

УДК 616.721-002.77-085.814.1

<http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2022-13-2-25-35>

ЦИФРОВОЙ ТОМОСИНТЕЗ И ДРУГИЕ МЕТОДЫ ВИЗУАЛИЗАЦИИ В РАННЕЙ ДИАГНОСТИКЕ АКСИАЛЬНЫХ СПОНДИЛОАРТРИТОВ: ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

А. С. Гайдук^{*}, И. С. Железняк[®], В. В. Тыренко[®], Д. Ю. Анохин[®], В. Н. Малаховский[®], А. А. Емельянцеv[®],
М. М. Топорков[®], Д. С. Аганов[®], К. Ю. Волков[®]

Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия

ВВЕДЕНИЕ: Среди ревматических заболеваний одно из лидирующих мест занимают спондилоартриты (SpA), которые представляют собой группу хронических воспалительных заболеваний позвоночника, суставов и энтезисов. Все спондилоартриты проявляются воспалительным поражением крестцово-подвздошных сочленений (КПС) — сакроилиитом и пролиферацией костной ткани в области суставов и энтезисов. Своевременная и качественная визуализация признаков сакроилиита методами лучевой диагностики у пациентов с анкилозирующим и аксиальным спондилоартритами является одним из главных критериев для верификации диагноза на ранней стадии.

ЦЕЛЬ: обзор и анализ имеющейся иностранной и отечественной литературы для определения роли и места цифрового томосинтеза в системе методов и методик лучевой диагностики аксиальных спондилоартритов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ: Проведен поиск научных публикаций и клинических рекомендаций в информационно-аналитических системах PubMed, eLibrary за 2015–2021 гг., посвященных лучевой диагностике аксиальных спондилоартритов, в том числе цифровому томосинтезу.

РЕЗУЛЬТАТЫ: Представленный обзор продемонстрировал широкие возможности и перспективы применения цифрового томосинтеза при диагностике и оценке прогрессирования аксиальных спондилоартритов, в том числе результаты применения томосинтеза у пациентов со структурными изменениями крестцово-подвздошных сочленений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ: Возможности методики в данном направлении до конца не изучены, а алгоритм ее применения и критерии для отбора пациентов на исследование в настоящее время не разработаны.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: крестцово-подвздошные суставы, томосинтез, сакроилиит, анкилозирующий спондилит

^{*}Для корреспонденции: Гайдук Александра Сергеевна, alikssg@mail.ru.

Для цитирования: Гайдук А.С., Железняк И.С., Тыренко В.В., Анохин Д.Ю., Малаховский В.Н., Емельянцеv А.А., Топорков М.М., Аганов Д.С., Волков К.Ю. Цифровой томосинтез и другие методы визуализации в ранней диагностике аксиальных спондилоартритов: обзор литературы // *Лучевая диагностика и терапия*. 2022. Т. 13, № 2. с. 25–35. DOI: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2022-13-2-25-35>.

DIGITAL TOMOSYNTHESIS AND OTHER VISUALIZATION METHODS IN THE EARLY DETECTION OF AXIAL SPONDYLOARTHRITIS: A REVIEW

Aleksandra S. Gaiduk^{*}, Igor S. Zheleznyak[®], Vadim V. Tyrenko[®], Vladimir N. Malakhovskiy[®],
Dmitry Yu. Anokhin[®], Aleksander A. Emelyantsev[®], Mikhail M. Toporkov[®], Dmitry S. Aganov[®],
Konstantin Yu. Volkov[®]

Kirov Military Medical Academy, St. Petersburg, Russia

INTRODUCTION: Spondyloarthritis (SpA) take one of the leading positions among rheumatic diseases, constituting chronic inflammatory diseases of spinal cord, joints and entheses. All spondyloarthritis develop as inflammatory lesion of sacroiliac joints (SIJ) — sacroiliitis and proliferation of bone tissues in the joint area and entheses. Timely and quality visualization of sacroiliitis signs in patients with ankylosing and axial spondyloarthritis by means of radiation diagnostics is one of the main criteria for diagnosis verification at an earlier stage.

OBJECTIVE: Review and analysis of the existing foreign and domestic literature for defining the role and place of digital tomosynthesis in methods and techniques of radiation diagnostics regarding axial spondyloarthritis.

MATERIALS AND METHODS: A search of scientific publications and clinic guidelines in information and analytical systems PubMed (elibrary for 2015–2021) was carried out dedicated to radiation diagnostics of axial spondyloarthritis, including digital tomosynthesis.

RESULTS: The review demonstrated wide opportunities and prospects of applying digital tomosynthesis in diagnosis and evaluation of axial spondyloarthritis progression, including the results of applying tomosynthesis with patients, having structural change in sacroiliac joints (SIJ).

CONCLUSION: The method opportunity in this direction hasn't been fully studied and the algorithm of its applying and criteria of patient selection for the research have not been developed.

KEYWORDS: sacroiliac joints (SIJ), tomosynthesis, sacroiliitis, axial spondyloarthritis

*For correspondence: *Alexandra S. Gaiduk, alikssg@mail.ru.*

For citation: Gaiduk A.S., Zheleznyak I.S., Tyrenko V.V., Malakhovsky V.N., Anokhin D.Yu., Emelyantsev A.A., Toporkov M.M., Aganov D.S., Volkov K.Yu. Digital tomosynthesis and other visualization methods in the early detection of axial spondyloarthritis: a review // *Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2022. Vol. 13, No. 2. P. 25–35. DOI: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2022-13-2-25-35>.

Введение. Среди ревматических заболеваний одно из лидирующих мест занимают спондилоартриты (СпА), которые представляют собой группу хронических воспалительных заболеваний позвоночника, суставов и энтезисов [1, с. 35]. Они характеризуются общими клиническими, морфологическими, лучевыми, а также генетическими особенностями [2, с. 86].

К спондилоартритам относят семь нозологических форм: анкилозирующий спондилит (АС), он же болезнь Бехтерева, наиболее распространенное заболевание; нерентгенологический аксиальный спондилоартрит (нрАксСпа); псориатический артрит; реактивный артрит; артриты, ассоциированные с воспалительными заболеваниями кишечника; недифференцированные спондилоартриты и HLA-B27-ассоциированный увеит [3, с. 127].

Все спондилоартриты проявляются воспалительным поражением крестцово-подвздошных сочленений (КПС) — сакроилиитом и пролиферацией костной ткани в области суставов и энтезисов. Стоит отметить, что поражение КПС чаще наблюдается при анкилозирующем и нерентгенологическом аксиальном спондилоартритах, в отличие от остальных нозологических форм данной группы [4, с. 727]. Один из характерных признаков сакроилиита — боли в спине, которые не всегда являются признаком анкилозирующего спондилоартрита, в отличие от сакроилиита, который чаще всего сопровождается именно данным заболеванием [5, с. 51].

Анкилозирующий спондилит — это хроническое воспалительное заболевание, которое характеризуется обязательным поражением крестцово-подвздошных сочленений КПС и/или позвоночника с потенциальным исходом в анкилоз, с частым вовлечением в патологический процесс энтезисов и периферических суставов [2, с. 86; 6, с. 59]. Нерентгенологический аксиальный спондилоартрит характеризуется отсутствием рентгенологических признаков достоверного сакроилиита [3, с. 131].

Стоит отметить, что псориатический артрит, реактивный артрит, артриты, ассоциированные с воспа-

лительными заболеваниями кишечника, HLA-B27-ассоциированный увеит и недифференцированные спондилоартриты могут в конечном итоге прогрессировать до АС [5, с. 701].

Описанные заболевания имеют социальную значимость, так как их дебют, как правило, приходится на молодой возраст, и характеризуются прогрессирующим поражением опорно-двигательного аппарата, органов зрения, сердечно-сосудистой, мочевыделительной, дыхательной систем, что приводит к ранней инвалидизации.

По этой причине на данный момент основная цель лечения пациентов с этими заболеваниями — достижение ремиссии, которое базируется на:

- 1) ранней диагностике заболевания;
- 2) проведении в максимальном объеме современной эффективной терапии, которая включает в себя базисную противовоспалительную терапию — селективные нестероидные противовоспалительные препараты; генно-инженерную биологическую терапию или таргетные синтетические базисные противовоспалительные препараты [6, с. 58].

У пациентов с АС предотвращение развития и прогрессирования структурных изменений опорно-двигательного аппарата и контроль воспаления являются основными задачами терапии на пути достижения ремиссии [3, с. 139].

Вместе с тем одна из проблем лечения пациентов с АС и неСпА — поздняя диагностика заболевания, диапазон постановки окончательного диагноза по данным различных источников колеблется от 5 до 10 лет [6, с. 58]. Это приводит к несвоевременному назначению эффективной терапии и, как следствие, быстрому прогрессированию структурных изменений опорно-двигательного аппарата, снижению функциональной активности и социальной адаптации пациентов [7, с. 47]. Ограничение подвижности скелета, поражение суставов приводят к стойкой утрате трудоспособности и снижению качества жизни зачастую именно в молодом возрасте. По данным литературы 37,2% пациентов со спондилоарт-

ритами нуждаются в реабилитации; 2,7% — в паллиативной медицинской помощи [8, с. 221].

В России в 2010 г. было проведено исследование, связанное с изучением причин поздней постановки диагноза АС [7, с. 43]. Опрошено 80 пациентов со средней продолжительностью заболевания $8,5 \pm 6,1$ года с минимальной длительностью 6 месяцев и максимальной 26 лет. По результатам данного исследования диагноз АС в среднем был установлен через $8,1 \pm 6,0$ года после появления первых симптомов. Авторы разделили причины поздней диагностики на две группы. К первой относят характер течения заболевания (начала болезни, времени появления симптомов боли в спине, количества обострений и интенсивности боли). Ко второй группе относят диагностические ошибки, отмечая тот факт, что в 96,3% случаев интерпретация полученных результатов лучевых исследований вызывала серьезные сложности, что подтверждают данные других исследований, проведенных ранее [9, с. 1008; 10, с. 1365]. Трудности интерпретации рентгенограмм КПС на ранних стадиях сакроилиита связаны с затруднением визуализации мельчайших изменений в крестцово-подвздошных сочленениях, а также с их анатомическими особенностями строения [5, с. 57].

Цель: обзор и анализ имеющейся иностранной и отечественной литературы для определения роли и места цифрового томосинтеза в системе методов и методик лучевой диагностики аксиальных спондилоартритов.

Материалы и методы. Проведен поиск научных публикаций и клинических рекомендаций в информационно-аналитических системах PubMed: sacroiliac joints, tomosynthesis, sacroiliitis, ankylosing spondylitis, axial spondyloarthritis; elibrary: крестцово-подвздошные суставы, томосинтез, сакроилиит, анкилозирующий спондилит, аксиальный спондилоартрит за 2015–2021 гг., посвященных проблематике лучевой диагностике аксиальных спондилоартритов, в том числе цифрового томосинтеза

Результаты и их обсуждение. Ряд авторов утверждают, что достоверные рентгенологические изменения костной структуры КПС, необходимые для постановки диагноза, чаще всего выявляются в среднем спустя 8 лет после появления первых клинических проявлений заболевания [7, с. 47; 11, с. 743]. Зачастую на ранней стадии заболевания рентгенограммы остаются нормальными. Только при прогрессировании заболевания отмечаются рентгенологические изменения, проявляющиеся в виде выраженного склероза и эрозий, которые в дальнейшем приведут к анкилозу [5, с. 52]. Лишь у незначительного числа пациентов сакроилиит удается выявить рентгенологически на ранней стадии заболевания, в то же время сакроилиит первой стадии не позволяет установить диагноз анкилозирующей стадии.

В 1988 г. было проведено исследование, целью которого стала оценка сроков появления сакроилиита

после первых клинических признаков заболевания по данным рентгенографии. В исследовании участвовали 88 пациентов с нормальными рентгенограммами, но с клиническими признаками заболевания, а также одним или несколькими дополнительными признаками (увент, периферический артрит, повышение острофазовых показателей). По результатам исследования у 36% пациентов признаки сакроилиита по данным рентгенографии визуализировались спустя 5 лет заболевания; у 59% пациентов сакроилиит визуализировался спустя 10 лет заболевания [12, с. 1109].

Похожие результаты отмечались в 2000 г. в другом исследовании, где у 40% пациентов сакроилиит визуализировался при длительности симптомов менее 10 лет; у 70% пациентов при длительности симптомов 10–19 лет и у 86% пациентов сакроилиит при длительности симптомов в течение 20 лет и более [10, с. 1361].

Таким образом, повышение качества визуализации деструктивных изменений костной структуры на ранних стадиях заболевания позволит снизить количество ложноотрицательных результатов, что положительно скажется на прогнозе заболевания и возможности ранней инициации терапии.

На данный момент диагноз анкилозирующего спондилоартрита устанавливается согласно модифицированным Нью-Йоркским критериям (1984 г.) при обязательном наличии рентгенологического критерия и хотя бы одного клинического признака [6, с. 54; 12, с. 366]. В 1982 г. J. H. Kellgren и M. R. Jeffrey предложены структурные изменения КПС (таблица).

На данный момент интерпретация рентгенологических снимков затруднена за счет отсутствия конкретных критериев для постановки врачом-рентгенологом первой стадии. В связи с этим, пациентам с ранней стадией аксиальных спондилоартритов зачастую устанавливается I стадия, что не позволяет достоверно ставить диагноз и назначать лечение.

Изменения, которые визуализируются на рентгенограммах, отражают последствия воспаления, но не само воспаление, которое может быть обнаружено с помощью магнитно-резонансной томографии (МРТ). По этой причине в 2004 г. Международное общество по оценке спондилоартритов (ASAS) приняло решение улучшить существующие критерии спондилоартритов, которые применяются для постановки диагноза нерентгенологического аксиального спондилоартрита. В 2009 г. МРТ стала обязательным методом, применяемым для постановки диагноза, а критерии диагностики сакроилиита были дополнены наличием активных воспалительных очагов по данным МРТ.

Таким образом, своевременная и качественная визуализация признаков сакроилиита методами лучевой диагностики у пациентов с анкилозирующим и аксиальным спондилоартритами является одним из главных критериев для верификации диагноза

Рентгенологические стадии сакроилиита (Kellgren J.H., Jeffrey M.R., 1982)

Таблица

Table

Radiological stages of sacroiliitis (Kellgren J.H., Jeffrey M.R., 1982)

Стадия	Характеристика
Стадия 0	Отсутствие изменений
Стадия 1	Подозрение на наличие изменений (отсутствие конкретных изменений)
Стадия 2	Минимальные изменения (небольшие локальные области с эрозиями или склерозом при отсутствии изменений ширины щели)
Стадия 3	Безусловные изменения (умеренный или значительный сакроилиит с эрозиями, склерозом, расширение, сужение или частичный анкилоз)
Стадия 4	Далеко зашедшие изменения (полный анкилоз)

на ранней стадии. Впоследствии это необходимо, для назначения своевременной эффективной терапии данным пациентам [7, с. 43].

Традиционная рентгенография. Согласно клиническим рекомендациям по диагностике и лечению АС традиционная рентгенография является «золотым стандартом» в оценке изменений костной структуры КПС (рис. 1) [6, с. 71].

Как и говорилось ранее, интерпретация рентгенограмм КПС может быть трудной и неоднозначной, особенно на ранних стадиях заболевания [7, с. 47; 14, с. 340; 11, с. 741]. Типичная динамика рентгенологических изменений костной структуры вначале включает слабо выраженный локальный субхондральный склероз суставных поверхностей, чаще всего со стороны подвздошной кости. При прогрессировании заболевания субхондральный склероз становится выраженным и распространенным, с появлением на его фоне эрозивированных участков суставных поверхно-

стей и расширением суставной щели. Репарация эрозивированной суставной поверхности у данных пациентов носит избыточный характер, что ведет к повышению активности остеобластов и остеокластов, что в конечном итоге приводит к сужению суставной щели с образованием костных мостиков и последующему анкилозу сустава. Зачастую даже опытные рентгенологи и ревматологи, имеющие опыт оценки рентгенограмм КПС, расходятся во мнениях о наличии или отсутствии структурных изменений кости [14, с. 340].

Согласно клиническим рекомендациям обследование пациентов с АС должно начинаться с обзорного снимка таза в прямой задней проекции [6, с. 71]. При получении данных снимков суставные поверхности КПС располагаются косо по отношению к срединной сагитальной плоскости туловища и направлению центрального рентгеновского луча. В связи с этим рентгеновские суставные щели имеют вид нелинейных, ромбовидных или овальных



Рис. 1. Обзорный снимок таза, прямая задняя проекция. Рентгеновские суставные щели имеют вид нелинейных, ромбовидных просветлений. Наложение пневматизированной толстой кишки на верхние отделы рентгеновской суставной щели обоих крестцово-подвздошных сочленений (стрелки).

Fig. 1. Overall radiogram of pelvis, straight back-projection. X-ray joint space has the type of nonlinear, diamond patches (zones). Overlaying a colon on the upper part of X-ray joint space of both sacroiliac joints.

просветлений [15, с. 111]. Наложение (суммация) близлежащих органов на рентгеновскую суставную щель также является недостатком данной методики исследования. Ряд авторов указывают, что рентгенограммы таза в прямой проекции не являются достаточно информативными в связи с анатомической особенностью крестцово-подвздошных суставов [15, с. 111; 16, с. 285]. В связи с описанной выше анатомической особенностью суставов используется специальная укладка (в косой задней проекции лежа) для получения оптимального изображения каждого КПС (рис. 2).

воспалительного характера (утренняя скованность, проходящая при движении); признаки сакроилиита (положительным симптом Кушелевского); наличие энтезитов; повышение острофазовых показателей и положительный HLAB27 с целью дифференциальной диагностики с невоспалительными заболеваниями на ранней стадии заболевания по клиническим рекомендациям, рекомендовано проведение МРТ [6, с. 72].

Для получения информативного изображения рекомендовано проводить сканирование на томографе с индукцией магнитного поля не ниже 1,0–1,5 Тл (матрица 512×512) в полукоронарной плоскости, которая



Рис. 2. Традиционная рентгенография в косых проекциях КПС: *а* — рентгеновская суставная щель в виде линейного участка просветления с четкими, ровными контурами суставных поверхностей, с отсутствием наложения ушковидной поверхности крестца и подвздошной кости; *б* — отмечается наложение пневматизированной толстой кишки на рентгеновскую суставную щель.

Fig. 2. Traditional radiography in the oblique view of SIJ: *a* — X-ray joint space in the linear light patch with clear flat contours of articular surfaces without layering of stickear-shaped surface of sacrum and ilium; *b* — there is a layering of pneumatized colon on X-ray joint space.

Для оценки всех изменений необходимо исследовать оба сустава [15, с. 111; 16, с. 285]. Данная укладка позволяет визуализировать рентгеновскую суставную щель в виде линейного участка просветления с четкими, ровными контурами, что получается за счет отсутствия наложения ушковидной поверхности крестца и подвздошной кости [16, с. 285]. Основным недостатком косой проекции является формирование тканевой картины как суммы изображений, в которой накладываются друг на друга все слои исследуемого объекта (суммация), что не дает возможность детально оценить рентгеновскую суставную щель на всем ее протяжении. Как следствие ухудшается качество оценки структурных изменений кости и особенно суставной поверхности. Также недостатком данной методики является невозможность оценки рентгеновской суставной щели в тех участках, где отмечается наложение (суммация) близлежащих органов, например, пневматизированной толстой кишки (рис. 2) [17, с. 1706].

Магнитно-резонансная томография. При наличии клинических признаков заболевания: боли

является основной при исследовании КПС (параллельно линии, соединяющей верхнезадние поверхности SI-III). Полуаксиальную плоскость (перпендикулярная полукоронарной) принято считать дополнительной. Данная плоскость используется, когда необходимо уточнить или дополнить данные, которые были получены при косых срезах, например, выполнить оценку пресакральных сосудов, так как они могут ошибочно давать картину воспаления соседних областей [18, с. 13]. Для оценки воспалительных изменений используются режимы STIR и T1 с подавлением жира. В режиме STIR хорошо выявляется отек костного мозга (ОКМ). Структурные изменения костной ткани, такие как эрозии, остеосклероз, анкилоз, предпочтительнее оценивать в режиме T1 [18, с. 13].

Гиперинтенсивный сигнал в режиме STIR (T2-FS) и гипоинтенсивный сигнал в режиме T1 — вдоль подвздошной кости и крестца, является признаком сакроилиита (рис. 3) [18, с. 13]. В то же время наличие только синовита, капсулита или энтезита можно рассматривать только как вероятность сакроилиита. Интенсивность самого сигнала зависит от активности



Рис. 3. Магнитно-резонансная томография КПС: *a* — режим STIR, полукоронарная проекция. В субхондральных отделах подвздошной кости с обеих сторон, ОКМ (стрелка); *b* — режим T2W_SPAIR, полуаксиальная проекция. В субхондральных отделах правой подвздошной кости, отек костного мозга (стрелка).

Fig. 3. Magnetic resonance tomography of SIJ: *a* — STIR mode, semi-coronary projection. In subchondral parts of ilium on both sides, SIJ(pointer); *b* — T2W_SPAIR mode, semi-axial projection. In subchondral parts of the right ilium, bone marrow swelling (pointer).

процесса. Периартикулярный отек в одной анатомической области должен визуализироваться не менее чем на двух последовательных срезах; при наличии его в двух и более анатомических областях он должен быть выявлен хотя бы на одном срезе [19, с. 1525].

Однако использование отека костного мозга в качестве единого диагностического инструмента, хотя и простого в применении, имеет ряд недостатков. Главным образом, незначительный ОКМ может наблюдаться во многих клинических ситуациях и даже у здоровых людей, поэтому при диагностике воспалительного сакроилита на МРТ необходимо использовать распознавание паттернов (т.е. дифференцирование между отдельными патологическими образованиями на основе паттерна распределения отека костного мозга по суставу). ОКМ должен располагаться субхондрально или периартикулярно [18, с. 16; 20, с. 1046]. Таким образом, вероятность ложноположительной МРТ-диагностики сакроилита относительно высока, что требует опыта и глубокого изучения МРТ-картины сакроилита и его дифференциальной диагностики [14, с. 342; 20, с. 1046].

Также следует учитывать, что в некоторых случаях МР-признаки воспаления КПС у больных СПА могут отсутствовать (низкая клиническая активность заболевания, слабая интенсивность боли в спине или их отсутствие, например вследствие лечения, начало болезни не с сакроилита, а с поражения позвоночника) [18, с. 16].

Не стоит забывать и о том, что существуют противопоказания к выполнению МРТ у пациентов с металлоконструкциями, а также невозможность выполнения исследования из-за клаустрофобии или невозможности длительного нахождения пациентов в вынужденном положении.

Компьютерная томография (КТ). КТ — метод лучевой диагностики, который применяется для оценки костных структур при сомнительных результатах рентгенологического исследования

и МРТ. Преимуществами КТ являются возможность реконструкции изображения в любой нестандартной плоскости с сохранением высокого пространственного разрешения, а также малое время сканирования. По данным ряда авторов, метод КТ обладает высокой чувствительностью и точностью в выявлении признаков сакроилита [14, с. 341; 24, с. 670].

Первые работы по применению КТ в диагностике сакроилита относятся к 1981 г. Тогда Gf. Saenger и соавт. с помощью КТ оценил крестцово-подвздошные суставы у 20 пациентов с клиническими признаками сакроилита. Оценка сакроилита проводилась по следующим критериям: субхондральный склероз, краевые деструкции, а также наличие или отсутствие анкилоза [22, с. 41]. Нормальным значением ширины суставной щели считался диапазон от 2 до 5 мм, на основании еще более раннего исследования проведенного D. Resnick и соавт. в 1975 г. В данном исследовании диапазон нормальной ширины составлял 2,5–4 мм, меньше 2 мм было принято считать сужением. Все кортикальные деструкции были приняты за эрозии. Анкилозом считались костные участки, перекрывающие суставную щель [23, с. 613]. При оценке субхондрального склероза изолированный склероз не считался признаком сакроилита, только распространенный. Суставы принимались за измененные, если визуализировался хотя бы один из признаков [23, с. 614]. В данном исследовании КТ демонстрировало более высокую чувствительность в диагностике изменений КПС в сравнении с традиционной рентгенографией, что было доказано и в последующих исследованиях [21, с. 670], в том числе А. В. Левшаковой и соавт. [24, с. 29].

В настоящее время оценка КТ у пациентов с подозрением на сакроилит проводится по следующим критериям: субхондральный склероз, краевые деструкции, а также наличие или отсутствие анкилоза (рис. 4) [22, с. 41]. Нормальным значением ширины суставной щели считается диапазон от 2 до 5 мм

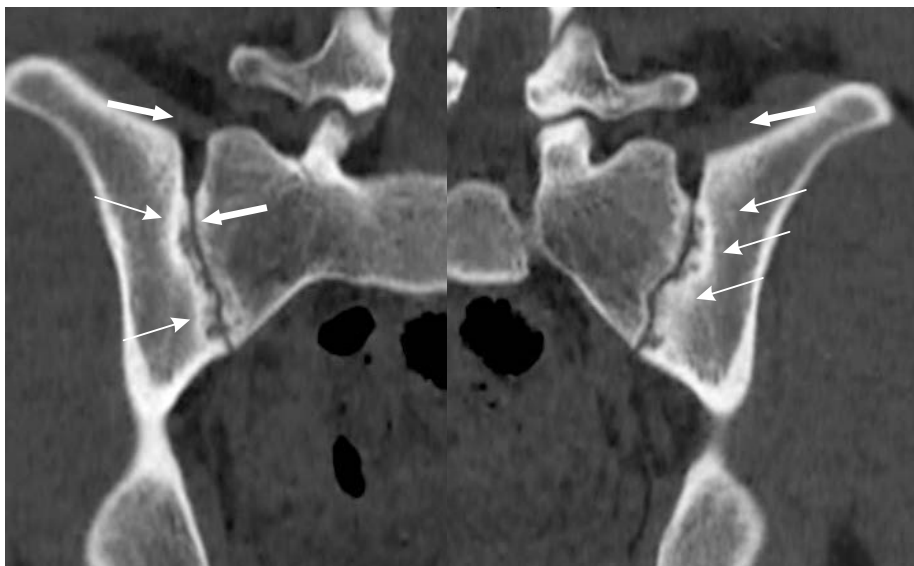


Рис. 4. Компьютерная томография КПС. Выраженный субхондральный склероз суставных поверхностей с обеих сторон, множественные эрозии суставных поверхностей (тонкие стрелки), участки сужения и расширения рентгеновских суставных щелей (толстые стрелки).

Fig. 4. Computer tomography of SIJ. Distinct subchondral sclerosis of articular surfaces on both sides, multiple erosion of articular surfaces (thin pointers), areas of narrowing and widening X-ray joint space (thick pointers).

[23, с. 610]. Кортикальные деструкции принято считать эрозиями и должны определяться не менее чем на двух последовательных срезах [24, с. 28]. Анкилозом принято называть костные участки, перекрывающие суставную щель [23, с. 613]. Субхондральный склероз считается признаком сакроилиита, только если ширина со стороны подвздошной кости составляла более 5 мм, со стороны крестца более 3 мм [24, с. 28].

Несмотря на преимущества КТ в визуализации крестцово-подвздошных сочленений, что немало важно для диагностики патологических поражений, использование КТ связано с высокой лучевой нагрузкой [25, с. 1889]. В литературе встречаются исследования, которые указывают на то, что даже незначительные дозы облучения могут увеличивать риск развития различных заболеваний, в том числе и рака [26, с. 1513; 27, с. 185].

В 2009 г. было проведено количественный анализ определения эффективной дозы в результате облучения позвоночника и конечностей при КТ опорно-двигательного аппарата [25, с. 1882]. Средняя эффективная доза при обследовании таза составила 4,85 мЗв.

Стоит отметить, что структурные поражения (эрозии, склероз и анкилоз), видимые на КТ, развиваются на более поздней стадии сакроилиита, что отрицательно сказывается на ранней диагностике заболевания. При этом эрозии являются наиболее чувствительными и специфичными признаками сакроилиита [28, с. 667].

Томосинтез и его применение в диагностике сакроилиита. В настоящее время встречаются публикации, в которых авторы утверждают, что информативность традиционного рентгенологиче-

ского исследования еще может быть значительно повышена за счет использования динамических цифровых плоскопанельных детекторов [29, с. 634; 17, с. 1706]. Они обеспечивают высокое качество визуализации, высокую скорость получения изображения и низкую лучевую нагрузку. Такими свойствами обладает цифровой томосинтез [30, с. 237].

Цифровой томосинтез — это метод, который позволяет получать посрезовое изображение объекта, полученное из множественных проекций, выполненных под разными углами [31, с. 24; 32, с. 1262]. В сравнении с традиционной рентгенографией цифровой томосинтез занимает больше времени при реконструкции изображения и дает более высокую лучевую нагрузку [31, с. 5; 32, с. 1264; 33, с. 2]. По данным литературы доза облучения при томосинтезе превышает дозу при традиционном рентгенологическом исследовании примерно в 2–3 раза, что оправдано получением различных высокоинформативных срезов, принципиально важных для диагностики. Кроме того, дозу можно снизить, варьируя параметрами сканирования [33, с. 159].

Доза облучения, связанная с томосинтезом, является суммой дозы каждой проекции [34, с. 552]. Проведенные исследования показали, что при оптимизации параметров облучения, при томосинтезе запястья, доза на 25% меньше, чем при стандартном рентгенографическом исследовании (0,72 против 0,96 мгр), и в 28 раз меньше, чем при компьютерной томографии (19,8 мгр) [31, с. 427]. В другом исследовании средняя эффективная доза при томосинтезе тазобедренного сустава составила 0,9 мЗв (диапазон 0,1–5,2 мЗв), в то время как средняя эффективная доза при комбинированной рентгенографии таза и тазобедренного сустава составила 1,1 мЗв [31, с. 428].

Основным преимуществом томосинтеза является возможность получения посрезовых изображений [31, с. 424; 32, с. 1259; 35, с. 2]. В связи с этим в данный момент томосинтез применяется в различных областях исследования, в том числе при патологии опорно-двигательного аппарата. Данный метод предназначен для анализа высококонтрастных структур, особенно костей [31, с. 427; 32, с. 1261]. Он превосходит традиционную рентгенографию, когда важно исключить наложения других структур [32, с. 1264].

Авторы утверждают, что томосинтез должен использоваться как расширение или дополнение к стандартной рентгенографии, так как он может быть выполнен на одном и том же диагностическом этапе и улучшает диагностические показатели рентгенологического метода [31, с. 428; 36, с. 380].

Томосинтез также может использоваться как дополнительный метод в тех случаях, когда стандартная рентгенография низкоинформативна. Его приме-

нение возможно при травматическом повреждении, заболеваниях дегенеративной, воспалительной и опухолевой патологии [31, с. 423; 37, с. 180]. Таким образом, в ревматологической практике томосинтез может быть эффективным методом выявления структурных поражений костной ткани. Он лучше, чем стандартная рентгенография, выявляет эрозию костей, связанную с ревматоидным артритом или подагрой [38, с. 389; 39, с. 1702; 40, с. 2098]. Возможность реконструкции предотвращает наложение анатомических структур, тем самым улучшает обнаружение данных изменений [17, с. 1706; 31, с. 426; 32, с. 1264]. Таким образом, можно предположить, что информативность томосинтеза в оценке сакроилиита может быть выше за счет более эффективного выявления такого важного рентгенологического признака как эрозии костной ткани [29, с. 63] (рис. 5, 6).

В исследовании с участием 30 пациентов с 232 эрозиями костей кисти или запястья, получавших

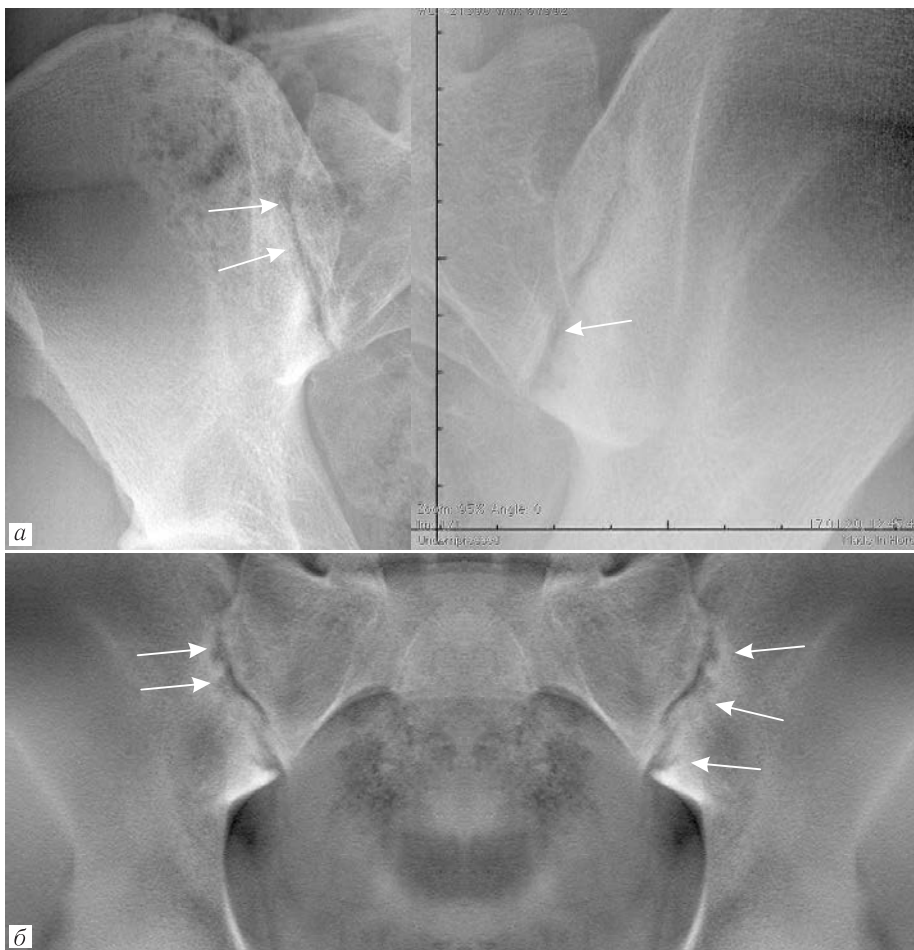


Рис. 5. *a* — традиционная рентгенография в косо́й проекции: справа выраженный субхондральный склероз со стороны подвздошной кости, на фоне которого эрозии не визуализируются; слева выраженный субхондральный склероз со стороны подвздошной кости, на фоне которого нельзя исключить наличие эрозий в нижних отделах (стрелки); *б* — цифровой томосинтез КПС: множественные эрозии суставных поверхностей подвздошных костей в средних и нижних отделах обоих крестцово-подвздошных сочленений, на фоне выраженного субхондрального склероза (стрелки).

Fig. 5. *a* — traditional radiography in the oblique projection: on the right side there is distinct subchondral sclerosis from the ilium side, with which erosion is not visualized; on the left side there is distinct subchondral sclerosis from the ilium side with which the presence of erosion in the lower parts couldn't be excluded (pointers); *b* — digital tomosynthesis of SIJ: multiple erosion of ilium articular surfaces in the middle and lower parts of both sacroiliac joints with distinct subchondral sclerosis (pointers).



Рис. 6. *a* — традиционная рентгенография в косой проекции: выраженный субхондральный склероз подвздошной кости, на фоне которого эрозии нельзя исключить в верхних и нижних отделах (стрелки); *б* — цифровой томосинтез КПС: на фоне выраженного субхондрального склероза множественные эрозии суставных поверхностей подвздошных костей в верхних и нижних отделах (стрелки).

Fig. 6. *a* — traditional radiography in the oblique projection: distinct subchondral sclerosis of ilium with which erosion in the upper and lower parts couldn't be excluded (pointers); *b* — digital tomosynthesis of SIJ: multiple erosion of ilium articular surfaces in the upper and lower parts with distinct subchondral sclerosis (pointers).

лечение от ревматоидного артрита, по сравнению с КТ стандартная рентгенография имела чувствительность 54% и специфичность 92%, в то время как томосинтез имел чувствительность 77% и специфичность 90% [41, с. 199]. В другом исследовании частота обнаружения эрозии была близка к таковой при МРТ и значительно выше, чем при стандартной рентгенографии [38, с. 388].

В исследовании, целью которого было сравнение томосинтеза, рентгенографии и КТ для оценки изменений в стопах пациентов с хроническим подагрическим артритом, томосинтез показал сходные результаты с КТ и превосходящие результаты рентгенографии для оценки изменений костной структуры [40, с. 2097]. В то же время в исследовании N. Dalbeth и соавт. показано, что томосинтез превосходит КТ при полуколичественном анализе эрозий костей у 36 больных подагрой, однако не имеет преимуществ перед стандартной рентгенографией [39, с. 1712]. Вместе с тем в других исследованиях указано томосинтез превосходит стандартную рентгенографию в определении

признаков остеоартрита, так как по данным авторов позволяет выявить больше остеофитов и изменений в субхондральной пластинке [42, с. 209; 43, с. 355].

Авторы предполагают, что при ведении пациентов с аксиальными спондилоартритами томосинтез может помочь в отборе пациентов, которым требуется МРТ-исследование крестцово-подвздошного сустава для выявления субхондрального отека в соответствии с критериями ASAS [29, с. 63].

Заключение. Высокая чувствительность и специфичность томосинтеза в определении признаков деструкции костной ткани позволяет сделать вывод о снижении количества ложноотрицательных результатов при его применении. Это может улучшить раннюю диагностику аксиальных спондилоартритов, а также позволит более эффективно мониторировать рентгенологическое прогрессирование заболевания. Однако возможности методики в данном направлении до конца не изучены, а алгоритм ее применения и критерии для отбора пациентов на исследование в настоящее время не разработаны.

Сведения об авторах:

Гайдук Александра Сергеевна — заведующая рентгеновским кабинетом кафедры факультетской терапии федерального государственного бюджетного военного образовательного учреждения высшего образования «Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации; 194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6; e-mail: alikssg@mail.ru; ORCID 0000-0003-2969-4539;

Железняк Игорь Сергеевич — доктор медицинских наук, профессор, начальник кафедры рентгенологии и радиологии с курсом ультразвуковой диагностики федерального государственного бюджетного военного образовательного учреждения высшего образования «Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации; 194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6; e-mail: igzh@bk.ru; ORCID 0000-0001-7383-512X; SPIN 1450-5053;

Тыренко Вадим Витальевич — доктор медицинских наук, профессор, начальника кафедры факультетской терапии федерального государственного бюджетного военного образовательного учреждения высшего образования «Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации; 194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6; e-mail: vadim_tyrenko@mail.ru; ORCID 0000-0002-0470-1109; SPIN 3022-5038;

Малаховский Владимир Николаевич — доктор медицинских наук, профессор, преподаватель кафедры рентгенологии и радиологии с курсом ультразвуковой диагностики федерального государственного бюджетного военного образовательного учреждения высшего образования «Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации; 194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6; e-mail: malakhovskiyvova@gmail.ru; ORCID 0000-0002-0663-9345; SPIN 2014-6335;

- Анохин Дмитрий Юрьевич** — кандидат медицинских наук, начальник радиологического отделения клиники военно-полевой терапии федерального государственного бюджетного военного образовательного учреждения высшего образования «Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации; 194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6; e-mail: damixon@mail.ru; ORCID 0000-0003-4499-066X; SPIN 6186-5543;
- Емельянцева Александра Александрович** — кандидат медицинских наук, старший преподаватель кафедры рентгенологии и радиологии с курсом ультразвуковой диагностики федерального государственного бюджетного военного образовательного учреждения высшего образования «Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации; 194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6; e-mail: yemelyantsev@gmail.com; ORCID 0000-0001-5723-7058; SPIN 6895-7818;
- Топорков Михаил Михайлович** — кандидат медицинских наук, старший преподаватель кафедры факультетской терапии федерального государственного бюджетного военного образовательного учреждения высшего образования «Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации; 194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6; e-mail: mikhthop@ya.ru; ORCID 0000-0002-7417-7509; SPIN 7518-1085;
- Аганов Дмитрий Сергеевич** — кандидат медицинских наук, преподаватель кафедры факультетской терапии федерального государственного бюджетного военного образовательного учреждения высшего образования «Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации; 194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6; e-mail: dimanerio@gmail.ru; ORCID 0000-0002-5082-9322; SPIN 1889-1327;
- Волков Константин Юрьевич** — старший ординатор кафедры факультетской терапии федерального государственного бюджетного военного образовательного учреждения высшего образования «Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации; 194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6; e-mail: vahlevsky@yandex.ru; ORCID 0000-0001-8310-5323; SPIN 3953-9174.

Information about authors:

- Alexandra S. Gaiduk** — Head of X-ray room by the Chair of Faculty Therapy, the Federal State Budgetary Military Institution of Higher Education «The Military Medical Academy of S. M. Kirov», 194044, St.Petersburg, 6, Academician Lebedev St, e-mail: alikssg@mail.ru; ORCID 0000-0003-2969-4539;
- Igor S. Zheleznyak** — Dr. of Sci. (Med.), Professor, Head by the Chair of Roentgenology and Radiology with ultrasound diagnostics, the Federal State Budgetary Military Institution of Higher Education «The Military Medical Academy of S. M. Kirov», 194044, St.Petersburg, 6, Academician Lebedev St, e-mail: igzh@bk.ru; ORCID 0000-0001-7383-512X; SPIN 1450-5053;
- Vadim V. Tyrenko** — Dr. of Sci. (Med.), Professor, Head by the Chair of Faculty Therapy, the Federal State Budgetary Military Institution of Higher Education «The Military Medical Academy of S. M. Kirov», 194044, St.Petersburg, 6, Academician Lebedev St, e-mail: vadim_tyrenko@mail.ru; ORCID 0000-0002-0470-1109; SPIN 3022-5038;
- Vladimir N. Malakhovskiy** — Dr. of Sci. (Med.), Professor by the Chair of Roentgenology and Radiology with ultrasound diagnostics, the Federal State Budgetary Military Institution of Higher Education «The Military Medical Academy of S. M. Kirov», 194044, St. Petersburg, 6, Academician Lebedev St., e-mail: malakhovskiyova@gmail.ru; ORCID 0000-0002-0663-9345; SPIN 2014-6335;
- Dmitriy Yu. Anokhin** — Cand. of Sci. (Med.), Head of Radiology Department, Clinic of Military-Field Therapy, the Federal State Budgetary Military Institution of Higher Education «The Military Medical Academy of S. M. Kirov», 194044, St. Petersburg, 6, Academician Lebedev St, e-mail: damixon@mail.ru; ORCID 0000-0003-4499-066X; SPIN 6186-5543;
- Alexander A. Emelyantsev** — Dr. of Sci. (Med.), Assistant Professor by the Chair of Roentgenology and Radiology with ultrasound diagnostics, the Federal State Budgetary Military Institution of Higher Education «The Military Medical Academy of S. M. Kirov», 194044, St. Petersburg, 6, Academician Lebedev St, e-mail: yemelyantsev@gmail.com; ORCID 0000-0001-5723-7058; SPIN 6895-7818;
- Mikhail M. Toporkov** — Dr. of Sci. (Med.), Assistant Professor by the Chair of Faculty Therapy, the Federal State Budgetary Military Institution of Higher Education «The Military Medical Academy of S. M. Kirov», 194044, St. Petersburg, 6, Academician Lebedev St, e-mail: mikhthop@ya.ru; ORCID 0000-0002-7417-7509; SPIN 7518-1085;
- Dmitriy S. Aganov** — Cand. of Sci. (Med.), Professor by the Chair of Faculty Therapy, the Federal State Budgetary Military Institution of Higher Education «The Military Medical Academy of S. M. Kirov», 194044, St. Petersburg, 6, Academician Lebedev St, e-mail: dimanerio@gmail.ru; ORCID 0000-0002-5082-9322; SPIN 1889-1327;
- Konstantin Yu. Volkov** — Chief Surgical Resident by the Chair of Faculty Therapy, the Federal State Budgetary Military Institution of Higher Education «The Military Medical Academy of S. M. Kirov», 194044, St. Petersburg, 6, Academician Lebedev St, e-mail: vahlevsky@yandex.ru; ORCID 0000-0001-8310-5323; SPIN 3953-9174.

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства, согласно международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределен следующим образом: концепция и план исследования — А. С. Гайдук, И. С. Железняк, Д. Ю. Анохин, А. А. Емельянцева, Д. С. Аганов, В. В. Малаховский; сбор и анализ данных — А. С. Гайдук, И. С. Железняк, Д. Ю. Анохин, А. А. Емельянцева, Д. С. Аганов, В. В. Тыренко, В. Н. Малаховский, М. М. Топорков, К. Ю. Волков; подготовка рукописи — А. С. Гайдук, И. С. Железняк, Д. Ю. Анохин, А. А. Емельянцева, Д. С. Аганов, В. В. Тыренко, В. Н. Малаховский, М. М. Топорков, К. Ю. Волков.

Author contribution. All authors met the ICMJE authorship criteria. Special contribution: ASG, ISZh, DYuA, AAE, DSA, VNM aided in the concept and plan of the study; ASG, ISZh, DYuA, AAE, DSA, VVT, VNM, MMT, KYuV provided collection and mathematical analysis of data; ASG, ISZh, DYuA, AAE, DSA, VVT, VNM, MMT, KYuV preparation of the manuscript.

Потенциальный конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Disclosure. The authors declare that they have no competing interests.

Поступила / Received: 25.01.2022

Принята к печати / Accepted: 16.05.2022

Опубликована / Published: 25.06.2022

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

- Галушко Е.А., Насонов Е.Л. Распространенность ревматических заболеваний в России // *Альманах клинической медицины*. 2018. Т. 1, № 46. с. 32–39. [Galushko E.A., Nasonov E.L. Rasprostranennost' revmaticheskikh zabolevaniy v Rossii // *Al'manakh klinicheskoy meditsiny*. 2018. T. 1, No. 46. S. 32–39. (In Russ.).] doi: 10.18786/2072-0505-2018-46-1-32-39.
- Эрдес Ш.Ф. Спондилоартриты: современная терминология и определения // *Терапевтический архив*. 2019. Т. 5, № 91. с. 84–88. Erdes Sh.F. Spondyloarthritis: sovremennaya terminologiya i opredeleniya // *Terapevticheskiy arkhiv*. 2019. T. 5, No. 91. S. 84–88 [Erdes Sh.F. Spondyloarthritis: modern terminology and definitions. *Therapeutic archive*, 2019, Vol. 5, No. 91, pp. 84–88 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.26442/00403660.2019.05.000208>.
- Мазуров В.И. *Клиническая ревматология*. М.: Е-нот, 2021. 696 с. Mazurov V.I. *Klinicheskaya revmatologiya*. M.: E-noto, 2021. 696 s. [Mazurov V.I. *Clinical rheumatology*. Moscow: publishing house E-noto, 2021. 696 p. (In Russ.)].
- Braun J., Bollow M., Sieper J. Radiologic diagnosis and pathology of the spondyloarthropathies // *Rheumatic Disease Clinics of North America*. 1998. Vol. 4, No. 24. P. 697–735. [https://doi.org/10.1016/S0889-857X\(05\)70038-7](https://doi.org/10.1016/S0889-857X(05)70038-7).
- Braun J., Sieper J., Bollow M. Imaging of sacroiliitis // *Clinical Rheumatology*. 2000. Vol. 1, No. 19. P. 51–57. doi: 10.1007/s100670050011.
- Насонов Е.Л. *Российские клинические рекомендации. Ревматология*. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2017. 464 с. [Nasonov E.L. *Rossiyskiye klinicheskiye rekomendatsii. Revmatologiya*. M.: GEOTAR-Media, 2017. 464 p. (In Russ.)].
- Дубинина Т.В., Эрдес Ш.Ф. Причины поздней диагностики анкилозирующего спондилита в клинической практике // *Научно-практическая ревматология*. 2010. Т. 2, № 48. с. 43–48. [Dubinina T.V., Erdes Sh.F. Prichiny pozdney diagnostiki ankiloziruyushchego spondilita v klinicheskoy praktike // *Nauchno-prakticheskaya revmatologiya*, 2010, Vol. 2, No. 48, pp. 43–48 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.14412/1995-4484-2010-1415>.
- Ребров А.П., Акулова А.И., Гайдукова И.З. Паллиативная помощь при спондилоартритах есть ли в ней потребность? // *Научно-практическая ревматология*. 2015. Т. 53, № 2. с. 220–224. [Rebrov A.P., Akulova A.I., Gaydukova I.Z. Palliativnaya pomoshch' pri spondyloartritakh yes' li v ney potrebnost'? // *Nauchno-prakticheskaya revmatologiya*. 2015. T. 53, No. 2. S. 220–224 [Rebrov A.P., Akulova A.I., Gaydukova I.Z. Is there a need for palliative care for spondyloarthritis? *Scientific and practical rheumatology*, 2015, Vol. 53, No. 2, pp. 220–224 (In Russ.)]. <http://dx.doi.org/10.14412/1995-4484-2015-220-224>.

9. Rudwaleit M., Khan M.A., Sieper J. The challenge of diagnosis and classification in early ankylosing spondylitis: Do we need new criteria? // *Arthritis & Rheumatism*. 2005. Vol. 4, No. 52. P. 1000–1008. doi: 10.1002/art.20990.
10. Said-Nahal R., Miceli-Richard C., Berthelot J. M., Duché E., Le Blévec G., Saraux A., Perdriger A., Guis S., Claudepierre P., Sibilia J., Amor B., Dougados M., Breban M. The familial form of spondylarthropathy: a clinical study of 115 multiplex families. Groupe Français d'Etude Génétique des Spondylarthropathies // *Arthritis and rheumatism*. 2000. Vol. 6, No. 43. P. 1356–1365. doi: 10.1002/1529-0131(200006)43:6<1356::AID-ANR20>3.0.CO;2-Y.
11. Deodhar A. Axial spondyloarthritis criteria and modified NY criteria: issues and controversies // *Clinical rheumatology*. 2014. Vol. 6, No. 33. P. 741–747. doi: 10.1007/s10067-014-2661-8.
12. Mau W., Zeidler H., Mau R., Majewski A., Freyschmidt J., Stangel W., Deicher H. Clinical features and prognosis of patients with possible ankylosing spondylitis. Results of a 10-year followup // *The journal of rheumatology*. 1988. Vol. 15, No. 7. P. 1109–1114.
13. Linden S.V.D., Valkenburg H.A., Cats A. Evaluation of Diagnostic Criteria for Ankylosing Spondylitis // *Arthritis and rheumatism*. 1984. Vol. 4, No. 27. P. 361–368. doi: 10.1002/art.1780270401.
14. Slobodin G., Hussein H., Rosner I., Eshed I. Sacroiliitis — early diagnosis is key // *Journal of inflammation research*. 2018. Vol. 10, No. 11. P. 339–344. doi: 10.2147/JIR.S149494.
15. Ростовцев М.В., Братникова Г.И., Корнева Е.П., Богданова Л.Б. *Атлас рентгеноанатомии и укладок*. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2015. 320 с. Rostovtsev M.V., Bratnikova G.I., Korneva Ye.P., Bogdanova L.B. *Atlas rentgenoanatomii i ukladok*. М.: GEOTAR-Media, 2015. 320 s. [Rostovtsev M.V., Bratnikova G.I., Korneva Ye.P., Bogdanova L.B. *Atlas of X-ray anatomy and laying*. Moscow: publishing house GEOTAR-Media, 2015. 320 p. (In Russ.)].
16. Кишковский А.Н., Тютин Л.А., Есиновская Г.Н. *Атлас укладок при рентгенологических исследованиях*. Л.: Медицина, 1987. 520 с. Kishkovskiy A.N., Tyutin L.A., Yesinovskaya G.N. *Atlas of laying in X-ray studies*. Leningrad: publishing house Meditsina, 1987. 520 p. (In Russ.)].
17. Tada K., Ogasawara M., Inoue H., Yamaji K., Kobayashi S., Tamura N. Clinical Images: Nonradiographic Axial Spondyloarthritis With Sacroiliitis Detected by Tomosynthesis // *Arthritis and rheumatology*. 2017. Vol. 8, No. 69. P. 1706–1706.
18. Бочкова А.Г., Левшакова А.В. Критерии достоверного диагноза сакроилита по данным магнитно-резонансной томографии (рекомендации ASAS/OMERACT и собственные данные) // *Современная ревматология*. 2010. Т. 4, № 1. с. 12–17. Bochkova A.G., Levshakova A.V. Kriterii dostovernogo diagnoza sakroilita po dannym magnitnorezonansnoy tomografii (rekomentatsii ASAS/OMERACT i sobstvennyye dannyye) // *Sovremennaya revmatologiya*. 2010. T. 4, No. 1. S. 12–17 [Bochkova A.G., Levshakova A.V. Criteria for a reliable diagnosis of sacroiliitis according to magnetic resonance imaging (ASAS/OMERACT recommendations and own data). *Modern rheumatology*, 2010, Vol. 4, No. 1, pp. 12–17 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.14412/1996-7012-2010-580>.
19. Rudwaleit M., Jurik A.G., Herrmann K-G A., Landewe R., Van der Heijde D., Baraliakos X., Marzo-Ortega H., Ostergaard M., Braun J., Sieper J. Defining active sacroiliitis on magnetic resonance imaging (MRI) for classification of axial spondyloarthritis: a consensual approach by the ASAS/OMERACT MRI group // *Annals of the rheumatic diseases*. 2009. Vol. 10, No. 68. P. 1520–1527. doi: 10.1136/ard.2009.110767.
20. Winter J., Hooge M., Van S.M., Jong H., Koning A., Berg I.-J., Ramonda R. Baeten D., Heijde D., Weel A., Landewé R. Magnetic resonance Imaging of the sacroiliac joints indicating sacroiliitis according to the assessment of spondyloarthritis international society definition in healthy individuals, runners, and women with postpartum back pain // *Arthritis and rheumatology*. 2018. Vol. 7, No. 70. P. 1042–1048. doi: 10.1002/art.40475.
21. Geijer M., Gadeholt Göthlin G., Göthlin J. H. Observer variation in computed tomography of the sacroiliac joints: a retrospective analysis of 1383 cases // *Acta radiologica*. 2007. Vol. 6, No. 48. P. 665–671. doi: 10.1080/02841850701342146.
22. Carrera G., Foley W., Kozin F., Ryan L., Lawson Ti. CT of sacroiliitis // *American journal of roentgenology*. 1981. Vol. 1, No. 136. P. 41–46.
23. Resnick D., Niwayama G., Goergen T.G. Degenerative Disease of the Sacroiliac Joint // *Investigative radiology*. 1975. Vol. 6, No. 10. P. 608–621.
24. Левшакова А.В., Бочкова А.Г., Бунчук Н.В. Мультиспиральная компьютерная томография в диагностике сакроилита у больных ранними спондилоартритами // *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2009. № 1–3. с. 27–30. Levshakova A.V., Bochkova A.G., Bunchuk N.V. Mul'tispiral'naya komp'yuternaya tomografiya v diagnostike sakroileita u bol'nykh rannimi spondiloartritami // *Vestnik Rentgenologii i Radiologii*. 2009. No. 1–3. S. 27–30 [Levshakova A.V., Bochkova A.G., Bunchuk N.V. Multislice computed tomography in the diagnosis of sacroiliitis in patients with early spondyloarthritis. *Bulletin of radiology and radiology*, 2009, No. 1–3, pp. 27–30 (In Russ.)].
25. Biswas D., Beble J., Bohan M., Simpson A., Whahg P., Grauer J. Radiation exposure from musculoskeletal computerized tomographic scans // *The journal of bone and joint Surgery-American volume*. 2009. Vol. 8, No. 91. P. 1882–1889. doi: 10.2106/JBJS.H.01199.
26. Henckel J., Richards R., Lozhkin K., Harris S., Baena F.M., Rodriguez Y., Barrett A.R.W., Cobb J.P. Very low-dose computed tomography for planning and outcome measurement in knee replacement: The Imperial Knee Protocol // *The journal of bone and joint Surgery. British volume*. 2006. Vol. 11, No. 88-B. P. 1513–1518. doi: 10.1302/0301-620X.88B11.17986.
27. Pierce D.A., Preston D.L. Radiation-related cancer risks at low doses among atomic bomb survivors // *Radiation research*. 2000. Vol. 2, No. 154. P. 178–186. doi: 10.1667/0033-7587(2000)154[0178:rrcal]2.0.co;2.
28. Geijer M., Gadeholt Göthlin G., Göthlin J.H. The validity of the New York radiological grading criteria in diagnosing sacroiliitis by computed tomography // *Acta radiologica*. 2009. Vol. 6, No. 50. P. 664–673. doi: 10.1080/02841850902914099.
29. Lacout A., El Hajjam M., Marcy P.Y. Tomosynthesis for early diagnosis of sacroiliitis // *Joint bone spine*. 2015. Vol. 1, No. 82. P. 63. doi: 10.1016/j.jbspin.2014.04.011.
30. Dobbins J.T., McAdams H.P., Sabol J.M., Chakraborty D.P., Kazerooni E.A. Multi-Institutional evaluation of digital tomosynthesis, dual-energy radiography, and conventional chest radiography for the detection and management of pulmonary nodules // *Radiology*. 2017. Vol. 1, No. 282. P. 236–250. doi: 10.1148/radiol.2016150497.
31. Blum A., Noel A., Regent D., Villani N., Gillet R., Gondim P. Tomosynthesis in musculoskeletal pathology // *Diagnostic and interventional imaging*. 2018. Vol. 7–8, No. 99. P. 423–441. doi: 10.1016/j.diii.2018.05.001.
32. Gillet R., Teixeira P., Bonarelli Ch., Coudane H., Sirveaux F., Louis M., Blum A. Comparison of radiographs, tomosynthesis and CT with metal artifact reduction for the detection of hip prosthetic loosening // *European radiology*. 2019. Vol. 3, No. 29. P. 1258–1266. doi: 10.1007/s00330-018-5717-3.
33. Becker A.S., Martini K., Higashig K., Guggend R., Andreisek G., Frauenfel T. Dose Reduction in Tomosynthesis of the Wrist // *American journal of roentgenology*. 2017. Vol. 1, No. 208. P. 159–164. doi: 10.2214/AJR.16.16729.
34. Machida H., Yuhara T., Mori T., Ueno E., Moribe Y., Sabol John M. Optimizing parameters for flat-panel detector digital tomosynthesis // *RadioGraphics*. 2010. Vol. 2, No. 30. P. 549–562. doi: 10.1148/rg.302095097.
35. Dibble E.H., Hermann Kay-Geert A., Schwenke Carsten, Poddubnyy D., Hamm B., Sieper J. Comparison of digital mammography and digital breast tomosynthesis in the detection of architectural distortion // *European radiology*. 2018. Vol. 1, No. 28. P. 3–10.
36. Tucker L., Gilbert F., Astley S.-M., Dibden A., Seth A., Morel J., Bundred S., Litherland J., Klassen H., Lip G., Purushothaman H., Dobson H.-M., McClure L., Skippage P., Stoner K., Beetles U., Lim Y.-Y., Hurley E., Goligher J., Rahim R., Gagliardi T.-J., Suaris T., Duffy Stephen W. Does reader performance with digital breast tomosynthesis vary according to experience with two-dimensional mammography? // *Radiology*. 2017. Vol. 2, No. 283. P. 371–380. <https://doi.org/10.1148/radiol.2017151936>.
37. Ottenin M.A., Jacquot A., Grospretre A., Noël A., Lecocq S., Louis M., Blum M. Evaluation of the diagnostic performance of tomosynthesis in fractures of the wrist // *American journal of roentgenology*. 2012. Vol. 1, No. 198. P. 180–186. doi: 10.2214/AJR.11.6374.
38. Aoki T., Fujii M., Yamashita Y., Hiroyuki T., Hodaka O. Tomosynthesis of the wrist and hand in patients with rheumatoid arthritis: comparison with radiography and MRI // *American journal of roentgenology*. 2014. Vol. 2, No. 202. P. 386–390. doi: 10.2214/AJR.12.10029.
39. Dalbeth N., Gao A., Roger M., Doyle A.J., McQueen F.M. Digital tomosynthesis for bone erosion scoring in gout: comparison with plain radiography and computed tomography // *Rheumatology*. 2014. Vol. 9, No. 53. P. 1712–1713. doi: 10.1093/rheumatology/keu250.
40. Son C.-N., Song Y., Kim S.-Y., Lee S., Jun J.-B. Digital tomosynthesis as a new diagnostic tool for assessing of chronic gout arthritic feet and ankles: comparison of plain radiography and computed tomography // *Clinical rheumatology*. 2017. Vol. 9, No. 36. P. 2095–2100. doi: 10.1007/s10067-017-3710-x.
41. Canella C., Philippe P., Pansini V., Salleron J., Flipo Rene-Mark, Cotton, Anne. Use of tomosynthesis for erosion evaluation in rheumatoid arthritic hands and wrists // *Radiology*. 2011. Vol. 1, No. 258. P. 199–205.
42. Hayashi D., Xu Li., Katur A.M., Roemer Frank W., Hunter David J., Li L., Guermazi A. Detection of osteophytes and subchondral cysts in the knee with use of tomosynthesis // *Radiology*. 2012. Vol. 1, No. 263. P. 206–215.
43. Hayashi D., Xu Li., Gussenburg J., Roemer Frank W., Hunter David J., Li L., Guermazi A.. Reliability of semiquantitative assessment of osteophytes and subchondral cysts on tomosynthesis images by radiologists with different levels of expertise // *Diagnostic and interventional radiology*. 2014. Vol. 4, No. 20. P. 353–359. doi: 10.5152/dir.2014.13283.