



МЕДИЦИНСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

Оригинальная статья
УДК 616.24-001
<https://doi.org/10.52560/2713-0118-2022-5-50-56>

Артефакты изображений при проведении двухэнергетической рентгенографии органов грудной клетки

А. Ю. Васильев, Д. И. Наумова*

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

Реферат

Цель исследования — изучить причины возникновения артефактов изображений, полученных при проведении двухэнергетической рентгенографии органов грудной клетки (ДЭР), и пути их устранения. Обследовано 252 человека в случайном порядке. Каждому пациенту была выполнена ДЭР.

Проанализировано 756 рентгенограмм, включающих 140 (18,5 %) реконструированных изображений, на которых были выявлены артефакты. По характеру причин распределение было следующим: артефакты движения от пульсирующих сосудов, сердца, дыхательных движений — 58 (41,4 %), «зернистость» изображений — 55 (39,2 %), недостаточное подавление элементов костной плотности на отдельных рентгенограммах мягких тканей — 27 (19,3 %). Основной причиной возникновения различного рода артефактов при проведении ДЭР является несовершенство алгоритма обработки изображения.

Ключевые слова: двухэнергетическая рентгенография, артефакты изображений, рентгенография грудной клетки.

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. Мнения, изложенные в статье, принадлежат авторам рукописи. Авторы подтверждают со-

* **Наумова Дарья Игоревна**, ординатор кафедры лучевой диагностики 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.org/0000-0002-4487-3597

Naumova Dar'ya Igorevna, radiology resident 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.org/0000-0002-4487-3597

© А. Ю. Васильев, Д. И. Наумова.

ответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

MEDICAL TECHNOLOGY

Original research

Artifacts in Dual-Energy Chest Radiography

A. Yu. Vasil'ev, D. I. Naumova*

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

Abstract

The aim of this research is to analyze artifacts in dual-energy chest radiography: their appearance and how to eliminate them. A total of 252 patients were examined in random order by using dual-energy radiography. As a result, 756 images were analyzed. This review describes the most important and most prevalent of them, including motion artifacts - 58 (41,4%), quantum noise – 55 (39,2%) and decreasing the suppression of bony elements on soft-tissue-selective images – 27 (19,3%). The main reason of dual-energy chest radiography artifacts is incorrect image reconstruction parameters.

Key words: Dual-energy Radiography, Image Artifacts, Chest Radiography.

Research funding and conflicts of interest

The study was not funded by any sources. The authors declare that this work, its theme, subject and content do not affect competing interests. The opinions expressed in the article belong to the authors of the manuscript. The authors confirm that their authorship complies with the international ICMJE criteria (all authors made a significant contribution to the development of the concept, preparation of the article, read and approved the final version before publication).

Актуальность

Стандартная рентгенография органов грудной клетки является наиболее широко используемой методикой лучевой диагностики в клинической практике благодаря простоте реализации и экономической эффективности [1]. Однако в связи с наличием эффекта суммации органов и тканей исследуемой области методика стандартной рентгенографии имеет ограниченную чувствительность и специфичность [4]. С целью устранения негативного влияния суммационного эффекта была предложена двухэнергетическая рентгенография (ДЭР) [2].

ДЭР – методика последовательного получения двух рентгенограмм, выпол-

ненных при высоком и низком анодных напряжениях, и построение на их основе отдельных изображений мягких и костной тканей грудной клетки. В настоящее время технология ДЭР представляет научный и практический интерес, и в основном в диагностике заболеваний молочных желез [6]. Продолжается ее активное совершенствование и изучение эффективности в диагностике заболеваний органов грудной клетки. В то же время помимо явных преимуществ данная методика имеет ряд недостатков, главным из которых является возникновение различного вида артефактов, которые потенциально могут вызывать ошибки интерпретации и в дальнейшем

привести к неправильной оценке результатов [2, 3].

На текущий момент на рынке РФ присутствуют несколько производителей аппаратов с технологией двухэнергетической рентгенографии, к которым относятся «ТелеКоРД-МТ-Плюс» (АО «МТЛ», Россия), FDR AcSelerate (Fujifilm Medical System, Япония), SonialVision Safire (Shimadzu, Япония), VolumeRAD (GE, США) [2].

Цель: изучить причины возникновения артефактов изображений и пути их устранения при проведении двухэнергетической рентгенографии грудной клетки.

Материалы и методы

Исследования выполнялись на цифровой рентгенодиагностической системе «ТелеКоРД-МТ-Плюс» (АО «МТЛ», Россия). Обследовано 252 человека в случайном порядке. Каждому пациенту проводилась двухэнергетическая рентгенография органов грудной клетки в прямой проекции в положениях: стоя ($n = 189,75\%$) и лежа на спине ($n = 63,25\%$). ДЭР выполнялась по стандартной методике с задержкой дыхания после умеренного вдоха. Все исследования проводились с рас-

стоянием источник-приемник 180 см, силой тока 500 мА, дополнительным фильтрующим слоем из 1 мм алюминия и 0,2 мм меди и растром. Для получения отдельных изображений мягких и костной тканей в зависимости от типа телосложения пациента использовались следующие последовательности напряжения: 60 и 120 кВ для астеников и нормостеников, 70 и 130 кВ для гиперстеников. Доза излучения ограничивалась устройствами автоматического контроля экспозиции.

Результаты и их обсуждение

Проанализировано 756 рентгенограмм, включающих 140 (18,5 %) реконструктивных изображений, на которых были выявлены артефакты.

Как следует из диаграммы, отдельные изображения мягких тканей (РИМТ) пациентов с гиперстеническим типом телосложения встречались в подвыборке рентгенограмм с артефактами заметно чаще ($n = 15, 10,7\%$), чем в общей выборке (рис. 1). Превалирующее количество ($n = 91, 65\%$) рентгенограмм неудовлетворительного качества приходилось на отдельные изображения костной ткани (РИКТ).

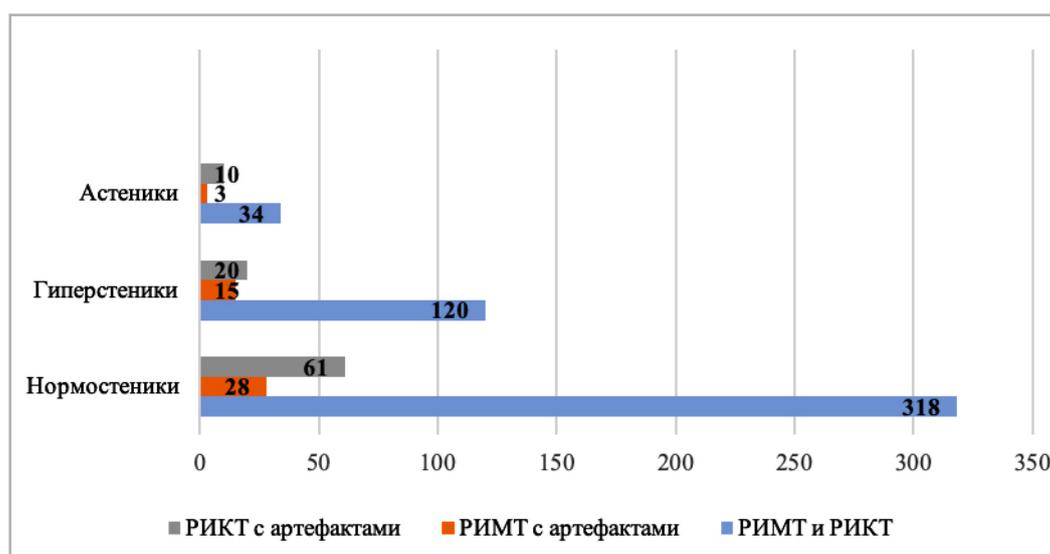


Рис. 1. Диаграмма. Распределение реконструированных изображений с артефактами в зависимости от типа телосложения

По характеру артефактов распределение было следующим: артефакты от пульсирующих сосудов, сердца, дыхательных движений — 58 (41,4 %), «зернистость» изображений — 55 (39,2 %), недостаточное подавление элементов костной плотности на РИМТ — 27 (19,3 %). Стоит отметить, что в 25 % случаев на серии рентгенограмм определялись несколько разных по характеру артефактов.

Преобладающее количество двигательных артефактов в выборке объясняется физическими особенностями получения отдельных изображений. При работе с данной цифровой диагностической системой минимальное время задержки между экспозициями составляло 300 мс, а длительность окна накопления — 400 мс, что не позволяет получать высококачественные рентгенограммы у пациентов с тахикардией [3]. Двигательные артефакты на отдельных изображениях имели вид линейных участков просветления вдоль тени средостения, ребер, куполов диафрагмы, «объемного» легочного рисунка (рис. 2, б, в).

«Зернистость» изображений затрудняла интерпретацию отдельных костных рентгенограмм. Артефакты не позволяли в полном объеме изучить структуру костной ткани ребер, ключиц,

лопаток, проксимальных отделов плечевых костей, что делало проведение ДЭР нецелесообразным (рис. 3, б).

В 19,3 % случаев на РИМТ встречались артефакты, связанные с неполным подавлением костных структур. На рентгенограммах определялись тени повышенной интенсивности с нечеткими контурами, которые могли восприниматься рентгенологом как патологический процесс (рис. 4, б). Эти артефакты обусловлены недостаточно эффективным алгоритмом обработки изображений.

Усовершенствование алгоритма обработки изображений при проведении ДЭР грудной клетки рассматривалось в работах российских и зарубежных авторов [2–6]. Все исследования проводились на разных диагностических системах, к которым относятся «Теле-КоРД-МТ-Плюс» (АО «МТЛ», Россия), REX-650R (Listem Co., Южная Корея), Innovision (DK Medical Systems Co., Ltd., Южная Корея), что опровергает гипотезу о связи возникновения артефактов реконструированных изображений с конкретной моделью рентгеновского аппарата. Наибольшие трудности у исследователей вызывали артефакты движения, так как получить реконструированные изображения, синхронизированные с частотой сердечных

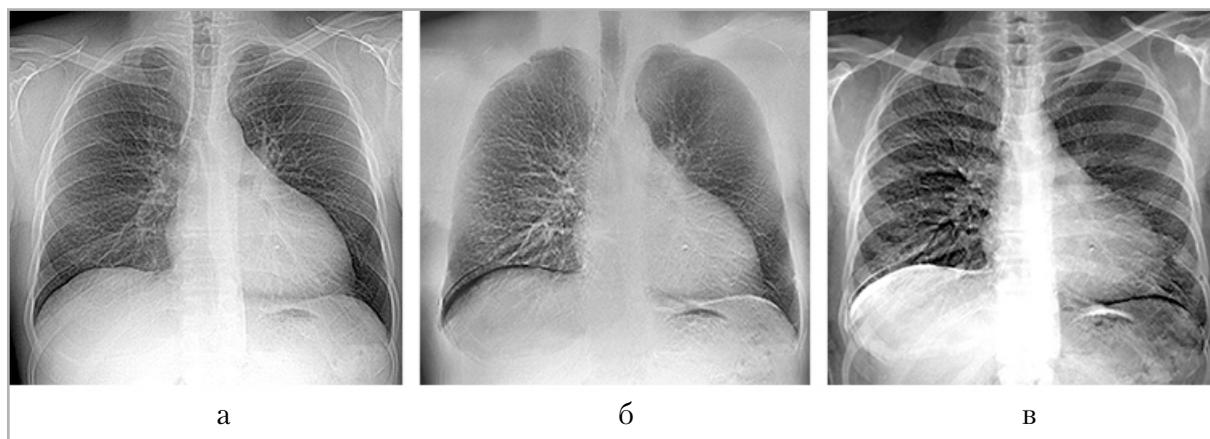


Рис. 2. Рентгенограммы органов грудной клетки в прямой проекции: а — стандартная рентгенограмма; б — РИМТ с артефактами движения от сердцебиения и дыхания; в — РИКТ с артефактами движения от сердцебиения и дыхания

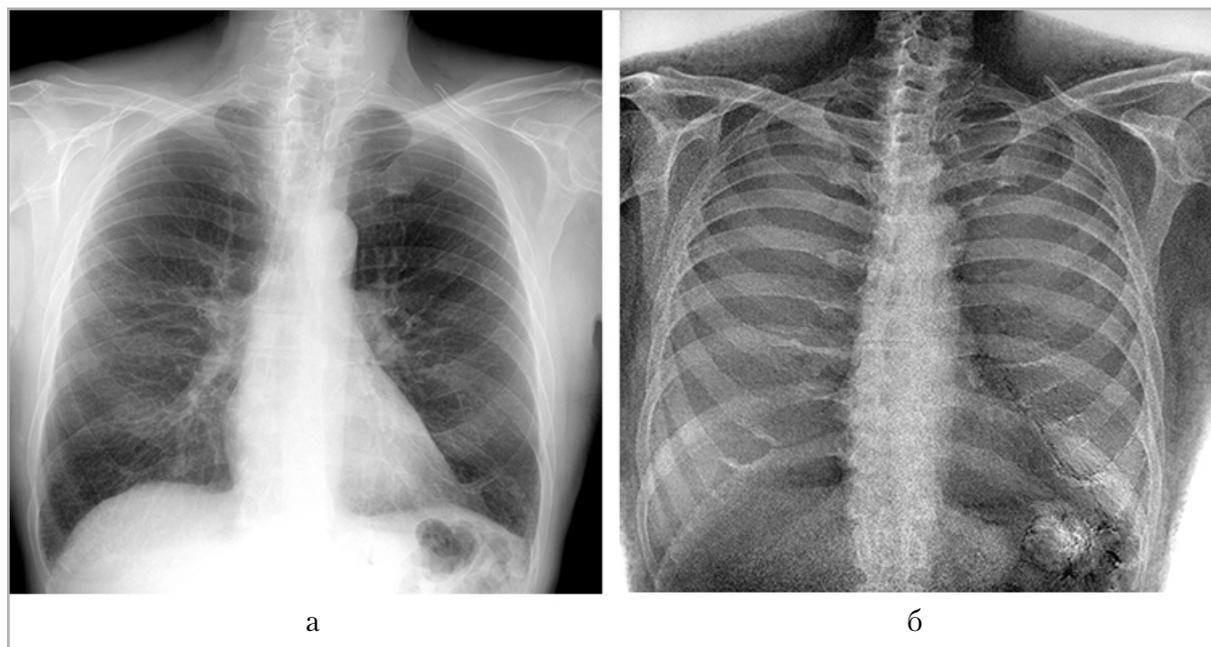


Рис. 3. Рентгенограммы органов грудной клетки в прямой проекции: *а* — стандартная рентгенограмма; *б* — РИКТ с выраженной «зернистостью» и артефактами движения от сердцебиения и дыхания

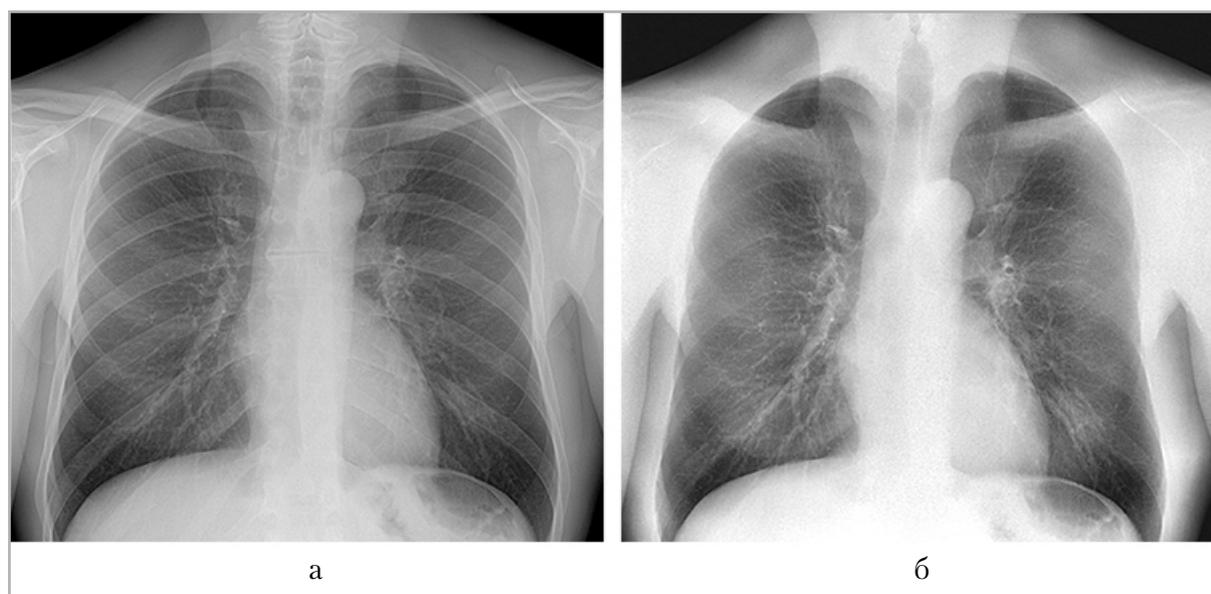


Рис. 4. Рентгенограммы органов грудной клетки в прямой проекции: *а* — стандартная рентгенограмма; *б* — РИМТ с неполным подавлением теней от ключиц и ребер

сокращений и дыхательных циклов, в настоящее время не представляется возможным [6], эти данные подтверждены в нашей работе. В экспериментальных исследованиях, выполненных на фантоме грудной клетки, авторы применяли алгоритм, позволяющий повысить диагностическую ценность ДЭР в визуа-

лизации очаговых образований легких за счет лучшего разделения структур и подавления «зернистости» реконструированных изображений [5–6]. Таким образом, нами были описаны и проанализированы основные, наиболее часто встречаемые артефакты изображений ДЭР, существенно ограничивающие

диагностические возможности указанной методики в исследованиях грудной клетки.

Заключение

Определены и проанализированы наиболее часто встречаемые артефакты, затрудняющие оценку изображений, полученных в ходе ДЭР органов грудной клетки. В 18,5 % интерпретация раздельных рентгенограмм вызывала трудности. Основной причиной возникновения различного рода артефактов при проведении ДЭР является несовершенство алгоритма обработки изображения. Можно констатировать, что в настоящее время методика ДЭР не может быть рекомендована для широкого использования в практическом здравоохранении до исправления алгоритмов обработки изображения.

Список литературы

1. Васильев А. Ю., Наумова Д. И., Алексеева О. М., Нечаев В. А., Шунков Ю. Е., Дабагов А. Р., Петухова Н. Ю., Вяткина Е. И. Возможности методики двухэнергетической рентгенографии при рентгеновских исследованиях органов грудной клетки // Радиология – практика. 2021. № 1. С. 14–22.
2. Устинов А. О., Дабагов А. Р. Параметры реконструкции изображений в технологии двухэнергетической рентгенографии // Медицинская техника. 2018. № 3. С. 51–54.
3. Шунков Ю. Е., Кобылкин И. С., Прохоров А. В., Поздняков Д. В., Касюк Д. М., Нечаев В. А., Алексеева О. М., Наумова Д. И., Дабагов А. Р. Уменьшение артефактов движения пациента в двухэнергетической рентгенографии // Медицинская техника. 2021. № 6. С. 31–34.
4. Fredenberg E. Spectral and dual-energy X-ray imaging for medical applications. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. 2018. V. 878. P. 74–87.
5. Kim C., Yang S. H., Kim J. Effects of the technique parameters on the imaging performance of the dual-energy chest radiography. J. Korean Phys. Soc. 2021. P. 849–859. <https://doi.org/10.1007/s40042-021-00164-5>
6. Lee M., Lee D., Kim H. et al. Development of a non-linear dual-energy technique in chest radiography. Radiation Physics and Chemistry. 2020. V. 172. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2020.108811>

References

1. Vasil'ev A. Yu., Naumova D. I., Alekseeva O. M., Nechaev V. A., Shunkov Yu. E., Dabagov A. R., Petukhova N. Yu., Vyatkina E. V. Utility of Dual Energy Substruction Chest Radiography. Radiology – Practice. 2021. No. 1. P. 14–22 (in Russian).
2. Ustinov A. O., Dabagov A. R. Image reconstruction parameters in Dual Energy Radiography. Medicinskaya tekhnika. 2018. No. 3. P. 51–54 (in Russian).
3. Shunkov Yu. E., Kobylkin I. S., Prohorov A. V., Pozdnyakov D. V., Kasjuk D. M., Nechaev V. A., Alekseeva O. M., Naumova D. I., Dabagov A. R. Motion Artefact Reduction in Dual-Energy Radiography. Medicinskaya tekhnika. 2021. No. 6. P. 31–34 (in Russian).
4. Fredenberg E. Spectral and dual-energy X-ray imaging for medical applications. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. 2018. V. 878. P. 74–87.
5. Kim C., Yang S. H., Kim J. Effects of the technique parameters on the imaging performance of the dual-energy chest radiography. J. Korean Phys. Soc. 2021. P. 849–859. <https://doi.org/10.1007/s40042-021-00164-5>
6. Lee M., Lee D., Kim H. et al. Development of a non-linear dual-energy technique in chest radiography. Radiation Physics and Chemistry. 2020. V. 172. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2020.108811>

Сведения об авторах / Information about authors

Васильев Александр Юрьевич, доктор медицинских наук, 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@gmail.ru

[ORCID.org/0000-0002-0635-4438](https://orcid.org/0000-0002-0635-4438)

Вклад автора: создание концепции научного направления, автор одобрил окончательную версию статьи перед ее подачей для публикации, принял на себя ответственность за все аспекты работы и готов подтвердить, что вопросы, относящиеся к достоверности и цельности любой части исследования, должным образом учтены, формировал заключения и выводы по материалу.

Vasil'ev Aleksandr Yur'evich, M. D. Med., 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@gmail.ru

[ORCID.org/0000-0002-0635-4438](https://orcid.org/0000-0002-0635-4438)

Author's contribution: formation of an idea, goals and writing a text, approval of the final version of the publication – taking responsibility for all aspects of the work, the integrity of all parts of the article and its final version.

Наумова Дарья Игоревна, ординатор кафедры лучевой диагностики 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.org/0000-0002-4487-3597](https://orcid.org/0000-0002-4487-3597)

Вклад автора: осуществила написание первой версии статьи или ее критический пересмотр на предмет важного интеллектуального содержания, участвовала в сборе материала, принимала участие в обработке материала и обсчете статистических показателей, работа с различными изображениями и подрисуночными подписями.

Naumova Dar'ya Igorevna, radiology resident 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.org/0000-0002-4487-3597](https://orcid.org/0000-0002-4487-3597)

Author's contribution: writing the first version of the article or its critical revision for important intellectual content, participation in the processing of the material and calculation of statistical indicators, work with images and captions.