффективной методика ДЭР оказалась в диагностике пораженных костных структур грудной клетки в виде улучшения визуализации очагов деструкции в ребрах и ключицах и патологических переломов ребер при миеломной болезни (рис. 5, *а, б*).

В ходе работы были проанализированы изображения с оценкой –2 (табл.), что соответствует неудовлетворительному качеству полученных рентгенограмм для дальнейшей оценки. В качестве основных ограничений методики ДЭР при исследованиях ОГК были выявлены «зернистость» изображения вследствие недостаточного спектрального разнеса импульсов высокой и низкой энергии, неполное подавление костных и мягкотканых элементов в соответствующих режимах, артефакты движения.

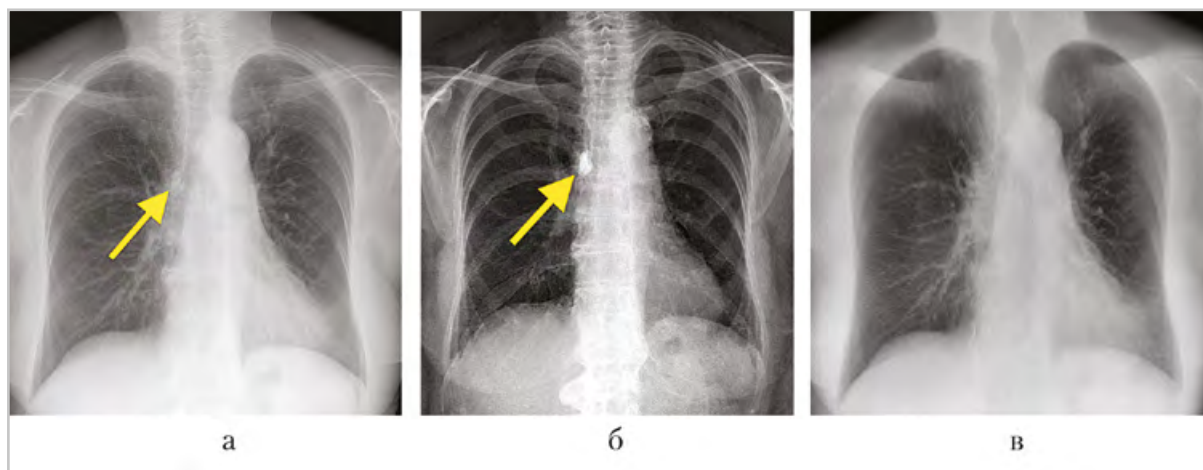


Рис. 3. Рентгенограммы органов грудной клетки в прямой проекции: стандартная рентгенограмма: в проекции корня правого легкого определяется высокоинтенсивная тень, близко расположенная к правому главному бронху (*а*); костный режим ДЭР: позволяет более отчетливо визуализировать плотную кальцинированную структуру — обызвествленный лимфатический узел (*б*); мягкотканый режим ДЭР: элементы легочного рисунка лучше визуализируются, чем на стандартной рентгенограмме, за счет уменьшения проекционного наложения ребер, плотная тень в проекции корня правого легкого не определяется (*в*)

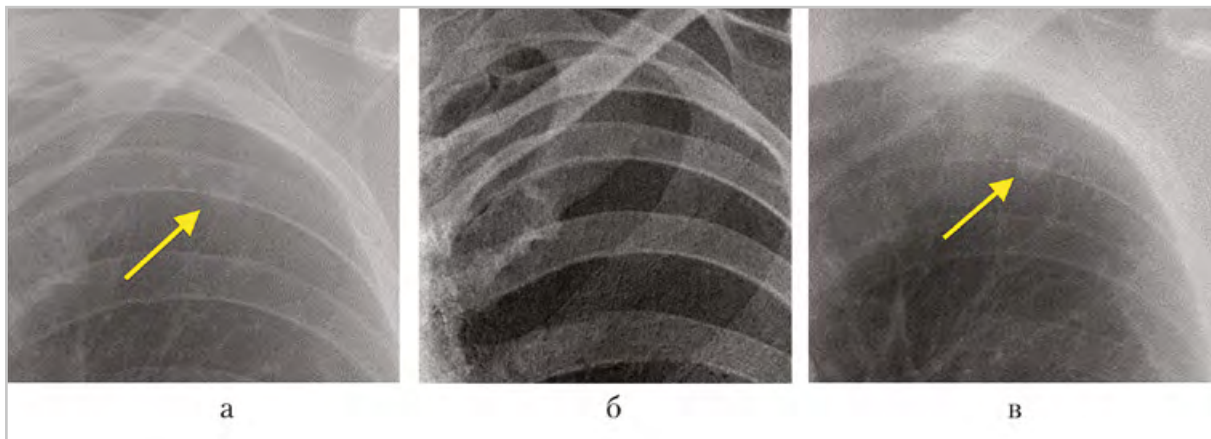


Рис. 4. Рентгенограммы органов грудной клетки в прямой проекции: фрагмент стандартной рентгенограммы: в верхних отделах левого легочного поля определяется однородная округлая структура, на которую накладывается тень III ребра, затрудняющая ее визуализацию (а); костный режим ДЭР: позволяет детально оценить структуру костной ткани, опровергает предположение о внутрикостном расположении очага (б); мягкотканый режим ДЭР: реконструкция позволяет более отчетливо визуализировать округлую тень в верхней доле левого легкого в проекции заднего отрезка III ребра и подтвердить внутрилегочное ее расположение (в)

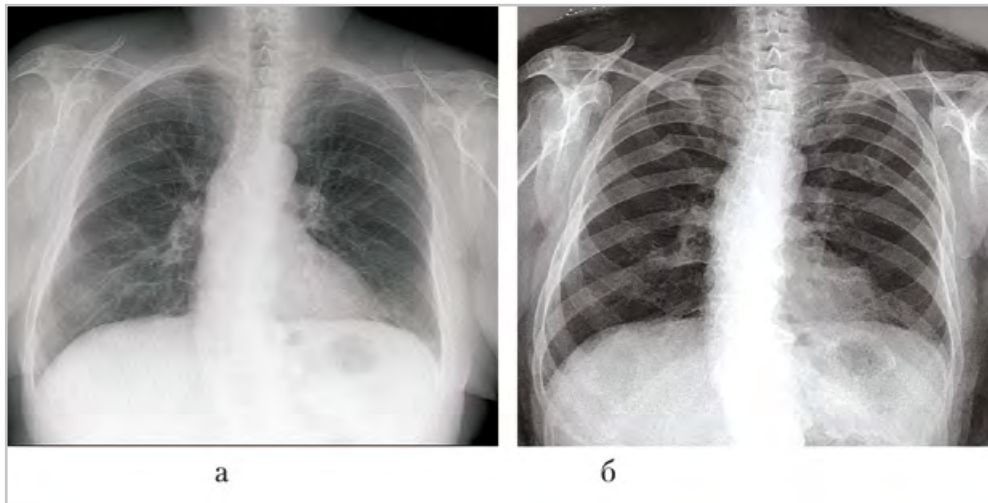


Рис. 5. Рентгенограммы органов грудной клетки: стандартная рентгенограмма: определяются множественные очаги деструкции костной ткани ребер, ключиц, плечевых костей, переломы VI ребер с обеих сторон (а); костная реконструкция ДЭР позволяет более отчетливо визуализировать деструктивные поражения ребер, выявить большее количество очагов поражения не только в ребрах, но и в ключицах и лопатках (б)

Выводы

ДЭР может использоваться как самостоятельная методика исследования, способная за счет разделения тканей

уменьшить суммационный эффект и улучшить визуализацию структур, перекрывающих друг друга. ДЭР не только

позволяет подтвердить спектр основных заболеваний, но в 30 % случаев улучшать визуализацию мелких анатомических образований, раздифференцируя, например, очаговые образования и кальцинаты. ДЭР не может рассматриваться как замена или альтернатива томосинтезу и МСКТ, однако в некоторых случаях может исключать необходимость в проведении исследований другими томографическими методиками.

Список литературы

1. Васильев А. Ю. Томосинтез. М.: Икар, 2020. 224 с.
2. Устинов А. О., Дабагов А. Р. Параметры реконструкции изображений в технологии двухэнергетической рентгенографии // Медицинская техника. 2018. № 3. С. 51–54.
3. Bowman W. A., Robar J. L., Sattarivand M. Optimizing dual-energy x-ray parameters for the ExacTrac clinical stereoscopic imaging system to enhance soft-tissue imaging // J. of Med. Phys. Res. and Practice. 2017. V. 44 (3). P. 823–831.
4. Kumar S. G., Garg M. K., Khandewal N. et al. Role of digital tomosynthesis and dual energy subtraction digital radiography in detecting pulmonary nodules // Eur. J. of Radiol. 2015. V. 84 (7). P. 1383–1391.
5. Lee D., Kim H., Choi B et al. Development of a deep neural network for generating synthetic dual-energy chest x-ray images with single x-ray exposure // Phys. in Med. and Biol. 2019. V. 64. № 11.
6. Manji F., Wang G., Norman G., Wang Z. Comparison of dual-energy subtraction chest radiography and traditional chest X-rays in detection of pulmonary nodules // Quantitative Imag. in Med. and Surg. 2016. V. 6(1). P. 1–5.

7. Molk N., Seeram E. Digital tomosynthesis of the chest: A literature review // Radiography. 2015. V. 21 (2). P. 197–202.

Reference

1. Vasil'ev A. Yu. Tomosynthesis. Moscow: IKAR, 2020. 224 p (in Russian).
2. Ustinov A. O., Dabagov A. R. Image reconstruction parameters in dual-energy radiography technology. Biomedical Engineering. 2018. No. 3. P. 51–54 (in Russian).
3. Bowman W. A., Robar J. L., Sattarivand M. Optimizing dual-energy X-ray parameters for the ExacTrac clinical stereoscopic imaging system to enhance soft-tissue imaging. Journal of Medical Physics Research and Practice. 2017. V. 44 (3). P. 823–831.
4. Kumar S. G., Garg M. K., Khandewal N. et al. Role of digital tomosynthesis and dual energy subtraction digital radiography in detecting pulmonary nodules. European Journal of Radiology. 2015. V. 84 (7). P. 1383–1391.
5. Lee D., Kim H., Choi B et al. Development of a deep neural network for generating synthetic dual-energy chest X-ray images with single X-ray exposure. Physics in Medicine and Biology. 2019. V. 64. № 11.
6. Manji F., Wang G., Norman G., Wang Z. Comparison of dual energy subtraction chest radiography and traditional chest X-rays in detection of pulmonary nodules. Quantitative Imaging in Medicine and Surgery. 2016. V. 6 (1). P. 1–5.
7. Molk N., Seeram E. Digital tomosynthesis of the chest: a literature review. Radiography. 2015. V. 21 (2). P. 197–202.

Сведения об авторах

Васильев Александр Юрьевич, доктор медицинских наук, профессор, член-корреспондент РАН, директор ООО «Центральный научно-исследовательский институт лучевой диагностики», профессор кафедры лучевой диагностики ФГБОУ ВО «Московский государственный медико-стоматологический университет им. А. И. Евдокимова» Минздрава России.
Адрес: 127206, г. Москва, ул. Вучетича, д. 9а.
Тел.: +7 (495) 611-01-77. Электронная почта: auv62@mail.ru
ORCID: 0000-0002-0635-4438

Vasil'ev Alexandr Yur'evich, M. D. Med., Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Head of Central Research Institute of Radiation Diagnostics, Professor of Department of Radiology of Moscow State Medical University of Medicine and Dentistry named after A. I. Evdokimov, Ministry of Healthcare of Russia.
Address: 9a, ul. Vucheticha, Moscow, 127206, Russia.
Phone number: +7 (495) 611-01-77. E-mail: auv62@mail.ru
ORCID: 0000-0002-0635-4438

Наумова Дарья Игоревна, студентка 6-го курса лечебного факультета ФГБОУ ВО «Московский государственный медико-стоматологический университет им. А. И. Евдокимова» Минздрава России.
Адрес: 127473, г. Москва, ул. Делегатская, д. 20/1.
Тел.: +7 (915) 143-37-70. Электронная почта: daryanaumova71@gmail.com
ORCID: 0000-0002-4487-3597

Naumova Dar'ya Igorevna, 6-th year student of General Medicine Faculty of Moscow State Medical University of Medicine and Dentistry named after A. I. Evdokimov, Ministry of Healthcare of Russia.
Address: 20/1, ul. Delegatskaya, Moscow, 127473, Russia.
Phone number: +7 (915) 143-37-70. E-mail: daryanaumova71@gmail.com
ORCID: 0000-0002-4487-3597

Алексеева Ольга Михайловна, кандидат медицинских наук, врач-рентгенолог ГБУЗ «Городская клиническая больница им. В. М. Буянова Департамента здравоохранения города Москвы».
Адрес: 115516, г. Москва, ул. Бакинская, д. 26.
Тел.: +7 (915) 058 13 93. Электронная почта: olya.alexseeva@ya.ru
ORCID: 0000-0002-8007-2586

Alekseeva Ol'ga Mikhaylovna, Ph. D. Med., Radiologist in City Clinical Hospital named after V. M. Buyanov, Moscow Healthcare Department.
Address: 26, ul. Bakinskaya, Moscow, 115516, Russia.
Phone number: +7 (915) 058-13-93. E-mail: olya.alexseeva@ya.ru
ORCID: 0000-0002-8007-2586

Нечаев Валентин Александрович, кандидат медицинских наук, врач-рентгенолог ГБУЗ «Городская клиническая больница им. В. М. Буянова Департамента здравоохранения города Москвы».
Адрес: 115516, г. Москва, ул. Бакинская, д. 26.
Тел.: +7 (495) 321 54 92. Электронная почта: dfkz2005@gmail.com
ORCID: 0000-0002-6716-5593

Nechaev Valentin Aleksandrovich, Ph. D. Med., Radiologist in City Clinical Hospital named after V. M. Buyanov, Moscow Healthcare Department.
Address: 26, ul. Bakinskaya, Moscow, 115516, Russia.
Phone number: +7 (495) 321-54-92. E-mail: dfkz2005@gmail.com
ORCID: 0000-0002-6716-5593

Шунков Юрий Евгеньевич, кандидат технических наук, ведущий инженер-исследователь ООО «Научно-технический центр «МТ»».
Адрес: 140030, МО, Люберецкий район, г.п. Малаховка, ул. Лесопитомник, д. 10/1.
Тел.: +7 (903) 010-03-62. Электронная почта: shue@mtl.ru
ORCID: 0000-0002-9015-3822

Shunkov Yuriy Evgen'evich, Ph. D. Med., Lead Research Engineer in Scientific-Technical Center «МТ»
Address: 10/1, ul. Lesopitomnik, Moscow region, Malahovka, Ovrzhki, 140030, Russia.
Phone number: +7 (903) 010-03-62. E-mail: shue@mtl.ru
ORCID: 0000-0002-9015-3822

Дабагов Анатолий Рудольфович, президент АО «МЕДИЦИНСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ Лтд».
Адрес: 105318, г. Москва, ул. Ибрагимова, д.31.
Тел.: +7 (495) 663-95-01. Электронная почта: mtl@mtl.ru
ORCID: 0000-0001-6684-2591

Dabagov Anatoliy Rudol'fovich, President of Medical Technologies LTD.
Address: 31, ul. Ibragimova, Moscow, 105318, Russia.
Phone number: +7 (495) 663-95-01. E-mail: mtl@mtl.ru
ORCID: 0000-0001-6684-2591

Петухова Наталья Юрьевна, кандидат медицинских наук, заведующая рентгенкабинетом ГБУЗ МО «Московский областной научно-исследовательский клинический институт им. М. Ф. Владимирского».
Адрес: 129110, г. Москва, ул. Щепкина, д. 61/2.
Тел.: +7 (916) 228-88-64. Электронная почта: 79162288864@yandex.ru
ORCID: 0000-0003-1452-0069

Petukhova Natal'ya Yur'evna, Ph. D. Med., Head of Department of Radiation Diagnostic Methods, State Budgetary Healthcare Institution of Moscow Region, Moscow Regional Research Clinical Institute named after M. F. Vladimirovskiy.
Address: 61/2, ul. Shchepkina, Moscow, 129110, Russia.
Phone number: +7 (916) 228-88-64. E-mail: 79162288864@yandex.ru
ORCID: 0000-0003-1452-0069

Вяткина Елена Вячеславовна, кандидат медицинских наук, заведующая рентгенологическим отделом рентгенологического отделения ГБУЗ МО «Московский областной научно-исследовательский клинический институт им. М. Ф. Владимирского».
Адрес: 129110, г. Москва, ул. Щепкина, д. 61/2.
Тел.: +7 (903) 128-96-85. Электронная почта: vyatkina_elena@mail.ru
ORCID: 0000-0002-1999-5357

Vyatkina Elena Vyacheslavovna, Ph. D. Med., Head of Department of Radiation Diagnostic Methods, State Budgetary Healthcare Institution of Moscow Region, Moscow Regional Research Clinical Institute named after M. F. Vladimirovskiy.
Address: 61/2, ul. Shchepkina, Moscow, 129110, Russia.
Phone number: +7 (903) 128-96-85. E-mail: vyatkina_elena@mail.ru
ORCID: 0000-0002-1999-5357

Финансирование исследования и конфликт интересов.

Исследование не финансировалось какими-либо источниками. Авторы заявляют, что данная работа, ее тема, предмет и содержание не затрагивают конкурирующих интересов.