

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОНУСНО-ЛУЧЕВОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ В ДИАГНОСТИКЕ ЗАБОЛЕВАНИЙ ОПОРНО-ДВИГАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Шолохова Н.А.^{1,2},
Жарков Д.К.^{1,2},
Лежнев Д.А.^{1,3},
Васильев А.Ю.^{1,4},
Петровская В.В.¹,
Лазаренко Е.Ю.^{1,2},
Блинов Н.Н.¹,
Сергеева А.Д.¹

¹ ФГБОУ ВО «Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова» Минздрава России (127473, г. Москва, ул. Делегатская, 20/1, Россия)

² ГБУЗ «Детская городская клиническая больница святого Владимира Департамента здравоохранения города Москвы» (107014, г. Москва, ул. Рубцовско-Дворцовая, 1/3, Россия)

³ ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного медицинского образования» Минздрава России (125993, г. Москва, ул. Баррикадная, 2/1, стр. 1, Россия)

⁴ ООО «Центральный научно-исследовательский институт лучевой диагностики» (109431, г. Москва, ул. Авиаконструктора Миля, 15/1, Россия)

РЕЗЮМЕ

Высокая частота заболеваемости и широкий спектр патологий опорно-двигательного аппарата обуславливают совершенствование диагностического процесса. Поздняя постановка диагноза приводит к возникновению осложнений, что в свою очередь повышает процент инвалидизации. Поэтому поиск наиболее информативного метода с наименьшей радиационной нагрузкой на пациента остаётся актуальной проблемой для радиологов. Конусно-лучевая компьютерная томография (КЛКТ) – современная и перспективная методика, которая уже нашла широкое применение в стоматологии и оториноларингологии. Среди преимуществ КЛКТ можно отметить: объёмное изображение; высокое пространственное разрешение; низкую дозу лучевой нагрузки. Благодаря техническому совершенствованию аппаратуры и появлению новых протоколов обработки изображений появилась возможность расширения показаний к выполнению исследований, в том числе и за счёт съёмки верхних и нижних конечностей. По результатам КЛКТ-исследования можно оценить: форму и контур кости; наличие нарушения целостности кости и положения костных отломков; структуру костной ткани и протекающие в ней патологические процессы (деструкция, остеопороз, остеосклероз); конгруэнтность сустава и изменения суставных поверхностей, окружающих мягкие ткани. Исходя из вышесказанного, КЛКТ можно внедрить в диагностический процесс заболеваний костно-суставной системы. Применение данной методики найдёт широкое применение в травматологии и ортопедии (переломы, вывихи, посттравматические деформации, асептические некрозы, остеоартрозы), ревматологии (ревматоидные артриты, полиартропатии, ювенильные артриты, подагра), хирургии (остеомиелиты), онкологии (доброкачественные и злокачественные новообразования костей) как у взрослого населения, так и в педиатрической практике. В данной работе представлен обзор литературы, в которой изучена степень разработанности вопроса применения КЛКТ и описаны протоколы исследования и обработки полученных изображений в диагностике заболеваний опорно-двигательного аппарата.

Ключевые слова: лучевая диагностика, конусно-лучевая компьютерная томография, костно-суставная система, опорно-двигательный аппарат

Автор, ответственный за переписку:
Жарков Даниил Константинович,
e-mail: gaspardan@mail.ru

Статья поступила: 29.05.2023

Статья принята: 18.10.2023

Статья опубликована: 05.12.2023

Для цитирования: Шолохова Н.А., Жарков Д.К., Лежнев Д.А., Васильев А.Ю., Петровская В.В., Лазаренко Е.Ю., Блинов Н.Н., Сергеева А.Д. Современное состояние вопроса использования конусно-лучевой компьютерной томографии в диагностике заболеваний опорно-двигательного аппарата. *Acta biomedica scientifica*. 2023; 8(5): 182-191. doi: 10.29413/ABS.2023-8.5.20

THE CURRENT STATE OF THE ISSUE OF USING CONE BEAM COMPUTED TOMOGRAPHY IN THE DIAGNOSIS OF MUSCULOSKELETAL DISEASES

Sholokhova N.A.^{1,2},
Zharkov D.K.^{1,2},
Lezhnev D.A.^{1,3},
Vasilyev A.Yu.^{1,4},
Petrovskaya V.V.¹,
Lazarenko E.Yu.^{1,2},
Blinov N.N.¹,
Sergeeva A.D.¹

¹ A.I. Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry (Delegatskaya str. 20/1, Moscow 127473, Russian Federation)

² Children's State Hospital of St. Vladimir, Moscow Healthcare Department (Rubtsovsko-Dvortsovaya str. 1/3, Moscow 107014, Russian Federation)

³ Russian Medical Academy of Continuous Professional Education (Barrikadnaya str. 2/1, Moscow 125993, Russian Federation)

⁴ Central Research Institute of Radiation Diagnostics (Aviakonstruktora Milya str. 15/1, Moscow 125993, Russian Federation)

Corresponding author:
Daniil K. Zharkov,
e-mail: gaspardan@mail.ru

ABSTRACT

The high incidence rate and wide range of musculoskeletal pathologies determine the improvement of the diagnostic process. Late diagnosis leads to complications, which in turn increase the percentage of disability. Therefore, the search for the most informative method with the least radiation load on the patient remains an urgent problem for radiologists. Cone beam computed tomography (CBCT) is a modern and promising technique that has already found wide application in dentistry and otorhinolaryngology. Among the advantages of CBCT are: three-dimensional image; high spatial resolution; low radiation dose. Thanks to technical improvements in equipment and the introduction of new image processing protocols, it has become possible to expand the indications for conducting the researches, including the researches based on imaging of the upper and lower extremities. Based on the results of a CBCT study, we can evaluate: the shape and contour of the bone; solution of continuity of the bone and malposition of bone fragments; the structure of bone tissue and the pathological processes occurring in it (destruction, osteoporosis, osteosclerosis); joint congruence and changes in articular surfaces surrounding soft tissues. Therefore, CBCT can be introduced into the diagnostic process of bones and joints diseases. The use of this technique will find wide application in traumatology and orthopedics (fractures, dislocations, post-traumatic deformities, aseptic necrosis, osteoarthritis), rheumatology (rheumatoid arthritis, polyarthropathy, juvenile arthritis, gout), surgery (osteomyelitis), oncology (benign and malignant bone tumors) both in the adult population and in pediatric practice. This paper presents a review of the literature, which examines the degree of development of the issue of using CBCT and describes study protocols and protocols for processing the obtained images in the diagnosis of musculoskeletal diseases.

Key words: radiology, cone beam computed tomography, osteoarticular system, musculoskeletal system

Статья поступила: 29.05.2023

Статья принята: 18.10.2023

Статья опубликована: 05.12.2023

For citation: Sholokhova N.A., Zharkov D.K., Lezhnev D.A., Vasilyev A.Yu., Petrovskaya V.V., Lazarenko E.Yu., Blinov N.N., Sergeeva A.D. The current state of the issue of using cone beam computed tomography in the diagnosis of musculoskeletal diseases. *Acta biomedica scientifica*. 2023; 8(5): 182-191. doi: 10.29413/ABS.2023-8.5.20

АКТУАЛЬНОСТЬ

Частая встречаемость патологии опорно-двигательного аппарата представляет собой актуальную проблему, затрагивающую все возрастные категории населения. По данным статистики, данная группа заболеваний имеет широкое распространение и занимает стабильное 3-е место, уступая только болезням органов дыхания и системы кровообращения [1]. Помимо этого, сохраняются высокие показатели инвалидизации, занимающие 3-е место в структуре первичной инвалидности населения [2]. На этом фоне повышается необходимость постоянного поиска оптимальных диагностических подходов, направленных на получение исчерпывающей информации с одновременным снижением лучевой нагрузки без потери информативности.

Рентгенография считается первичным и рутинным методом в диагностике заболеваний опорно-двигательного аппарата как у взрослых, так и у детей за счёт её общедоступности и скорости выполнения [3, 4]. Однако суммация теней может затруднить визуализацию изменений в костях, особенно при исследовании сложных анатомических структур, таких как кисть и стопа [5]. Мультисрезовая компьютерная томография представляет собой высокоинформативный метод, дающий более информативную картину заболевания, но сопровождающийся высокой дозой лучевой нагрузки на пациента [3, 6].

Конусно-лучевая компьютерная томография (КЛКТ) уже нашла широкое применение в стоматологии, челюстно-лицевой хирургии и оториноларингологии [7, 8]. Благодаря техническому совершенствованию аппаратуры, появились конусно-лучевые томографы нового поколения, способные проводить исследования верхних и нижних конечностей [8, 9].

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Провести анализ научной информации о состоянии вопроса применения конусно-лучевой компьютерной томографии в диагностике заболеваний опорно-двигательного аппарата.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Конусно-лучевая компьютерная томография (КЛКТ) – методика послонной диагностики, основанная на компьютерной реконструкции изображения, получаемого при круговом сканировании объекта конусовидным пучком рентгеновского излучения [10]. У КЛКТ сканеры используют коллимированный рентгеновский луч в виде конуса, в отличие от узкого веерообразного пучка при мультисрезовой компьютерной томографии (МСКТ). КЛКТ имеет импульсный характер излучения, в то время как МСКТ – непрерывный. Полученные проекции данных обрабатываются и в ходе реконструкции изображения могут быть объединены в одном объекте для визуализации [11, 12].

Первое упоминание КЛКТ представлено в публикации Р. Mozzo и соавт. в 1998 г. В своей работе авторы представили новый тип компьютерной томографии и его применение в челюстно-лицевой хирургии и стоматологии [9]. В отечественной литературе в 2012 г. в работе А.Ю. Васильева и соавт. впервые был поднят вопрос о применении КЛКТ в травматологии и представлено новое поколение КЛК-томографа. Авторами были описаны следующие преимущества: высокое пространственное разрешение; отсутствие артефактов от металлоконструкций; быстрота проведения исследования [7]. Вместе с этим для КЛКТ отмечается возможность количественной оценки уровня минерализации костной ткани [13].

Основным преимуществом КЛКТ считается высокое пространственное разрешение, позволяющее получить информацию вплоть до мельчайших деталей костной архитектоники [12]. Среди отечественной научной литературы особый вклад отмечается для ряда научных статей Д.В. Макаровой и соавт. (2014–2017), в которых продемонстрированы возможности КЛКТ в ревматологической практике. Так, в наиболее поздней работе авторов было проанализировано 248 КЛКТ-исследований кистей и стоп. Были рассмотрены такие изменения, как остеопороз, сужение суставной щели, кистовидная перестройка, эрозия, остеолит, костная пролиферация, изменения в мягких тканях. По результатам исследования КЛКТ показала более высокую информативность, чем стандартная рентгенография, а в совокупности с низкой лучевой нагрузкой КЛКТ была рекомендована авторами как методика первого этапа диагностики [10].

Вместе с тем Y. Aurell и соавт. (2018) также задумались о применении КЛКТ в ревматоидной практике. В своей работе авторы решили оценить диагностические возможности КЛКТ в визуализации костных эрозий при ревматоидном артрите и сравнить с рентгенографией. В их исследование было включено 30 пациентов с длительно текущим ревматоидным артритом. КЛКТ позволила дифференцировать костные эрозии во всех 30 случаях, в то время как рентгенография – только в 26. Авторы отметили, что КЛКТ обладает большей чувствительностью к выявлению эрозий, чем стандартная рентгенография, и рекомендуют методику как в первичной диагностике, так и в дальнейшем динамическом наблюдении [14].

Научная группа под руководством М. Posadzy (2018) опубликовала работу, в которой детально демонстрируются возможности КЛКТ в диагностике основных нозологических форм заболеваний опорно-двигательного аппарата, таких как: травматические изменения (перелом, вывих); опухоли и опухолеподобные поражения костей; остеомиелит; дегенеративные изменения суставов. Также ими была представлена КЛКТ суставов с применением контрастного препарата в целях изучения костно-хрящевых изменений. В результате проведения КЛКТ детально визуализированы остеохондральные изменения с кистовидной перестройкой, наличие внутрисуставных фрагментов различной плотности и пролиферативное поражение синовиальной оболочки. По мнению авторов, полученные результаты сопоставимы

с данными магнитно-резонансной томографии (МРТ), в силу чего КЛКТ-артрография может выступать аналогом МРТ у пациентов с клаустрофобией или иным противопоказаниями [12].

Плоскостопие – распространённое ортопедическое заболевание, характеризующиеся коллапсом медиального продольного свода стопы с деформацией стопы и голеностопного сустава [15]. Приобретённое плоскостопие у взрослых включает в себя широкий спектр отказов связок и сухожилий, которые могут привести к искривлению оси стопы и инвалидности [16]. «Золотым» диагностическим стандартом считается рентгенография стопы с функциональной нагрузкой. Группой учёных С. de Cesar Netto и соавт. (2017) были изучены вопросы, связанные с приобретённым плоскостопием у взрослых, и проведено ретроспективное исследование, в котором 20 пациентам сделали КЛКТ-исследование с функциональной нагрузкой в стоячем положении и без нагрузки в положении сидя. В полученных результатах авторы отметили высокую информативность в обеих положениях, но исследования с функциональной нагрузкой имели большее диагностическое значение. Однако, помимо оценки степени плоскостопия, благодаря КЛКТ можно получить более детальную оценку состояния костной ткани и суставов стопы, чем при стандартной рентгенографии. Исследователи сделали вывод, что, кроме статистически значимых измерений, аналогично получаемых при традиционной рентгенографии, с помощью КЛКТ можно также визуализировать картину, детально демонстрирующую тяжесть костных нарушений [17].

Благодаря своей высокой разрешающей способности КЛКТ способна максимально чётко визуализировать изменения костной ткани, будь то деструктивный очаг, формирующий полостное образование, или мельчайшая микротрещина. Благодаря своим диагностическим возможностям, КЛКТ может найти широкое применение в таких направлениях, как травматология и ортопедия, ревматология, хирургия, онкология. Также была описана и представлена возможность проводить КЛКТ-исследования с функциональной нагрузкой на примере диагностики приобретённого плоскостопия у взрослых [17]. Использование данной методики открывает новые возможности в процессе обследования костей и суставов нижней конечности. Исходя из вышеописанного применение КЛКТ для обследования опорно-двигательного аппарата становится актуальным как для взрослого населения, так и для пациентов педиатрического профиля.

В 2017 г. во Франции С. Vogel и соавт. провели клиническое испытание возможности КЛКТ в диагностике скрытых переломов ладьевидной кости. 49 пациентам с клиническими проявлениями перелома ладьевидной кости и нормальными результатами на рентгенограммах были дополнительно выполнены КЛКТ и МРТ. При рассмотрении полученных результатов КЛКТ показала себя высокоинформативным и более информативным диагностическим инструментом, чем рентгенография, и не уступала аналогичным показателям МРТ; при этом КЛКТ менее экономически затратна, чем МРТ

(табл. 1). Авторы подмечают, что КЛКТ может выступать как в качестве дополнения, так и как полноценная замена стандартной рентгенографии при травмах лучезапястного сустава, особенно при подозрении на перелом ладьевидной кости [18].

Немецкими учёными J. Neubaer и соавт. (2018) было проведено ретроспективное исследование КЛКТ при переломах ладьевидной кости. В свой труд они включили 102 пациентов, которым были проведены стандартная рентгенография и КЛКТ. Независимо от указанного исследования в 2022 г. была опубликована работа E. Fitzpatrick и соавт., в которой был проведён метаанализ научной литературы о применении КЛКТ при переломах лучезапястного сустава. Целью данных работ было определение диагностической точности КЛКТ при острой травме лучезапястного сустава. КЛКТ показала себя высокоинформативным инструментом, который может заменить или дополнить рентгенограмму (табл. 1) [19, 20]. Британские учёные также отметили, что КЛКТ даёт более детальное изображение, чем МСКТ, что улучшает визуализацию интересующей области. Они обуславливают это более высоким пространственным разрешением, которое у КЛКТ составляет 0,4–0,09 мм, в то время как у МСКТ – 1–2 мм [19].

Травма локтевого сустава – частая причина обращения в отделения травматологии. Нередко стандартной рентгенографии недостаточно для постановки правильного диагноза и планирования лечения [21]. В целях дообследования врачи-травматологи назначают МСКТ, при проведении которой пациент укладывается в позу «супермена» с вытянутой рукой в гентри [22, 23]. Однако в случаях вынужденной иммобилизации или выраженного болевого синдрома у больного приходится производить атипичную укладку пациента [23]. Группой немецких врачей в 2023 г. был представлен КЛКТ-томограф с двойной роботизированной рентгенографической системой без гентри, в котором стало возможным производить исследования локтевого сустава как в согнутом, так и в разогнутом состоянии, не облучая соседние анатомические области. Данная работа показала не только высокую диагностическую ценность, но также дала возможность проводить исследования с низкой дозой облучения у людей с ограниченной подвижностью сустава, что особенно актуально при острой травме локтевого сустава (табл. 1) [23].

Помимо выявления нарушения целостности костей и положения отломков, крайне важно оценить процесс остеорегенерации в целях исключения возникновения осложнений. В целях совершенствования диагностического процесса группа учёных L.C. Farracho и соавт. (2020) проанализировали 52 КЛКТ-исследования пациентов с переломом ладьевидной кости, выполненных на 6-й неделе иммобилизации, и сравнили их со стандартной рентгенографией. Швейцарские исследователи пришли к выводу, что КЛКТ позволяет проследить формирование трабекулярных перепонок и кортикальное сращение, в отличие от рентгенографии, что даёт более достоверную информацию о костной консолидации. Также в работе была отмечена высокая роль КЛКТ в диагно-

стике как обычных, так и скрытых переломов ладьевидной кости и более информативная картина смещений костных фрагментов. Эксперты отметили довольно низкую дозу лучевой нагрузки, получаемой пациентом [24].

Запоздалая диагностика или упущение разрыва ладьевидно-полулунной связки могут привести к развитию посттравматического остеоартроза запястья [25]. Группа немецких экспертов J.E. Dornberger и соавт. (2021) описали КЛКТ-артрографию и продемонстрировали её в диагностическом процессе разрыва ладьевидно-полулунной связки. Авторы провели проспективный анализ и сравнили традиционную артрографию, МСКТ-артрографию и КЛКТ-артрографию. В полученных результатах КЛКТ предоставила полноценные трёхмерные изображения, диагностическая ценность которых имеет высокие показатели и не уступает таковой для МСКТ (табл. 1). Однако исследование КЛКТ сопровождается низкой лучевой нагрузкой на пациента (в сравнении с МСКТ). В своих выводах учёные рекомендуют КЛКТ-артрографию как точный инструмент в диагностике разрыва ладьевидно-полулунной связки [26].

КЛКТ – высокоинформативная методика, дающая достоверную информацию о наличии и характере травмы. По мнению ряда авторов, КЛКТ обладает высокой диагностической ценностью в определении заболеваний опорно-двигательного аппарата травматического генеза

[18–20, 23, 24, 26]. Вместе с тем учёные отмечают низкую дозу лучевой нагрузки, получаемой пациентом в ходе исследования [23, 24, 26]. Особую актуальность это приобретает в медицинских учреждениях и стационарах, специализирующихся на травматолого-ортопедическом направлении. Следует также задуматься о внедрении КЛКТ в амбулаторную практику районных травмпунктов.

Немаловажный аспект – активное применение КЛКТ в повседневной медицинской деятельности. Так, Т. Jacques и соавт. (2021) провели анализ практического клинического эффекта от внедрения КЛКТ в отделение неотложной радиологии, сравнив данную методику с МСКТ в диагностике травматических изменений конечностей. В своей работе авторы отмечают не только хорошую визуализацию и низкую лучевую нагрузку, но также меньшее время, затрачиваемое на обследование, и количество диагностических процедур. Сделав КЛКТ альтернативой МСКТ, специалисты не только добились снижения дозы лучевой нагрузки, но также увеличили пропускную способность кабинета [28].

Ирландские учёные В. Gibney и соавт. (2019) продемонстрировали опыт введения КЛКТ в повседневную врачебную практику. В своей работе они провели сравнительное исследование стандартной рентгенографии и КЛКТ в диагностическом процессе переломов костей в области лучезапястного сустава. В полученных резуль-

ТАБЛИЦА 1
ПОКАЗАТЕЛИ ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ ТОЧНОСТИ КЛКТ,
ПРЕДСТАВЛЕННЫЕ В НАУЧНЫХ РАБОТАХ

TABLE 1
INDICATORS OF DIAGNOSTIC ACCURACY OF CBCT
PRESENTED IN SCIENTIFIC WORKS

Характер травмы и анатомическая область		Чувствительность, %	Специфичность, %
Borel C. et al. (2017) [18]			
Перелом ладьевидной кости		100	97
Neubauer J. et al. (2018) [20]			
Перелом ладьевидной кости		93	96
Fitzpatrick E. et al. (2022) [19]			
Перелом ладьевидной кости		87,7	99,2
Перелом лучезапястного сустава		93,5	99,9
Перелом запястья		90,6	100
Перелом дистального отдела лучевой кости		90	100
Kunz A.S. et al. (2023) [23]			
Локтевой сустав	обычный перелом	94–100	94–97
	перелом с вовлечением суставной поверхности	90–97	97
	многооскольчатый перелом	96	95–98
Gibney B. et al. (2019) [27]			
Перелом лучезапястного сустава		98,3	100
Dornberger J.E. et al. (2021) [26]			
Разрыв ладьевидно-полулунной связки		100	95

татах КЛКТ показала себя более информативным инструментом, сумевшим визуализировать линии перелома, невидимые при рентгенографии, более чем в 50 % случаев. Кроме того, ими был проведён анализ диагностической ценности, в котором методика показала высокие результаты, и её точность достигала 99,1 % (табл. 1). При высокой распространённости травм лучезапястного сустава и низкой информативности рентгенограмм авторы выносят КЛКТ как новый диагностический стандарт, отмечая её высокую разрешающую способность и низкую лучевую нагрузку [27].

На сегодняшний день остеомиелит остаётся актуальной проблемой в общей и детской хирургии. В общей структуре заболеваний опорно-двигательного аппарата 6,5 % составляют воспалительные заболевания костей разной этиологии [29]. В исследовании Н.А. Шолоховой и соавт. (2023) были изучены вопросы применения КЛКТ в обследовании детей с воспалительными заболеваниями как специфичной, так и неспецифичной природы. Были представлены клинические случаи, которые демонстрировали не только первично-диагностический потенциал КЛКТ, но и её возможности в контрольно-динамическом наблюдении. Авторы отметили высокую диагностическую информативность методики и решающую роль КЛКТ в постановке окончательного диагноза, а также в планировании хирургического лечения. В публикации были представлены дозы лучевой нагрузки, полученной пациентами при исследовании. Так, при первичном и контрольно-динамическом КЛКТ-обследовании общая доза облучения составила 0,13 мЗв, что в 10 раз меньше одного исследования МСКТ [30].

Вторым важным преимуществом КЛКТ является низкая доза облучения на пациента. Американскими исследователями J.B. Ludlow и соавт. (2018) были использованы антропоморфные фантомы, имитирующие лучезапястный, голеностопный и коленный суставы. Полученная доза лучевой нагрузки составила 1,3–21,1 мкЗв у КЛКТ и 9,1–204 мкЗв у МСКТ. Исходя из этого был сделан вывод о том, что эффективная доза у КЛКТ на 90 % меньше, чем у МСКТ [31]. По другим данным, доза лучевой нагрузки у КЛКТ в 6–19 раз ниже, чем у МСКТ. К таким выводам пришла группа учёных J. Koivisto и соавт. (2021). В основу их работы вошло сравнение доз МСКТ и КЛКТ, полученных в ходе исследования антропоморфного фантома руки взрослого человека. В результате лучевая нагрузка у КЛКТ составила 2,0–6,7 мкЗв, а у МСКТ – 37,4 мкЗв [22].

Поражение опорно-двигательного аппарата может возникнуть у человека в любом состоянии и в любой возрастной группе. Учитывая наличие ряда заболеваний опорно-двигательного аппарата, обусловленных беременностью, совершенствование лучевого диагностического обследования приобретает особую актуальность. Очень важно получить максимально большой объём информации при максимально низкой лучевой нагрузке. Этим вопросом заинтересовались А. Katlара и соавт. (2022) и провели экспериментальное исследование, где рассчитали получаемую дозу облучения плода при исследовании локтевого и коленного суставов

на каждом триместре беременности. Для этого учёными были использованы антропоморфные фантомы, имитирующие тело матери, руки и ноги. Измерение дозы облучения плода проводилось на трёх уровнях, соответствующих каждому триместру беременности. Результаты варьировались: 3,4–6,0 мкГр для коленного сустава и 2,9–7,7 мкГр – для локтевого. Полученная доза зависела от глубины залегания плода и срока беременности. Кроме этого, учёные проводили дополнительные исследования: с использованием защитного экрана, который снижал дозу облучения на 43 % (коленный сустав) и 51 % (локтевой сустав); с отворачиванием тела от отверстия в гентри – в результате полученная доза уменьшилась на 62 %. В заключение авторы отметили, что диагностика верхних и нижних конечностей методикой КЛКТ не несёт радиационного вреда для плода [32].

Следует также отметить ещё одно преимущество КЛКТ – меньшее количество значимых артефактов от металлоконструкций. Это даёт значительные преимущества при контроле процесса остеорегенерации у пациентов после проведения металлоостеосинтеза (МОС) [5]. G.M. Osgood и соавт. задались этим вопросом и провели сравнительный анализ рентгенограмм и КЛКТ-изображений, оценивая: кортикальную кость, трабекулярную кость, контур большой металлической боковой пластины, границу резьбы с костью, мостовидное окостенение, линию перелома и образование костной мозоли. По результатам КЛКТ превзошла стандартную рентгенографию в визуализации процесса заживления костной ткани, предоставляя более детальную картину образования костной мозоли, перекрытие костной трабекулы и остаточную линию перелома. Кроме того, КЛКТ позволила чётко определить границы кость – винт, что способствует определению раннего ослабления МОС. Это приобретает особую актуальность в выявлении таких осложнений, как несращение и возникновение инфекции [33].

В своей работе группа немецких учёных Т. Patzer и соавт. (2022) провела анализ диагностической точности КЛКТ с использованием дополнительных итеративных алгоритмов снижения артефактов от металлоконструкций для послеоперационной оценки после костной пластики. В исследование вошли следующие критерии: положение суставного винта (специфичность – 98,21 %, чувствительность – 100 %, точность – 98,75 %); ослабление винта (специфичность – 98,53 %, чувствительность – 100 %, точность – 98,75 %); отказ имплантата (специфичность – 100 %, чувствительность – 100 %, точность – 100 %); фрагментарный вывих (специфичность – 100 %, чувствительность – 95,83 %, точность – 98,75 %); отсроченное заживление/несращение (специфичность – 98,11 %, чувствительность – 96,30 %, точность – 97,50 %). Получив высокие показатели, КЛКТ показала себя как надёжный диагностический аппарат для послеоперационной оценки и выявления осложнений после установки МОС [34].

В 2021 г. J. Dartus и соавт. провели ретроспективное исследование, в котором сравнили полученные изображения МСКТ и КЛКТ при тотальном эндопротезировании коленного сустава. Они поставили перед собой

цель выявить наиболее информативный диагностический инструмент, дающий наименьшее количество металлических артефактов. Анализ проводился для следующих анатомических зон: большеберцовое плато; блоковый компонент; задние мышечки; коленная чашечка. Оценка проводилась по шкале Лайкерта двумя независимыми друг от друга специалистами. В полученных результатах КЛКТ позволила получить информативные данные протеза коленного сустава за счёт оптимизации качества изображения и использования алгоритма уменьшения артефактов от металлоконструкций. По мнению авторов, КЛКТ предоставляет более детальную картину при незначительном наличии артефактов от металлоконструкций, в отличие от МСКТ. Это поможет специалистом своевременно диагностировать возникающие осложнения, такие как расшатывания имплантата [35].

Итальянской научной группой G. Carrafello и соавт. (2012) впервые было описано проведение чрескожной биопсии поражённой кости с использованием КЛКТ в режиме XperGuide. Было продемонстрировано применение XperGuide на 17 пациентах, где технический успех составлял 100 %. У 15 пациентов удалось получить адекватный образец для гистологического исследования для постановки окончательного диагноза; у остальных 2 пациентов полученного материала было недостаточно. Учёными был проведён анализ методики, просчитана её диагностическая ценность – чувствительность 90,91 %, специфичность 100 %, точность 94,12 % [36].

В свою очередь китайские врачи J.F. Liu и соавт. (2018) описали методику проведения чрескожной биопсии поражённой кости с использованием плоскопанельной КЛКТ и продемонстрировали её возможности. Проведя анализ диагностической ценности, авторы получили высокие показатели: чувствительность 95,5 %, специфичность 83,3 %, точность 93,7 %. Технический успех проведения чрескожной биопсии с использованием КЛКТ составил 100 %. Данное исследование отображает многообещающий потенциал навигационных систем КЛКТ в диагностическом процессе заболеваний костно-суставной системы [37].

Несмотря на все описанные выше достоинства, следует упомянуть и о недостатках КЛКТ. Среди них – высокая чувствительность к артефактам от движения. В попытках устранить эту проблему группой американских учёных A. Sinięga и соавт. (2019) был разработан протокол компенсации динамической нечёткости при исследовании нижних конечностей, основанный на алгоритме трёхмерной «автофокусировки». Из полученных результатов исследователями был сделан вывод, что данный протокол обладает высокой эффективностью в устранении двигательных артефактов, повышая диагностическое качество изображения [38].

В 2008 г. в научной работе G.H. Chen и соавт. был представлен метод реконструкции изображений – Prior Image Constrained Compressed Sensing (PICCS). Отличительной чертой PICCS было то, что вместо целевого изображения реконструируется разреженная версия изображения. Авторы продемонстрировали примене-

ние алгоритма на исключения динамических артефактов, вызванных сердцебиением, во время КТ-исследования [39]. Однако группой исследователей S. Hatamiķia и соавт. (2023) впервые был продемонстрирован и описан способ применения PICCS для подавления металлических артефактов при пункционной биопсии с использованием КЛКТ-аппарата с С-дугой. Авторами было отмечено, что данный протокол показал высокое качество получаемых изображений, а также за счёт методики КЛКТ процедура сопровождается низкой лучевой нагрузкой [40]. Исходя из вышеописанного, метод реконструкции PICCS может приобрести большую актуальность в диагностическом процессе заболеваний опорно-двигательного аппарата за счёт своей возможности подавления как динамической нечёткости, так и артефактов от металлоконструкций.

КЛКТ можно в полной мере считать высокоинформативной низкодозной методикой лучевой диагностики. Вместе с совершенствованием самого аппаратно-технического оборудования происходит активное развитие протоколов обработки и реконструкции изображений. Это позволяет нивелировать артефакты, что в свою очередь улучшает качество изображений. Создание и разработка новых режимов дают КЛКТ возможность открыть новые направления её применения в клинической медицине.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

КЛКТ – современная перспективная методика, обладающая рядом преимуществ в диагностике патологии опорно-двигательного аппарата. Благодаря его высокой разрешающей способности, в ходе КЛКТ-исследования можно обнаружить мельчайшие изменения костной архитектоники вплоть до микротрещин. По результатам проведённых исследований, КЛКТ обладает высокими показателями диагностической точности в выявлении заболеваний, в особенности повреждений костей и суставов на верхних и нижних конечностях. Вместе с тем КЛКТ обладает низкой лучевой нагрузкой на пациента, что особенно актуально в педиатрической практике. Кроме того, существует множество протоколов и методов реконструкции изображений, которые улучшают качество получаемых изображений и расширяют горизонт диагностических возможностей данной методики. Исходя из вышеперечисленного, КЛКТ может являться полноценной альтернативой МСКТ в диагностике патологии костно-суставной системы.

Финансирование исследования

Исследование не финансировалось какими-либо источниками.

Конфликт интересов

Авторы заявляют, что данная работа, её тема, предмет и содержание не затрагивают конкурирующих интересов. Мнения, изложенные в статье, принадлежат авторам рукописи.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Олейникова Т.А., Пожидаева Д.Н., Орешко А.Ю. Мониторинг заболеваемости патологиями костно-мышечной системы и соединительной ткани в Российской Федерации. Фармакоэкономика. *Современная фармакоэкономика и фармакоэпидемиология*. 2019; 12(1): 5-13. [Oleynikova TA, Pozhidaeva DN, Oreshko AYU. Prevalence survey of musculoskeletal and connective tissue disorders in the Russian Federation. *Farmakoekonomika. Modern Pharmacoconomics and Pharmacoepidemiology*. 2019; 12(1): 5-13. (In Russ.)]. doi: 10.17749/2070-4909.2019.12.1.5-13
2. Тихонова Г.И., Горчакова Т.Ю. Проблемы здоровья населения трудоспособного возраста и его информационного обеспечения. *Вестник Южно-Российского государственного технического университета (НПИ)*. 2022; 15(4): 228-245. [Tikhonova GI, Gorchakova TYU. Problems of health of the working age population and its information support. *Bulletin of the South-Russian State Technical University (NPI)*. 2022; 15(4): 228-245. (In Russ.)]. doi: 10.17213/2075-2067-2022-4-228-245
3. Минаев С.В., Филиппева Н.В., Лескин В.В., Загуменнова И.Ю., Ростова Н.П., Шамадаев Э.З. Применение лучевых методов в диагностике острого гематогенного остеомиелита у детей. *Доктор.Ру*. 2018; 5(149): 32-36. [Minaev SV, Filipieva NV, Leskin VV, Zagumennova IYu, Rostova NP, Shamadaev EZ. Radiological methods in diagnostics of acute haematogenous osteomyelitis in children. *Doctor.Ru*. 2018; 5(149): 32-36. (In Russ.)]. doi: 10.31550/1727-2378-2018-149-5-32-36
4. Шолохова Н.А. Визуализация поражений метафизов и эпифизов костей у новорожденных и детей раннего возраста. *Радиология – практика*. 2021; 5(89): 82-92. [Sholokhova NA. Visualization of lesions of metaphyses and epiphyses of bones in newborns and young children. *Radiology – Practice*. 2021; 5(89): 82-90. (In Russ.)]. doi: 10.52560/2713-0118-2021-5-82-90
5. Ricci PM, Boldini M, Bonfante E, Sambugaro E, Vecchini E, Schenal G, et al. Cone-beam computed tomography compared to X-ray in diagnosis of extremities bone fractures: A study of 198 cases. *Eur J Radiol Open*. 2019; 6: 119-121. doi: 10.1016/j.ejro.2019.01.009
6. Шолохова Н.А., Ганиева А.М., Лежнев Д.А. Современное состояние вопроса комплексной лучевой диагностики остеомиелита у детей и подростков. *Вестник СурГУ. Медицина*. 2019; 4(42): 8-13. [Sholokhova NA, Ganieva AM, Lezhnev DA. Current state of complex radiology issue of osteomyelitis in children and adolescents. *Vestnik SurGU. Meditsina*. 2019; 4(42): 8-13. (In Russ.)]. doi: 10.34822/2304-9448-2019-4-8-13
7. Васильев А.Ю., Блинов Н.Н. (мл.), Егорова Е.А. Конусно-лучевая компьютерная томография – новая технология исследования в травматологии. *Медицинская визуализация*. 2012; 4: 65-68. [Vasil'ev AYU, Blinov Jr. NN, Egorova EA. Cone beam computer tomography – new technology of research in traumatology. *Medical Visualization*. 2012; 4: 65-68. (In Russ.)].
8. Титов А.Д. Конус-лучевая компьютерная томография (КЛКТ). *Центральный научный вестник*. 2017; 10(27): 27-28. [Titov AD. Cone beam computed tomography (CBCT). *Central Science Bulletin*. 2017; 10(27): 27-28. (In Russ.)].
9. Mozzo P, Procacci C, Tacconi A, Martini PT, Andreis IA. A new volumetric CT machine for dental imaging based on the cone-beam technique: Preliminary results. *Eur Radiol*. 1998; 8(9): 1558-1564. doi: 10.1007/s003300050586
10. Кушнир К.В., Макарова Д.В., Лежнев Д.А. Значение конусно-лучевой компьютерной томографии в ревматологической практике. *Медицинский вестник МВД*. 2017; 1(86): 56-60. [Kushnir KV, Makarova DV, Lezhnev DA. Cone-beam computed tomography in rheumatology. *MIA Medical Bulletin*. 2017; 1(86): 56-60. (In Russ.)].
11. Mys K, Varga P, Stockmans F, Gueorguiev B, Neumann V, Vanovermeire O, et al. High-resolution cone-beam computed tomography is a fast and promising technique to quantify bone microstructure and mechanics of the distal radius. *Calcified Tissue Int*. 2021; 108(3): 314-323. doi: 10.1007/s00223-020-00773-5
12. Posadzy M, Desimpel J, Vanhoenacker F. Cone beam CT of the musculoskeletal system: Clinical applications. *Insights Imaging*. 2018; 9(1): 35-45. doi: 10.1007/s13244-017-0582-1
13. Lezhnev DA, Vislobokova EV, Kiselnikova LP, Sholokhova NA, Smyslenova MV, Truten VP. Analysis of mineral density of calcified tissues in children with X-linked hypophosphatemic rickets and hypophosphatasia using cone beam computed tomography data. *Int J Biomed*. 2021; 11(1): 53-57. doi: 10.21103/Article11(1)_OA11
14. Aurell Y, Andersson M, Forslind K. Cone-beam computed tomography, a new low-dose three-dimensional imaging technique for assessment of bone erosions in rheumatoid arthritis: Reliability assessment and comparison with conventional radiography – A BARFOT study. *Scand J Rheumatol*. 2018; 47(3): 173-177. doi: 10.1080/03009742.2017.1381988
15. Deland JT. Adult-acquired flatfoot deformity. *J Am Acad Orthop Surg*. 2008; 16(7): 399-406. doi: 10.5435/00124635-200807000-00005
16. Henry JK, Shakked R, Ellis SJ. Adult-acquired flatfoot deformity. *Foot Ankle Orthop*. 2019; 4(1): 2473011418820847. doi: 10.1177/2473011418820847
17. de Cesar Netto C, Schon LC, Thawait GK, da Fonseca LF, Chinanuvathana A, Zbijewski WB, et al. Flexible adult acquired flatfoot deformity: comparison between weight-bearing and non-weight-bearing measurements using cone-beam computed tomography. *J Bone Joint Surg Am*. 2017; 99(18): e98. doi: 10.2106/JBJS.16.01366
18. Borel C, Larbi A, Delclaux S, Lapegue F, Chiavassa-Gandois H, Sans N, et al. Diagnostic value of cone beam computed tomography (CBCT) in occult scaphoid and wrist fractures. *Eur J Radiol*. 2017; 97: 59-64. doi: 10.1016/j.ejrad.2017.10.010
19. Fitzpatrick E, Sharma V, Rojoa D, Raheman F, Singh H. The use of cone-beam computed tomography (CBCT) in radiocarpal fractures: A diagnostic test accuracy meta-analysis. *Skeletal Radiol*. 2022; 51(5): 923-934. doi: 10.1007/s00256-021-03883-9
20. Neubauer J, Benndarf M, Ehrhrt-Braun C, Reising K, Yilmaz T, Christopher K, et al. Comparison of the diagnostic accuracy of cone beam computed tomography and radiography for scaphoid fractures. *Sci Rep*. 2018; 8(1): 3906. doi: 10.1038/s41598-018-22331-8
21. Acar K, Aksay E, Oray D, Imamoğlu T, Gunay E. Utility of computed tomography in elbow trauma patients with normal X-ray study and positive elbow extension test. *J Emerg Med*. 2016; 50(3): 444-448. doi: 10.1016/j.jemermed.2015.03.009
22. Koivisto J, van Eijnatten M, Ludlow J, Kiljunen T, Shi XQ, Wolff J. Comparative dosimetry of radiography device, MSCT device and two CBCT devices in the elbow region. *J Appl Clin Med Phys*. 2021; 22(5): 128-138. doi: 10.1002/acm.2.13245

23. Kunz AS, Schmalzl J, Huflage H, Luetkens KS, Patzer TS, Kuhl PJ, et al. Twin robotic gantry-free cone-beam CT in acute elbow trauma. *Radiology*. 2023; 306(3): e221200. doi: 10.1148/radiol.221200
24. Farracho LC, Moutinot B, Neroladaki A, Hamard M, Gorican K, Poletti PA, et al. Determining diagnosis of scaphoid healing: Comparison of cone beam CT and X-ray after six weeks of immobilization. *Eur J Radiol Open*. 2020; 7: 100251. doi: 10.1016/j.ejro.2020.100251
25. Pliefke J, Stengel D, Rademacher G, Mutze S, Ekernkamp A, Eisenschenk A. Diagnostic accuracy of plain radiographs and cineradiography in diagnosing traumatic scapholunate dissociation. *Skeletal Radiol*. 2008; 37(2): 139-145. doi: 10.1007/s00256-007-0410-7
26. Dornberger JE, Rademacher G, Stengel D, Hönning A, Dipl-Phys GS, Eisenschenk A, et al. What is the diagnostic accuracy of flat-panel cone-beam CT arthrography for diagnosis of scapholunate ligament tears? *Clin Orthop Relat Res*. 2021; 479(1): 151-160. doi: 10.1097/CORR.0000000000001425
27. Gibney B, Smith M, Moughty A, Kavanagh EC, Hynes D, MacMahon PJ. Incorporating cone-beam CT into the diagnostic algorithm for suspected radiocarpal fractures: A new standard of care? *AJR Am J Roentgenol*. 2019; 213(5): 1117-1123. doi: 10.2214/AJR.19.21478
28. Jacques T, Morel V, Dartus J, Badr S, Demondion X, Cotton A. Impact of introducing extremity cone-beam CT in an emergency radiology department: A population-based study. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2021; 107(2): 102834. doi: 10.1016/j.otsr.2021.102834
29. Трушин П.В., Разин М.П. Хронический остеомиелит трубчатых костей: современный взгляд на проблему. *Вятский медицинский вестник*. 2023; 1(77): 114-119. [Trushin PV, Razin MP. Chronic osteomyelitis of tubular bones: modern view on the problem. *Medical Newsletter of Vyatka*. 2023; 1(77): 114-119. (In Russ.)]. doi: 10.24412/2220-7880-2023-1-114-119
30. Шолохова Н.А., Жарков Д.К. Конусно-лучевая компьютерная томография в диагностике остеомиелита конечностей у детей и подростков (обзор литературы с клиническими наблюдениями). *Радиология – практика*. 2023; 2(98): 11-23. [Sholokhova NA, Zharkov DK. Cone beam computed tomography in the diagnosis of limb osteomyelitis in children and adolescents (literature review with clinical observations). *Radiology – Practice*. 2023; (2): 11-23. (In Russ.)]. doi: 10.52560/2713-0118-2023-2-11-23
31. Ludlow JB, Johnson BK, Ivanovic M. Estimation of effective doses from MDCT and CBCT imaging of extremities. *J Radiol Prot*. 2018; 38(4): 1371-1383. doi: 10.1088/1361-6498/aae44b
32. Katlapa A, Kaartinen SM, Henrik Koivisto J, Matikka H. Radiation exposure to fetus from extremity CBCT examinations. *Eur J Radiol*. 2022; 156: 110548. doi: 10.1016/j.ejrad.2022.110548
33. Osgood GM, Thawait GK, Hafezi-Nejad N, Shakoor D, Shaner A, Yorkston J, et al. Image quality of cone beam computed tomography for evaluation of extremity fractures in the presence of metal hardware: Visual grading characteristics analysis. *Br J Radiol*. 2017; 90(1073): 20160539. doi: 10.1259/bjr.20160539
34. Patzer TS, Grunz JP, Huflage H, Conrads N, Veldhoen S, Schmalzl J, et al. Combining gantry-free cone-beam computed tomography with iterative metal artefact reduction for surgical follow-up imaging of the appendicular skeleton. *Eur J Radiol*. 2022; 155: 110465. doi: 10.1016/j.ejrad.2022.110465
35. Dartus J, Jacques T, Martinot P, Pasquier G, Cotten A, Migaud H, et al. The advantages of cone-beam computerised tomography (CT) in pain management following total knee arthroplasty, in comparison with conventional multi-detector CT. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2021; 107(3): 102874. doi: 10.1016/j.otsr.2021.102874
36. Carrafiello G, Fontana F, Mangini M, Ierardi AM, Cotta E, Floridi C, et al. Initial experience with percutaneous biopsies of bone lesions using XperGuide cone-beam CT (CBCT): Technical note. *Radiol Med*. 2012; 117(8): 1386-1397. doi: 10.1007/s11547-012-0788-1
37. Liu JF, Jiao DC, Ren JZ, Zhang WG, Han XW. Percutaneous bone biopsy using a flat-panel cone beam computed tomography virtual navigation system. *Saudi Med J*. 2018; 39(5): 519-523. doi: 10.15537/smj.2018.5.21872
38. Sisniega A, Thawait GK, Shakoor D, Siewerdsen JH, Demehri S, Zbijewski W. Motion compensation in extremity cone-beam computed tomography. *Skeletal Radiol*. 2019; 48(12): 1999-2007. doi: 10.1007/s00256-019-03241-w
39. Chen GH, Tang J, Leng S. Prior image constrained compressed sensing (PICCS): A method to accurately reconstruct dynamic CT images from highly undersampled projection data sets. *Med Phys*. 2008; 35(2): 660-663. doi: 10.1118/1.2836423
40. Hatamikia S, Biguri A, Kronreif G, Russ T, Kettenbach J, Birkfellner W. Source-detector trajectory optimization for CBCT metal artifact reduction based on PICCS reconstruction. *Z Med Phys*. 2023; S0939-3889(23)00009-0. doi: 10.1016/j.zemedi.2023.02.001

Сведения об авторах

Шолохова Наталья Александровна – кандидат медицинских наук, доцент, доцент кафедры лучевой диагностики, ФГБОУ ВО «Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова» Минздрава России; заведующая отделением лучевой диагностики, ГБУЗ «Детская городская клиническая больница святого Владимира Департамента здравоохранения города Москвы», e-mail: sholohova@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0412-4938>

Жарков Даниил Константинович – аспирант кафедры лучевой диагностики, ФГБОУ ВО «Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова» Минздрава России; врач отделения лучевой диагностики, ГБУЗ «Детская городская клиническая больница святого Владимира Департамента здравоохранения города Москвы», e-mail: gaspardan@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6675-775X>

Лезнев Дмитрий Анатольевич – доктор медицинских наук, профессор, Заслуженный врач РФ, заведующий кафедрой лучевой диагностики, ФГБОУ ВО «Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова» Минздрава России; профессор кафедры терапевтической стоматологии, ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного медицинского образования» Минздрава России, e-mail: lezhnev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7163-2553>

Васильев Александр Юрьевич – доктор медицинских наук, профессор, член-корреспондент РАН, Заслуженный деятель науки РФ, профессор кафедры лучевой диагностики, ФГБОУ ВО «Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова» Минздрава России; генеральный директор, ООО «Центральный научно-исследовательский институт лучевой диагностики», e-mail: auv62@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0635-4438>

Петровская Виктория Васильевна – доктор медицинских наук, профессор кафедры лучевой диагностики, ФГБОУ ВО «Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова» Минздрава России, e-mail: vvpetrovskaya@ya.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8298-9913>

Лазаренко Екатерина Юрьевна – аспирант кафедры лучевой диагностики, ФГБОУ ВО «Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова» Минздрава России; врач отделения лучевой диагностики, ГБУЗ «Детская городская клиническая больница святого Владимира Департамента здравоохранения города Москвы», e-mail: lazarenko.katherina@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3937-5796>

Блинов Николай Николаевич – доктор технических наук, профессор кафедры лучевой диагностики, ФГБОУ ВО «Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова» Минздрава России, e-mail: nblinov@amico.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0385-3864>

Сергеева Анна Дмитриевна – ординатор кафедры лучевой диагностики, ФГБОУ ВО «Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова» Минздрава России, e-mail: anna.ostashienko@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1026-5216>

Information about the authors

Nataliya A. Sholokhova – Cand. Sc. (Med.), Docent, Associate Professor at the Department of Radiology, A.I. Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry; Head of the Department of Radiodiagnosics, Children's State Hospital of St. Vladimir, Moscow Healthcare Department, e-mail: sholohova@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0412-4938>

Daniil K. Zharkov – Postgraduate at the Department of Radiology, A.I. Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry; physician at the Department of Radiodiagnosics, Children's State Hospital of St. Vladimir, Moscow Healthcare Department, e-mail: gaspandan@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6675-775X>

Dmitry A. Lezhnev – Dr. Sc. (Med.), Professor, Honored Physician of the Russian Federation, Head of the Department of Radiology, A.I. Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry; Professor at the Department of Therapeutic Dentistry, Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, e-mail: lezhnev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7163-2553>

Aleksandr Yu. Vasilyev – Dr. Sc. (Med.), Professor, Corresponding Member of RAS, Professor at the Department of Radiology, A.I. Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry; Head, Central Research Institute of Radiation Diagnostics, e-mail: auv62@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0635-4438>

Viktoriya V. Petrovskaya – Dr. Sc. (Med.), Professor at the Department of Radiology, A.I. Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, e-mail: vvpetrovskaya@ya.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8298-9913>

Ekaterina Yu. Lazarenko – Postgraduate at the Department of Radiology, A.I. Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry; physician at the Department of Radiodiagnosics, Children's State Hospital of St. Vladimir, Moscow Healthcare Department, e-mail: lazarenko.katherina@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3937-5796>

Nikolay N. Blinov – Dr. Sc. (Tech.), Professor at the Department of Radiology, A.I. Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, e-mail: nblinov@amico.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0385-3864>

Anna D. Sergeeva – Clinical Resident at the Department of Radiology, A.I. Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, e-mail: anna.ostashienko@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1026-5216>

Вклад авторов:

Шолохова Н.А. – создание концепции научного направления и дизайна исследования; одобрение окончательной версии статьи перед её подачей для публикации.

Жарков Д.К. – существенный вклад в исследование: анализ литературы, написание текста; участие в сборе материала; редактирование статьи перед её подачей для публикации.

Лежнев Д.А. – формулировка цели исследования, разработка концепции и дизайна статьи, редактирование текста, утверждение окончательного варианта публикации – принятие ответственности за все аспекты работы, целостность всех частей статьи и её окончательный вариант.

Васильев А.Ю. – формулировка цели исследования, разработка концепции и дизайна статьи, редактирование текста, одобрение окончательной версии статьи перед её подачей для публикации.

Петровская В.В. – редактирование текста, одобрение окончательной версии статьи перед её подачей для публикации.

Лазаренко Е.Ю. – редактирование статьи перед её подачей для публикации.

Блинов Н.Н. – редактирование текста, одобрение окончательной версии статьи перед её подачей для публикации.

Сергеева А.Д. – редактирование статьи перед её подачей для публикации.

Статья опубликована в рамках Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 25-летию Иркутского научного центра хирургии и травматологии.