

УДК 616.002.182:616-07.756.8(048.8)

DOI: 10.36604/1998-5029-2021-82-146-157

ВОЗМОЖНОСТИ СОВРЕМЕННОЙ ЛУЧЕВОЙ ДИАГНОСТИКИ САРКОИДОЗА (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

Е.А.Игнатьева

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Дальневосточный научный центр физиологии и патологии дыхания», 675000, г. Благовещенск, ул. Калинина, 22

РЕЗЮМЕ. Введение. Саркоидоз представляет значимую социальную и медицинскую проблему. Диагноз основывается на совместимости клинической картины, гистологических данных о гранулематозном воспалении, исключении альтернативных заболеваний и доказательствах системного поражения. Для саркоидоза не существует «золотого» диагностического стандарта. **Цель.** Обзор последних мировых литературных данных о возможностях современной лучевой диагностики саркоидоза. **Материалы и методы.** В обзоре обобщены данные литературных источников, опубликованных преимущественно за последние пять лет в PubMed и eLibrary. А также по необходимости были включены и более ранние публикации. **Результаты.** В литературном обзоре рассмотрены современные методы медицинской визуализации, используемые для диагностики саркоидоза, позволяющие в некоторых случаях избежать биопсии. В первую очередь это рентгенологические методы. На сегодняшний день определяющую роль в диагностике и мониторинге саркоидоза играет мультиспиральная компьютерная томография высокого разрешения с трехмерной визуализацией, как метод с наибольшей чувствительностью. Применение магнитно-резонансной томографии и низкодозовой компьютерной томографии недостаточно изучено у пациентов с саркоидозом. Количественные методики компьютерной томографии и радиомика только частично были протестированы при саркоидозе. **Заключение.** Визуализация саркоидоза – предмет большого количества публикаций, в которых дается подробное описание методик рентгенографии и компьютерной томографии. Тем не менее, несмотря на введение новых компьютеризированных инструментов для анализа визуализации грудной клетки, традиционные рентгенологические методики всё еще сохраняют важную роль, как в диагностической, так и в прогностической оценке изменений, характерных для саркоидоза.

Ключевые слова: саркоидоз, рентгенография, компьютерная томография, мультиспиральная компьютерная томография, радиомика.

RESOURCES OF MODERN RADIATION DIAGNOSTICS OF SARCOIDOSIS (REVIEW)

E.A. Ignat'eva

Far Eastern Scientific Center of Physiology and Pathology of Respiration, 22 Kalinina Str., Blagoveshchensk, 675000, Russian Federation

SUMMARY. Introduction. Sarcoidosis is a significant social and medical problem. Diagnosis is based on consistency of the clinical picture, histological evidence of granulomatous inflammation, exclusion of alternative diseases, and evidence of systemic involvement. There is no “gold” diagnostic standard for sarcoidosis. **Aim.** Review of the latest world literature data on the possibilities of modern radiation diagnosis of sarcoidosis. **Materials and methods.** The review summarizes data from literature published mainly over the past five years in PubMed and eLibrary. Earlier publications were also included as necessary. **Results.** In the literature review, modern medical imaging methods used to diagnose sarcoidosis, which in some cases can avoid biopsy, are considered. First of all, these are X-ray methods. Today, high-resolution multispiral computed tomography with three-dimensional imaging, as the method with the highest sensitivity, plays a decisive role in the diagnosis and monitoring of sarcoidosis. The use of magnetic resonance imaging and low-dose computed tomography is not well understood in patients with sarcoidosis. Quantitative computed tomography and radiomics techniques

Контактная информация

Елена Александровна Игнатьева, аспирант лаборатории функциональных методов исследования дыхательной системы, врач-рентгенолог, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Дальневосточный научный центр физиологии и патологии дыхания», 675000, Россия, г. Благовещенск, ул. Калинина, 22; E-mail: ignatyeva6618@gmail.com

Correspondence should be addressed to

Elena A. Ignat'eva, MD, Postgraduate Student of the Laboratory of Functional Research of Respiratory System, Roentgenologist, Far Eastern Scientific Center of Physiology and Pathology of Respiration, 22 Kalinina Str., Blagoveshchensk, 675000, Russian Federation. E-mail: ignatyeva6618@gmail.com

Для цитирования:

Игнатьева Е.А. Возможности современной лучевой диагностики саркоидоза (обзор литературы) // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. 2021. Вып.82. С.146–157. DOI: 10.36604/1998-5029-2021-82-146-157

For citation:

Ignat'eva E.A. Resources of modern radiation diagnostics of sarcoidosis (review). *Bulleten' fiziologii i patologii dyhaniâ* = *Bulletin Physiology and Pathology of Respiration* 2021; (82):146–157 (in Russian). DOI: 10.36604/1998-5029-2021-82-146-157

have only been partially tested in sarcoidosis. Conclusion. The imaging of sarcoidosis is the subject of a large number of publications that provide detailed descriptions of X-ray and computed tomography techniques. Nevertheless, despite the introduction of new computerized tools for the analysis of chest imaging, traditional X-ray techniques still remain an important role in both the diagnostic and prognostic assessment of changes characteristic of sarcoidosis.

Key words: sarcoidosis, radiography, computed tomography, multispiral computed tomography, radiomics.

На сегодняшний день саркоидоз рассматривается как фенотипически гетерогенное мультисистемное доброкачественное воспалительное заболевание неизвестной этиологии, отличительным морфологическим признаком которого является наличие эпителиоидноклеточной неказеозной гранулемы в одном или нескольких органах [1–3].

Саркоидоз широко распространён во всём мире. Сведения об эпидемиологии саркоидоза разнообразны, наиболее часто заболевание встречается в государствах с развитой системой здравоохранения. Ежегодная заболеваемость саркоидозом среди взрослого населения значительно варьируется в зависимости от этнических групп. Частота встречаемости в разных странах от 2,3 до 17,8 случаев на 100 000 и распространённости от 2,17 до 160 случаев на 100 000 [4–7]. В России заболеваемость саркоидозом оценивается на уровне 3–4 случая на 100 000 населения в год. Распространённость варьирует от 5,8 до 47 на 100 000 [8].

При саркоидозе потенциально могут быть поражены практически все органы и ткани человеческого организма, но в 90% случаях патологический процесс развивается в паренхиме легких и/или внутригрудных лимфатических узлах [9–11]. Клинические проявления саркоидоза и степень их выраженности весьма разнообразны [11]. Характерной особенностью является высокая частота морфологических изменений во внутренних органах при редких их клинических проявлениях. Симптоматика саркоидоза отличается в зависимости от возраста, пола, этнической принадлежности, типа начала заболевания и органа поражения [12].

Определяющую роль в диагностике саркоидоза играют методы медицинской визуализации, которые включают в себя традиционные рентгенологические методики (скрининговая флюорография и обзорная рентгенография в двух проекциях), компьютерную томографию (КТ), магнитно-резонансную томографию (МРТ), радионуклидные методы, ультразвуковое исследование, в том числе эндоскопическое ультразвуковое исследование с тонкоигльной биопсией лимфатических узлов [13]. В первую очередь, востребованы технически простые и экономически выгодные методы, такие как флюорография и обзорная рентгенография.

Наиболее характерным является увеличение лимфатических узлов всех групп средостения и корней лёгких, которое отмечается в 50–80% случаев. Лимфаденопатия проявляется двусторонним симметричным полициклическим расширением тени средостения и корней лёгких. Реже встречается субкаринальная локализация (21%), переднее средостение (16%) и заднее

средостение (2%). Изолированное увеличение паратрахеальных или субкаринальных лимфатических узлов является исключительным [14]. Лимфатические узлы шаровидной или овоидной формы, структура их однородна, размеры варьируют от минимальных до массивных и имеют тенденцию быть наибольшими при первичном обращении, с постепенным уменьшением, в большинстве случаев приводящим к полному регрессу в течение 2 лет.

Изначально одностороннее увеличение лимфатических узлов обычно становится двусторонним в течение 3 месяцев [15]. Значительно увеличенные лимфатические узлы могут приводить к внешней компрессии бронхов, в связи с этим в легких могут появиться участки гиповентиляции и даже ателектазы. При хроническом течении саркоидоза более чем в 20% случаев после 10 лет заболевания наблюдается кальцификация лимфатических узлов. Кальцинаты в лимфатических узлах имеют вид множественных двусторонних неправильной формы включений высокой плотности. Обычная рентгенография позволяет выявить кальцинаты у 5% больных, КТ – примерно у половины пациентов. В большинстве случаев кальцинирование носит глыбчатый характер [18]. Скорлупообразный тип отложения кальция встречается редко, характерен для силикоза. Кальцификации узелков с рисунком «сахарной пудры» представляют собой еще одну характерную находку саркоидоза, представленную наличием аморфных кальцификатов в увеличенном лимфатическом узле [16].

Использование мультиспиральной КТ (МСКТ) высокого разрешения с толщиной срезов 0,6–1,25 мм позволяет выполнять многоплоскостные реконструкции с использованием методов постобработки: проекции максимальной интенсивности улучшают обнаружение и анализ распределения микроочаговых структур, проекции минимальной интенсивности улучшают обнаружение участков повышенной и пониженной плотности. Дополнительное сканирование в конце выдоха информативно для выявления «воздушных ловушек», появление которых объясняется задержкой воздуха, которая отражает поражение мелких дыхательных путей вследствие распределения гранулём. Введение контрастных веществ позволяет детально распознать лимфаденопатию. По сравнению с обычной рентгенографией, МСКТ позволяет более точно охарактеризовать локализацию и распространённость изменений по отношению к структурам вторичной легочной дольки. Вместе с тем, многодетекторные КТ увеличивают радиационную нагрузку, которая должна оставаться на «разумно достижимом низком уровне» [15]. При выявлении атипичных рентгенологических проявлений саркоидоза

диагностическая значимость КТ существенно повышается. Данные КТ-исследований в динамике позволяют лучше контролировать течение болезни и результат проводимой терапии [17].

Различают следующие основные паттерны изменений легочной паренхимы при саркоидозе [18]:

- узелки (в том числе локальные плевральные утолщения);
- утолщение центрального перибронховаскулярного интерстиция;
- паренхиматозные тяжи;
- зоны консолидации и «матового стекла»;
- линейные или ретикулярные затемнения (утолщение и уплотнение междольковых септ, структур внутридолькового интерстиция и несептальные линейные затемнения, не имеющие четкой топографической характеристики);
- бронхоэктазы, «сотовое легкое» и другие типы кистозных изменений (отдельные кисты, буллы);
- локальная эмфизема и нарушение легочной архитектоники.

Наиболее частыми рентгенологическими проявлениями саркоидоза легких являются узелки (очаги), которые обнаруживаются у 80-100% больных. Наличие узелков может быть единственным проявлением поражения легочной паренхимы у трети пациентов [18]. Морфологически узелки представлены скоплениями воспалительных гранул в легочном интерстиции, иногда с перибронхиальным фиброзом [17]. Как правило, они имеют размеры от 1 до 10 мм в диаметре и плохо очерченные контуры. Эффективность обнаружения микроузелков, их топографического распределения возрастает при КТ с использованием проекции максимальной интенсивности. Более крупные (10-30 мм) очаги – фокусы – имеют чаще всего неровный контур. Узелки распределяются неравномерно вдоль путей лимфатического оттока, с тенденцией к локализации в центральном интерстиции. Они визуализируются, в основном, субплеврально вокруг бронхососудистых пучков и по ходу междольковых септ в виде четкообразных утолщений. Лимфатические пути в легочной ткани более плотно расположены в верхних отделах легких, поэтому вовлечение базальных отделов в типичных случаях узелкового паттерна при саркоидозе незначительно [16, 19].

Узелки может окружать малоинтенсивное затемнение – «хало», изменения могут сопровождаться образованием полостей [20]. Полостные поражения при саркоидозе предположительно возникают в результате ишемического некроза или ангиита. Сообщаемая частота полостных поражений от 3,4 до 6,8%. Условно выделяют 2 полостные формы торакального саркоидоза – первично-полостную и некротический саркоидный гранулематоз. Не исключается фиброзно-кистозная (тракционная) форма при саркоидозе IV стадии [21]. Согласно серии исследований S.Hours et al. [22], полостные поражения представляют

собой тонкостенные кисты или полости с толстыми стенками, развивающиеся внутри узелков или уплотнений. Полостные поражения различаются по размеру, чаще бывают множественными и двусторонними, могут осложняться пневмотораксом. Обычно они возникают у пациентов с тяжелым и активным саркоидозом [15].

Изменения, при которых очаги округлой формы, размером 10-20 мм (крайне редко – более 30 мм), с неровным контуром, окружены отдельными и сливающимися узелками меньшего диаметра, получили название «саркоидная галактика». Обычно они не бывают единичными, как правило, множественные, располагаются по ходу бронхососудистых пучков или субплеврально, в 99% случаев сопровождаются значительным увеличением внутригрудных лимфатических узлов [18].

Признак «саркоидного кластера» впервые описан I.Herráez Ortega et al. [16], характеризуется скоплением небольших точечных узелков на периферии легких. Поражение интерстициальной ткани легких визуализируется консолидированными областями затемнения с неровным контуром и непротрачиваемым легочным рисунком. Консолидации могут быть округлыми по форме. Конгломераты узелков, превышающие размер крупных очагов (более 30 мм), представляют собой множественные слившиеся гранулемы, выполняющие пространства между легочными сосудами и междольковыми септами. В случае перибронхиальной локализации конгломератов просвет бронха остается хорошо различимым (симптом «воздушной бронхографии»). Уменьшение диаметра бронха свидетельствует о воспалительном утолщении его стенки либо о сдавлении воспалительным перибронхиальным инфильтратом или увеличенным лимфатическим узлом. Расширение просвета бронхов на фоне консолидации свидетельствует о фиброзных перибронхиальных изменениях, нарушении эластических свойств легочной ткани [18]. Множественные двусторонние конгломераты периферической локализации различной степени гомогенности приходится дифференцировать с опухолями или организуемой пневмонией. Дифференциально-диагностическим критерием может служить их быстрое появление и обратимость на фоне стероидной терапии.

Межальвеолярные перегородки в норме не видны при КТ, допустимы единичные междольковые септы. При поражении легочной ткани количество видимых междольковых перегородок увеличивается вследствие неравномерного их утолщения, что очень часто (в 89%) сопутствует узелковому паттерну интерстициальных изменений [18]. Септальные и несептальные линии характеризуют паттерн ретикулярных (линейных, сетчатых) уплотнений легочной паренхимы.

Снижение пневматизации лёгочной ткани по типу «матового стекла» при саркоидозе встречается в 16-83%. Морфология этого явления представляет собой множественные гранулемы, располагающиеся преимущественно вокруг мелких легочных сосудов, а также в

межальвеолярных перегородках, при этом последние могут быть утолщены, что создаёт картину равномерного малоинтенсивного затемнения лёгочного интерстиция, на фоне которого прослеживается лёгочный рисунок. Такие изменения не всегда могут быть проявлениями альвеолита, аналогичную рентгенологическую картину даёт и лёгочный фиброз. «Матовое стекло» потенциально обратимый паттерн при условии недлительного анамнеза заболевания и отсутствия явных рентгенологических признаков фиброза. Зоны «матового стекла», консолидации и утолщение перибронховаскулярного интерстиция имеют тенденцию эволюционировать в фиброзные изменения разного типа: с нарушением легочной архитектоники, с формированием «сотового легкого», эмфизематозных изменений, тракционных бронхоэктазов, паренхиматозных тяжей в различных комбинациях [17, 18]. Гранулёмы, локализирующиеся в перибронхиальной, периваскулярной ткани лёгкого, в стенке вторичной дольки, а также в субплевральных зонах, по мере развития заболевания регрессируют или фиброзируются [9]. Процесс фиброзирования не затрагивает капиллярно-альвеолярный барьер, поэтому процесс оксигенации в легких не нарушается, и пациенты длительное время могут не отмечать ухудшения самочувствия [23].

К характерным признакам лёгочного фиброза при проведении традиционной рентгенографии относят: уменьшение объема верхних и средних легочных полей за счет фиброзных изменений, корни легких малоструктурны или бесструктурны, лимфатические узлы не увеличены (могут сохраняться обызвествления в них), легочный рисунок выраженно деформирован в прикорневых отделах верхних и средних легочных полях с обеих сторон [23].

Признаками фиброза легких при КТ могут быть: нарушение легочной архитектоники (смещение или выраженная деформация междолевых щелей и междольковых септ, выраженное нарушение хода бронхососудистых пучков и ретракция корня кзади), образование паренхиматозных тяжей (грубые широкие линии длиной от 2 до 5 см, исходящие из толщи легочной паренхимы и имеющие связь с плеврой), тракционные бронхоэктазы и бронхиолоэктазы, кистозные изменения (соответствующие «сотовому легкому», а также отдельные кисты и буллы) и парацирротическая эмфизема [17, 24]. Формирующийся лёгочный фиброз может значительно изменить ход бронхов, стенозируя их просветы, что в дальнейшем приводит к образованию ателектазов, которые встречаются чаще у пациентов старше 50 лет [17, 24].

Широкий комплекс постпроцессинга МСКТ (MPR, Inv.MIP, 3D-рендеринг) позволяет детально изучить поражения костальной и диафрагмальной плевры при саркоидозе [25]. Визуализация плевральных изменений при саркоидозе осуществляется путём анализа традиционного сканирования в аксиальной плоскости, с по-

мощью поверхностного рендеринга (SSD) оценивается наружная плевральная поверхность, по средствам объемного рендеринга (VR) – внутренняя плевральная поверхность в глубине объема [25].

Изменения плевры при саркоидозе могут быть самыми разнообразными. В первую очередь, это плевральные выпоты, среди них более редко встречаются геморрагический плеврит и хилоторакс. Для поражения плевры характерно развитие выпота воспалительного, невоспалительного, геморрагического или хилезного характера пневмоторакса, фиброзных плевральных наслоений, кальциноза плевры. Существует точка зрения, что последствием геморрагического плеврита может быть кальциноз плевры [18, 25–27].

При помощи МСКТ появилась возможность дифференцировать обратимые поражения от необратимых. Узелки или перибронховаскулярные утолщения могут подвергаться обратному развитию спонтанно или в результате лечения, чаще обратимы частично. Такие изменения как трансформация по типу «сотового лёгкого», тракционные бронхоэктазы и буллы считаются необратимыми [28].

КТ позволяет выявить признаки легочной гипертензии, к которым относятся дилатация легочного ствола более 29 мм в диаметре и дилатация правой и левой легочных артерий [16, 29].

С помощью современных методов компьютерного анализа томографических срезов появилась возможность измерить толщину бронхиальной стенки на протяжении бронха (до 6 порядка) и площадь сечения бронхов, что позволяет отдифференцировать неизменённые бронхи от бронхов с признаками воспаления [30, 31].

Однако в изучении нарушений проходимости малых дыхательных путей большее значение имеет анализ не самих бронхов, а последствий их изменения в виде нарушений воздухонаполненности [32]. Изменения варьируют от единичных «воздушных ловушек», локальных зон гиперинфляции, до выраженной «мозаичной» вентиляции вследствие чередования в ткани лёгких участков с различной воздухонаполненностью. Сканирование в экспираторной фазе выявляет нарушения вентиляции наиболее ярко [32]. Анализ аксиальных сканов КТ позволяет определить нарушения вентиляционной функции лёгких. Оценка суммарной денситометрической плотности получаемых изображений с дальнейшей оценкой разницы между денситометрической плотностью в инспираторную и экспираторную фазы сканирования позволяет судить о степени нарушения вентиляции. Для проведения количественных измерений выделяется определённый денситометрический диапазон, в котором проводятся денситометрические измерения, он отличается у разных исследователей от -850, -900 до -950 [33].

Для оценки функционального состояния лёгких в ряде исследований применялось цветовое картирование. Для данного метода необходимо определить не-

сколько диапазонов плотностей, соответствующих плотности воздуха, плотности легочной ткани и плотности фиброзных изменений [34]. С модернизацией информационных технологий появилась возможность трехмерного моделирования в КТ. Специализированная автоматизированная программа оценивает толщину стенки бронха, объем, диаметр и площадь просвета. Построение трехмерных моделей легких основывается на разнице денситометрической плотности анатомических структур. Программа способна выделить из большого количества цифровых данных область интереса в объемном её представлении. В пульмонологической практике значимость использования трехмерных моделей определяет возможность подробной демонстрации различных объёмных образований в легочной ткани. Трехмерная визуализация нарушений легочной вентиляции различного генеза, в том числе и при заболеваниях с поражением малых дыхательных путей, набирает всё большую популярность [35].

Трехмерное моделирование анализирует весь объем полученных КТ сканов (от верхушек легких до диафрагмы), производит не только визуальную, но и количественную оценку нарушений воздухонаполненности как в фазу максимального вдоха, так и в фазу максимального выдоха.

МСКТ определяет возможность прогностической оценки для пациентов с саркоидозом. Некоторые исследования объединили результаты МСКТ и физиологические переменные, которые независимо друг от друга могут прогнозировать течение болезни. B.S.Erdal et al. [36] оценивали тяжесть поражения легких у пациентов с саркоидозом с помощью КТ. Они разработали программу, определяющую степень поражения легких, которая объективно количественно определяла распространенность поражения, установили корреляцию с показателями функции внешнего дыхания (FVC, TLC и DLCO) ($p < 0,0001$ для всех сравнений).

S.L. Walsh et al. [37] предложили интегрированную клинко-радиологическую систему стадирования для быстрого прогнозирования риска саркоидоза, используя CPI (Composite Physiologic Index) – индекс переменных функции легких, который коррелирует со степенью интерстициального заболевания и измерениями МСКТ – степенью фиброза и отношения диаметра легочной артерии к диаметру восходящей аорты. Показатели были объединены в алгоритм стадирования, который оказался наиболее информативным для прогнозирования смертности, чем любая отдельная переменная по отдельности.

В исследовании T.Urbankowski et al. [38] вовлечение легких при саркоидозе оценивалось с использованием программного обеспечения с открытым исходным кодом (OsiriX Lite) для количественной оценки характеристик КТ. Они продемонстрировали, что CT-QI (количественные показатели, полученные с помощью КТ) значительно различались у пациентов с

разными стадиями саркоидоза, в частности, значение SDLR (стандартное отклонение радиоплотности легких) было значительно выше у пациентов с фиброзом легких. Более того, CT-QI коррелировал с FVC, FEV1 и TLC (общей емкостью легких). Несмотря на возможность выявления субклинических заболеваний легких и отличную корреляцию с функциональными тестами, прогностические возможности предложенных подходов не оценивались.

Значимость радиомики (термин «радиомика» относится к процессу извлечения количественных характеристик из радиологических изображений) при саркоидозе оценили только в одном исследовании. S.M.Ryan et al. [39] применили радиомические измерения, полученные при КТ высокого разрешения (КТВР) у 73 пациентов с саркоидозом, и сравнили их с функциональными тестами. Они обнаружили, что радиомные показатели значительно различались между пациентами с саркоидозом и здоровыми людьми из контрольной группы, а также достоверно коррелировали с данными функциональных методов исследования, оказавшись лучшими предикторами функциональных нарушений по сравнению с системой стадий Скаддинга.

Несмотря на ключевую роль КТВР в диагностике саркоидоза, воздействие ионизирующего излучения все еще представляет собой важный предел этого метода, который следует принимать во внимание, особенно у молодых пациентов и тех, кому требуются повторные исследования. Одним из основных рисков, связанных с радиационным воздействием, является развитие радиационно-индуцированного рака, который зависит от эффективной дозы, измеренной в зивертах (Зв). Пациенты, которые проходят ежегодную КТ грудной клетки, могут накопить более 100 мЗв облучения за свою жизнь [40, 41]. Последние достижения в технологии КТ привели к значительному снижению дозы ионизирующего излучения, благодаря внедрению низкодозовой КТ с дозой облучения от 1 до 2 мЗв и КТ сверхнизкой дозы (ULDCT) с дозой облучения < 1 мЗв [42].

МРТ – метод визуализации без излучения, когда-то считавшийся неадекватным для оценки заболеваний легких из-за плохого отношения сигнал/шум (SNR) и длительного времени сканирования, стал альтернативным методом в оценке многих заболеваний легких у детей и взрослых. Последние достижения, включая параллельную визуализацию, фазовые катушки с несколькими матрицами и методы сверхкороткого времени эхо-сигнала, привели к более высокому качеству изображения и более короткому времени сканирования – рекомендуемый стандартный протокол МРТ грудной клетки занимает около 15 минут [41, 43, 44].

T2-взвешенная визуализация чрезвычайно полезна при оценке интерстициальных заболеваний лёгких, при которых чередуются воспалительные и фиброзные изменения. Воспалительные изменения, обычно про-

являющиеся как острый альвеолит, связаны с высоким содержанием воды в тканях и, следовательно, выглядят как области с высокой интенсивностью сигнала, тогда как поражения с преобладанием фиброза будут гипоинтенсивными [43]. T2-взвешенная последовательность HASTE может демонстрировать также другие виды легочных инфильтратов, которые проявляются в виде гиперинтенсивных участков, контрастирующих на темном фоне нормальной паренхимы легких, включая скопление слизи и жидкости и воспалительное утолщение бронхов. После T2-HASTE выполняется T1-взвешенная последовательность (в аксиальной плоскости) с использованием трехмерных (3D) последовательностей градиентных эхо-сигналов (GRE) [43]. Эта последовательность особенно подходит для оценки средостения и для оценки объемных консолидаций и больших участков фиброза на вдохе, а также для обнаружения задержанного воздуха на выдохе [45]. Кроме того, должна быть получена установившаяся последовательность GRE со свободной прецессией, которая обеспечивает более короткое эхо и время сбора данных, более низкую чувствительность к артефактам движения и смешанное взвешивание контраста T2/T1. Помимо выявления легочного фиброза, матового стекла и тракционных бронхоэктазов, TrueFISP – чувствительный к потоку «белой крови» – демонстрирует высокую точность в обнаружении тромбоза легочной артерии [43]. Наконец, должны быть включены последовательности с контрастным усилением, обычно 3D-GRE, взвешенные по T1, для более четкой оценки сосудистых и прикорневых структур, плевры и твердых узелков или новообразований. Последовательности с контрастным усилением также чрезвычайно полезны – как правило, раннее усиление является индикатором активного заболевания, тогда как позднее усиление коррелирует с фиброзными аномалиями [43].

J.H.Chung et al. [45] были первыми, которые сравнили КТБР с МРТ при легочном саркоидозе, используя многопоследовательный подход. D.Brady et al. [46] оценили полезность МРТ с поздним усилением при саркоидозе, используя специфическую сегментированную последовательность импульсов turboFLASH со временем инверсии (TI), индивидуально выбранным для обнаружения сигнала пула легочной артериальной крови после введения контрастного вещества. Они обнаружили, что МРТ с поздним усилением правильно идентифицировала всех пациентов с фиброзными изменениями при саркоидозе и, более того, она значительно коррелировала с КТБР по его степени (с коэффициентом корреляции Спирмена 0,84).

Другое возможное применение МРТ – оценка саркоидоза у детей, где использование ионизирующего излучения должно быть сведено к минимуму. S.B.Gorkem et al. [47] показали, что не было статистически значимой разницы между быстрыми последовательностями МРТ легких (со средним общим временем 10±3 мин) и КТ при обнаружении торакальных результатов

($p=0,1336$, 95% CI).

МРТ позволяет достаточно точно обнаружить небольшое увеличение и некроз в лимфатических узлах средостения, что помогает в дифференциальной диагностике саркоидоза с туберкулезом [43]. Кроме того, был описан характерный признак МРТ для диагностики лимфатических узлов при саркоидозе. «Признак темных лимфатических узлов» определяется как внутренняя гипоинтенсивная область с периферической гиперинтенсивностью в пределах средостенных и/или прикорневых лимфатических узлов (относительно паравerteбральной мышцы) на изображениях T2-FSE (BLADE) и постгадолиниевых 3D-GRE (VIBE). Этот признак присутствовал почти у 49% пациентов с саркоидозом [45].

Сцинтиграфические методы исследования (перфузионная пульмоноскантинграфия с MMA-Tc-99m и позитивная пульмоноскантинграфия с цитратом Ga-67) информативны в оценке нарушения микроциркуляции легких и функции лимфатических узлов, позволяют судить о локализации, распространенности и активности воспалительного процесса, определяют фазу заболевания [48]. Положительный результат пневмоскантиграфии с цитратом Ga-67 всё же нельзя считать диагностическим критерием саркоидоза, так как повышенное накопление изотопа в лёгких и внутригрудных лимфатических узлах возможно при онкологических процессах, воспалительных заболеваниях и других гранулематозах, в том числе при туберкулезе [48].

Одним из самых информативных в ядерной медицине является относительно новый метод лучевой диагностики – позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ). ПЭТ/КТ не входит в стандартное обследование саркоидоза, но может оценивать воспалительную активность, обнаруживать внелегочные проявления заболевания, такие как поражение сердца, и оценивать реакцию на лечение. Из-за высокой стоимости и значительной дозы облучения данный метод не принят для первоначального исследования или скрининга. ПЭТ/КТ не способна отличить воспалительную лимфаденопатию от опухолевой, поэтому при случайно обнаруженной внутригрудной лимфаденопатии невозможно дифференцировать увеличенные лимфатические узлы при саркоидозе от лимфомы. Вместе с тем ПЭТ/КТ может способствовать выбору наилучшего места для биопсии, обнаруживая наиболее доступные гиперметаболические поражения. ПЭТ/КТ в силах предоставить ценную диагностическую информацию в случае необъяснимых симптомов у пациента с внелегочным поражением при саркоидозе. Изучение саркоидоза с помощью ПЭТ/КТ может способствовать оценке воспалительной активности, распространения заболевания, реакции на лечение, обнаружению неожиданного внелегочного заболевания, выбору лучшего места для биопсии и оценке воспалительной активности сердца [49].

Перспективным методом визуализации лимфатиче-

ских узлов средостения является чреспищеводное или чрестрахеобронхиальное ультразвуковое исследование. Методики позволяют наиболее точно определить размеры, структуру и особенности строения лимфатических узлов различных групп средостения. При саркоидозе лимфоузлы хорошо отграничены друг от друга, структура их изоэхогенная или гипоехогенная, кровоток атипичный, в крупных узлах довольно часто присутствуют кровеносные сосуды и септы. Тем не менее, эти признаки не позволяют достоверно определить генез изменений.

Визуализация саркоидоза – предмет большого количества публикаций, в которых подробно описываются возможности рентгенологической диагностики. Тем не менее, несмотря на успехи в методах визуализации грудной клетки и внедрение новых компьютеризированных инструментов для анализа изображений, диагностическая и прогностическая оценка саркоидоза всё еще полагается на рентгенографию. Применение некоторых известных методов диагностики, включая МРТ и КТ с низкой дозой, недостаточно изучено у пациентов с саркоидозом. Другие, более свежие методы, включая количественные методики КТ и радиомикю, показавшие свой потенциал в диагностической и прогностической оценке некоторых интерстициальных за-

болеваний лёгких, только частично были протестированы при саркоидозе [41].

Из всего вышеописанного следует, что благодаря применению в диагностике лёгочного саркоидоза современных лучевых методов исследования, открылась возможность более детально изучить характер патологических изменений в лёгких наряду с их количественной оценкой, что позволяет охарактеризовать возможные нарушения функции внешнего дыхания. На сегодняшний день лучевым методам исследования в современной пульмонологии принадлежит особая роль, определяющая диагностическую основу для определения тактики дальнейшего лечения пациентов [41].

Конфликт интересов

Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи

Conflict of interest

The author declare no conflict of interest

Источники финансирования

Исследование проводилось без участия спонсоров

Funding Sources

This study was not sponsored

ЛИТЕРАТУРА

1. Te H.S., Perlman D.M., Shenoy C., Steinberger D.J., Cogswell R.J., Roukoz H., Peterson E.J., Zhang L., Allen T.L., Bhargava M. Clinical characteristics and organ system involvement in sarcoidosis: comparison of the University of Minnesota Cohort with other cohorts // BMC Pulm. Med. 2020. Vol.20. Article number: 155. <https://doi.org/10.1186/s12890-020-01191-x>
2. Ungprasert P., Ryu J.H., Matteson E.L. Clinical manifestations, diagnosis, and treatment of sarcoidosis // Mayo Clin. Proc. Innov. Qual. Outcomes. 2019. Vol.3, №3. P.358–375. <https://doi.org/10.1016/j.mayocpiqo.2019.04.006>
3. Judson M.A. Environmental risk factors for sarcoidosis // Front. Immunol. 2020. Vol.11. Article number: 1340. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2020.01340>
4. Arkema E.V., Cozier Y.C. Epidemiology of sarcoidosis: current findings and future directions // Ther. Adv. Chronic Dis. 2018. Vol.9, №11. P.227–240. <https://doi.org/10.1177/2040622318790197>
5. Ungprasert P., Carmona E.M., Utz J.P., Ryu J.H., Crowson C.S., Matteson E.L. Epidemiology of sarcoidosis 1946-2013: A population-based study // Mayo Clin. Proc. 2016. Vol.91, №2. P.183–188. <https://doi.org/10.1016/j.mayocp.2015.10.024>
6. Hattori T., Konno S., Shijubo N., Ohmichi M., Yamaguchi T., Nishimura M. Resolution rate of pulmonary sarcoidosis and its related factors in a Japanese population // Respirology. 2017. Vol.22, №8. P.1604–1608. <https://doi.org/10.1111/resp.13105>
7. Beghè D., Dall'Asta L., Garavelli C., Pastorelli A.A., Muscarella M., Saccani G., Aiello M., Crisafulli E., Corradi M., Stacchini P., Chetta A., Bertorelli G. Sarcoidosis in an Italian province. Prevalence and environmental risk factors // PLoS One. 2017. Vol.12, №5. Article number: e0176859. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0176859>
8. Визель А.А. Саркоидоз // Респираторная медицина: руководство: в 2-х т. Т.2 / под ред. А.Г.Чучалина. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2007. С.268–281.
9. Леншин А.В., Гребенник А.Г., Каракулова О.А. Рентгенологическая структурно-функциональная диагностика саркоидоза органов дыхания // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. 2009. Вып.31. С.36–47.
10. Crouser E.D., Maier L.A., Wilson K.C., Bonham C.A., Morgenthau A.S., Patterson K.C., Abston E., Bernstein R.C., Blankstein R., Chen E.S., Culver D.A., Drake W., Drent M., Gerke A.K., Ghobrial M., Govender P., Hamzeh N., James W.E., Judson M.A., Kellermeyer L., Knight S., Koth L.L., Poletti V., Raman S.V., Tukey M.H., Westney G.E., Baughman R.P. Diagnosis and Detection of Sarcoidosis. An Official American Thoracic Society Clinical Practice Guideline // Am. J. Respir. Crit. Care Med. 2020. Vol.8, №201. P. 26–51. <https://doi.org/10.1164/rccm.202002-0251ST>
11. Визель А.А. Саркоидоз: этиология, клиника, диагностика и лечение // Казанский медицинский журнал. 2000. №1. С.66–74.

12. Jain R., Yadav D., Puranik N., Guleria R., Jin J.O. Sarcoidosis: causes, diagnosis, clinical features, and treatments // *J. Clin. Med.* 2020. Vol.9, №4. Article number: 1081. <https://doi.org/10.3390/jcm9041081>
13. Саркоидоз. Клинические рекомендации. М., 2019. URL: https://www.spulmo.ru/download/2020_klin_rek_sarkoidoz_final.pdf
14. Lynch J.P. 3rd, Ma Y.L., Koss M.N., White E.S. Pulmonary sarcoidosis // *Semin. Respir. Crit. Care Med.* 2007. Vol.28, №1. P.53–74. <https://doi.org/10.1055/s-2007-970333>
15. Nunes H., Uzunhan Y., Gille T., Lamberto C., Valeyre D., Brillet P.Y. Imaging of sarcoidosis of the airways and lung parenchyma and correlation with lung function // *Eur. Respir. J.* 2012. Vol.40, №3. P.750–765. <https://doi.org/10.1183/09031936.00025212>
16. Herráez Ortega I., Alonso Orcajo N., López González L. El "cúmulo sarcoideo". Un nuevo signo en tomografía computarizada de tórax de alta resolución [The "sarcoid cluster sign". A new sign in high resolution chest CT] // *Radiologia.* 2009. Vol.51, Iss.5. P.495–499. <https://doi.org/10.1016/j.rx.2009.05.003>
17. Akira M., Kozuka T., Inoue Y., Sakatani M. Long-term follow-up CT scan evaluation in patients with pulmonary sarcoidosis // *Chest.* 2005. Vol.127, №1. P. 185–191. <https://doi.org/10.1378/chest.127.1.185>
18. Терпигорев С.А., Сташук Г.А., Дуброва С.Э. Рентгенологическая семиотика саркоидоза // *Клиническая медицина.* 2008. Т.86, №12. С.13–18.
19. Dhagat P.K., Singh S., Jain M., Singh S.N., Sharma R.K. Thoracic sarcoidosis: Imaging with high resolution computed tomography // *J. Clin. Diagn. Res.* 2017. Vol.11, №2. P.15–18. <https://doi.org/10.7860/JCDR/2017/24165.9459>
20. Gaeta M., Blandino A., Scribano E., Minutoli F., Volta S., Pandolfo I. Computed tomography halo sign in pulmonary nodules: frequency and diagnostic value // *J. Thorac. Imaging.* 1999. Vol.14, №2. P.109–113. <https://doi.org/10.1097/00005382-199904000-00008>
21. Леншин А.В., Ильин А.В., Перельман Ю.М. Полостные формы торакального саркоидоза (обзор литературы, клинко-рентгенологические наблюдения) // *Пульмонология.* 2020. Т.30, №6. С.831–841. <https://doi.org/10.18093/0869-0189-2020-30-6-831-841>
22. Hours S., Nunes H., Kambouchner M., Uzunhan Y., Brauner M.W., Valeyre D., Brillet P.Y. Pulmonary cavitory sarcoidosis: clinico-radiologic characteristics and natural history of a rare form of sarcoidosis // *Medicine (Baltimore).* 2008. Vol.87, №3. P.142–151. <https://doi.org/10.1097/MD.0b013e3181775a73>
23. Амосов И.В., Сперанская А.А., Баранова О.П., Яковлева Н.С. Лучевая диагностика фиброзирующего саркоидоза органов дыхания // *REJR.* 2019. Т.9, №4. С.56–67. <https://doi.org/10.21569/2222-7415-2019-9-4-56-67>
24. Abehsera M., Valeyre D., Grenier P., Jailliet H., Battesti J.P., Brauner M.W. Sarcoidosis with pulmonary fibrosis: CT patterns and correlation with pulmonary function // *Am. J. Roentgenol.* 2000. Vol.174, №6. P.1751–1757. <https://doi.org/10.2214/ajr.174.6.1741751>
25. Леншин А.В., Перельман Ю.М., Ильин А.В., Игнатъева Е.А. Новые возможности компьютерной томографии в диагностике поражения плевры при саркоидозе // *Бюллетень физиологии и патологии дыхания.* 2020. Вып.7. С.17–28. <https://doi.org/10.36604/1998-5029-2020-77-17-28>
26. Jha O., Nair V., Talwar D. Hemorrhagic sarcoid pleural effusion: A rare entity // *Lung India.* 2016. Vol.33, №5. P.532–536. <https://doi.org/10.4103/0970-2113.188975>
27. Rodríguez-Núñez N., Rábade C., Valdés L. Derrame pleural sarcoideo [Sarcoid pleural effusion] // *Med. Clin. (Barc).* 2014. Vol.143, №11. P.502–507 (in Spanish). <https://doi.org/10.1016/j.medcli.2013.11.031>
28. Ziora D., Jastrzębski D., Labus Ł. Postępy w diagnostyce sarkoidozy płuc [Advances in diagnosis of pulmonary sarcoidosis] // *Pneumonol. Alergol. Pol.* 2012. Vol.80, №4. P.355–364 (in Polish).
29. Guidry C., Fricke R.G., Ram R., Pandey T., Jambhekar K. Imaging of sarcoidosis: A contemporary review // *Radiol. Clin. North Am.* 2016. Vol.54, №3. P.519–534. <https://doi.org/10.1016/j.rcl.2015.12.009>
30. Herth F.J.F., Kirby M., Sieren J., Herth J., Schirm J., Wood S., Schuhmann M. The Modern Art of Reading Computed Tomography Images of the Lungs: Quantitative CT // *Respiration.* 2018. Vol.95, №3. P.8–17. <https://doi.org/10.1159/000480435>
31. Ostridge K., Williams N.P., Kim V., Harden S., Bourne S., Clarke S.C., Aris E., Mesia-Vela S., Devaster J.M., Tuck A., Williams A., Wootton S., Staples K.J., Wilkinson T.M.A. Relationship of CT-quantified emphysema, small airways disease and bronchial wall dimensions with physiological, inflammatory and infective measures in COPD // *Respir. Res.* 2018. Vol.1, №19. Article number: 31. <https://doi.org/10.1186/s12931-018-0734-y>
32. Matsuoka S., Yamashiro T., Washko G.R., Kurihara Y., Nakajima Y., Hatabu H. Quantitative CT assessment of chronic obstructive pulmonary disease // *Radiographics.* 2010. Vol.30. P.55–66. doi: 10.1148/rg.301095110
33. Bhatt S.P. Imaging Small Airway Disease: Probabilities and Possibilities // *Ann. Am. Thorac. Soc.* 2019. Vol.16, №8. P.975–977. <https://doi.org/10.1513/AnnalsATS.201903-231ED>
34. Ильин А.В., Леншин А.В., Одириев А.Н., Перельман Ю.М. Новый метод лучевой диагностики нарушений вентилиционной функции легких посредством мультиспиральной компьютерной томографии // *Бюллетень физиологии и патологии дыхания.* 2013. Вып.47. С.41–47.

35. Nishino M., Washko G.R., Hatabu H. Volumetric expiratory HRCT of the lung: clinical applications // *Thorac. Surg. Clin.* 2010. Vol.20, №1. P.121–127. <https://doi.org/10.1016/j.thorsurg.2009.12.009>
36. Erdal B.S., Crouser E.D., Yildiz V., King M.A., Patterson A.T., Knopp M.V., Clymer B.D. Quantitative computerized two-point correlation analysis of lung CT scans correlates with pulmonary function in pulmonary sarcoidosis // *Chest*. 2012. Vol.42, №6. P.1589–1597. <https://doi.org/10.1378/chest.11-2027>
37. Walsh S.L., Wells A.U., Sverzellati N., Keir G.J., Calandriello L., Antoniou K.M., Copley S.J., Devaraj A., Maher T.M., Renzoni E., Nicholson A.G., Hansell D.M. An integrated clinicroadiological staging system for pulmonary sarcoidosis: a case-cohort study // *Lancet Respir. Med.* 2014. Vol.2, №2. P.123–130. [https://doi.org/10.1016/S2213-2600\(13\)70276-5](https://doi.org/10.1016/S2213-2600(13)70276-5)
38. Urbankowski T., Opoka L., Wojtan P., Krenke R. Assessment of lung involvement in sarcoidosis - the use of an open-source software to quantify data from computed tomography // *Sarcoidosis Vasc. Diffuse Lung Dis.* 2017. Vol.34, №4. P.315–325. <https://doi.org/10.36141/svldl.v34i4.6708>
39. Ryan S.M., Fingerlin T.E., Mroz M., Barkes B., Hamzeh N., Maier L.A., Carlson N.E. Radiomic measures from chest high-resolution computed tomography associated with lung function in sarcoidosis // *Eur. Respir. J.* 2019. Vol.54, №2. Article number: 1900371. <https://doi.org/10.1183/13993003.00371-2019>
40. Ley S., Fidler L., Schenk H., Durand M., Marras T., Paul N., Shapera S., Mittoo S. Low dose computed tomography of the lung for detection and grading of interstitial lung disease: A systematic simulation study // *Pulmonology*. 2021. Vol.27, №1. P.14–25. <https://doi.org/10.1016/j.pulmoe.2020.06.004>
41. Calandriello L., D'Abronzio R., Pasciuto G., Cicchetti G., Del Ciello A., Farchione A., Strappa C., Manfredi R., Larici A.R. Novelties in imaging of thoracic sarcoidosis // *J. Clin. Med.* 2021. Vol.10, №11. Article number: 2222. <https://doi.org/10.3390/jcm10112222>
42. Hata A., Yanagawa M., Honda O., Miyata T., Tomiyama N. Ultra-low-dose chest computed tomography for interstitial lung disease using model-based iterative reconstruction with or without the lung setting // *Medicine (Baltimore)*. 2019. Vol.98, №22. Article number: e15936. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000015936>
43. Lonzetti L., Zanon M., Pacini G.S., Altmayer S., Martins de Oliveira D., Rubin A.S., Gazzoni F.F., Barros M.C., Hochegger B. Magnetic resonance imaging of interstitial lung diseases: A state-of-the-art review // *Respir. Med.* 2019. Vol.155. P.79–85. <https://doi.org/10.1016/j.rmed.2019.07.006>
44. Romei C., Turturici L., Tavanti L., Miedema J., Fiorini S., Marletta M., Wielopolski P., Tiddens H., Falaschi F., Ciet P. The use of chest magnetic resonance imaging in interstitial lung disease: a systematic review // *Eur. Respir. Rev.* 2018. Vol.27, №150. Article number: 180062. <https://doi.org/10.1183/16000617.0062-2018>
45. Chung J.H., Little B.P., Forssen A.V., Yong J., Nambu A., Kazlouski D., Puderbach M., Biederer J., Lynch D.A. Proton MRI in the evaluation of pulmonary sarcoidosis: comparison to chest CT // *Eur. J. Radiol.* 2013. Vol.82, №12. P.2378–2385. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2013.08.019>
46. Brady D., Lavelle L.P., McEvoy S.H., Murphy D.J., Gallagher A., Gibney B., Butler M.W., Shortt F., McMullan M., Fabre A., Lynch D.A., Abbara S., Donnelly S.C., Dodd J.D. Assessing fibrosis in pulmonary sarcoidosis: late-enhanced MRI compared to anatomic HRCT imaging // *QJM*. 2016. Vol.109, №4. P.257–264. <https://doi.org/10.1093/qjmed/hcv200>
47. Gorkem S.B., Köse S., Lee E.Y., Doğanay S., Coskun A.S., Köse M. Thoracic MRI evaluation of sarcoidosis in children // *Pediatr. Pulmonol.* 2017. Vol.52, №4. P.494–499. <https://doi.org/10.1002/ppul.23614>
48. Чучалин А.Г., Визель А.А., Илькович М.М., Авдеев С.Н., Амиров Н.Б., Баранова О.П., Борисов С.Е., Визель И.Ю., Ловачева О.В., Овсянников Н.В., Петров Д.В., Романов В.В., Самсонова М.В., Соловьева И.П., Степанян И.Э., Тюрин И.Е., Черняев А.Л., Шмелев Е.И., Шмелева Н.М. Диагностика и лечение саркоидоза: резюме федеральных согласительных клинических рекомендаций (Часть II. Диагностика, лечение, прогноз) // *Вестник современной клинической медицины*. 2014. Т.7, №5. С.73–81. [https://doi.org/10.20969/vskm.2014.7\(5\).73-81](https://doi.org/10.20969/vskm.2014.7(5).73-81)
49. Barahona Z.D. Cuando solicitar PET/CT en la evaluación de sarcoidosis? [When should a PET/CT be requested in sarcoidosis?] // *Rev. Med. Chil.* 2019. Vol.147, №10. P.1308–1314 (in Spanish). <https://doi.org/10.4067/s0034-98872019001001308>

REFERENCES

1. Te H.S., Perlman D.M., Shenoy C., Steinberger D.J., Cogswell R.J., Roukoz H., Peterson E.J., Zhang L., Allen T.L., Bhargava M. Clinical characteristics and organ system involvement in sarcoidosis: comparison of the University of Minnesota Cohort with other cohorts. *BMC Pulm. Med.* 2020; 20:155. <https://doi.org/10.1186/s12890-020-01191-x>
2. Ungprasert P., Ryu J.H., Matteson E.L. Clinical manifestations, diagnosis, and treatment of sarcoidosis. *Mayo Clin. Proc. Innov. Qual. Outcomes* 2019; 3(3):358–375. <https://doi.org/10.1016/j.mayocpiqo.2019.04.006>
3. Judson M.A. Environmental risk factors for sarcoidosis. *Front. Immunol.* 2020; 11:1340. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2020.01340>
4. Arkema E.V., Cozier Y.C. Epidemiology of sarcoidosis: current findings and future directions. *Ther. Adv. Chronic Dis.* 2018; 9(11):227–240. <https://doi.org/10.1177/2040622318790197>

5. Ungprasert P., Carmona E.M., Utz J.P., Ryu J.H., Crowson C.S., Matteson E.L. Epidemiology of sarcoidosis 1946-2013: A population-based study. *Mayo Clin. Proc.* 2016; 91(2):183–188. <https://doi.org/10.1016/j.mayocp.2015.10.024>
6. Hattori T., Konno S., Shijubo N., Ohmichi M., Yamaguchi T., Nishimura M. Resolution rate of pulmonary sarcoidosis and its related factors in a Japanese population. *Respirology* 2017; 22(8):1604–1608. <https://doi.org/10.1111/resp.13105>
7. Beghè D., Dall'Asta L., Garavelli C., Pastorelli A.A., Muscarella M., Saccani G., Aiello M., Crisafulli E., Corradi M., Stacchini P., Chetta A., Bertorelli G. Sarcoidosis in an Italian province. Prevalence and environmental risk factors. *PLoS One* 2017; 12(5):e0176859. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0176859>
8. Vizel' AA. Sarcoidosis. In: Chuchalin A.G., editor. Respiratory medicine: manual. Vol.2. Moscow: GEOTAR-Media; 2007: 268–281 (in Russian).
9. Lenshin A.V., Grebennik A.G., Karakulova O.A. Roentgenological structural-functional diagnostics of airway sarcoidosis. *Бүллетен' физиологии i patologii dyhaniâ = Bulletin Physiology and Pathology of Respiration* 2009; (31): 36–47 (in Russian).
10. Crouser E.D., Maier L.A., Wilson K.C., Bonham C.A., Morgenthau A.S., Patterson K.C., Abston E., Bernstein R.C., Blankstein R., Chen E.S., Culver D.A., Drake W., Drent M., Gerke A.K., Ghobrial M., Govender P., Hamzeh N., James W.E., Judson M.A., Kellermeyer L., Knight S., Koth L.L., Poletti V., Raman S.V., Tukey M.H., Westney G.E., Baughman R.P. Diagnosis and Detection of Sarcoidosis. An Official American Thoracic Society Clinical Practice Guideline. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 2020; 201(8):e26–e51. <https://doi.org/10.1164/rccm.202002-0251ST>
11. Vizel A.A. Sarcoidosis: etiology, clinical presentation, diagnosis and treatment. *Kazanskij medicinskij zhurnal* 2000; (1):66–74 (in Russian).
12. Jain R., Yadav D., Puranik N., Guleria R., Jin J.O. Sarcoidosis: Causes, Diagnosis, Clinical Features, and Treatments. *J. Clin. Med.* 2020;9(4):1081. <https://doi.org/10.3390/jcm9041081>
13. Sarcoidosis. Clinical recommendations. Moscow; 2019. Available at: https://www.spulmo.ru/download/2020_klin_rek_sarkoidoz_final.pdf (in Russian).
14. Lynch J.P. 3rd, Ma Y.L., Koss M.N., White E.S. Pulmonary sarcoidosis. *Semin. Respir. Crit. Care Med.* 2007; 28(1):53–74. <https://doi.org/10.1055/s-2007-970333>
15. Nunes H., Uzunhan Y., Gille T., Lamberto C., Valeyre D., Brillet P.Y. Imaging of sarcoidosis of the airways and lung parenchyma and correlation with lung function. *Eur. Respir. J.* 2012; 40(3):750–765. <https://doi.org/10.1183/09031936.00025212>
16. Herráez Ortega I., Alonso Orcajo N., López González L. El "cúmulo sarcoideo". Un nuevo signo en tomografía computarizada de tórax de alta resolución [The "sarcoid cluster sign". A new sign in high resolution chest CT]. *Radiologia* 2009; 51(5):495–499 (in Spanish). <https://doi.org/10.1016/j.rx.2009.05.003>
17. Akira M., Kozuka T., Inoue Y., Sakatani M. Long-term follow-up CT scan evaluation in patients with pulmonary sarcoidosis. *Chest* 2005; 127(1):185–191. <https://doi.org/10.1378/chest.127.1.185>
18. Terpigorev SA, Stashuk GA, Dubrova SE. Roentgenological semiotics of sarcoidosis. *Klin. Med. (Mosk)*. 2008; 86(12):13–18 (in Russian).
19. Dhagat P.K., Singh S., Jain M., Singh S.N., Sharma R.K. Thoracic Sarcoidosis: Imaging with High Resolution Computed Tomography. *J. Clin. Diagn. Res.* 2017; 11(2):TC15–TC18. <https://doi.org/10.7860/JCDR/2017/24165.9459>
20. Gaeta M., Blandino A., Scribano E., Minutoli F., Volta S., Pandolfo I. Computed tomography halo sign in pulmonary nodules: frequency and diagnostic value. *J. Thorac. Imaging* 1999; 14(2):109–113. <https://doi.org/10.1097/00005382-199904000-00008>
21. Lenshin A.V., Il'in A.V., Perelman J.M. Cavity forms of thoracic sarcoidosis (literature review, clinical and radiological observations). *Pulmonologiya* 2020;30(6):831–841 (in Russian). <https://doi.org/10.18093/0869-0189-2020-30-6-831-841>
22. Hours S., Nunes H., Kambouchner M., Uzunhan Y., Brauner M.W., Valeyre D., Brillet P.Y. Pulmonary cavitory sarcoidosis: clinico-radiologic characteristics and natural history of a rare form of sarcoidosis. *Medicine (Baltimore)* 2008; 87(3):142–151. <https://doi.org/10.1097/MD.0b013e3181775a73>
23. Amosov I.V., Speranskaia A.A., Baranova O.P., Yakovleva N.S., Zolotnitskaia V.P. Radiological diagnosis of fibrosing sarcoidosis of the respiratory organs. *REJR* 2019; 9(4):56–67 (in Russian). <https://doi.org/10.21569/2222-7415-2019-9-4-56-67>
24. Abehsera M., Valeyre D., Grenier P., Jaillet H., Battesti J.P., Brauner M.W. Sarcoidosis with pulmonary fibrosis: CT patterns and correlation with pulmonary function. *Am. J. Roentgenol.* 2000; 174(6):1751–1757. <https://doi.org/10.2214/ajr.174.6.1741751>
25. Lenshin AV, Perelman JM, Il'in AV, Ignat'eva EA. New opportunities of computer tomography in diagnostics of pleural lesion in sarcoidosis. *Бүллетен' физиологии i patologii dyhaniâ = Bulletin Physiology and Pathology of Respiration* 2020; (77):17–28 (in Russian). <https://doi.org/10.36604/1998-5029-2020-77-17-28>
26. Jha O., Nair V., Talwar D. Hemorrhagic sarcoid pleural effusion: A rare entity. *Lung India* 2016; 33(5):532–536. <https://doi.org/10.4103/0970-2113.188975>

27. Rodríguez-Núñez N., Rábade C., Valdés L. Derrame pleural sarcoideo [Sarcoid pleural effusion]. *Med. Clin. (Barc)*. 2014; 143(11):502–507 (in Spanish). <https://doi.org/10.1016/j.medcli.2013.11.031>
28. Ziora D., Jastrzębski D., Labus Ł. Postępy w diagnostyce sarkoidozy płuc [Advances in diagnosis of pulmonary sarcoidosis]. *Pneumonol. Alergol. Pol.* 2012; 80(4):355–364 (in Polish).
29. Guidry C., Fricke R.G., Ram R., Pandey T., Jambhekar K. Imaging of Sarcoidosis: A Contemporary Review. *Radiol. Clin. North Am.* 2016; 54(3):519–534. <https://doi.org/10.1016/j.rcl.2015.12.009>
30. Herth F.J.F., Kirby M., Sieren J., Herth J., Schirm J., Wood S., Schuhmann M. The Modern Art of Reading Computed Tomography Images of the Lungs: Quantitative CT. *Respiration* 2018; 95(1):8–17. <https://doi.org/10.1159/000480435>
31. Ostridge K., Williams N.P., Kim V., Harden S., Bourne S., Clarke S.C., Aris E., Mesia-Vela S., Devaster J.M., Tuck A., Williams A., Wootton S., Staples K.J., Wilkinson T.M.A. Relationship of CT-quantified emphysema, small airways disease and bronchial wall dimensions with physiological, inflammatory and infective measures in COPD. *Respir. Res.* 2018; 19(1):31. <https://doi.org/10.1186/s12931-018-0734-y>
32. Matsuoka S., Yamashiro T., Washko G.R., Kurihara Y., Nakajima Y., Hatabu H. Quantitative CT assessment of chronic obstructive pulmonary disease. *Radiographics* 2010; 30:55–66. <https://doi.org/10.1148/rg.301095110>
33. Bhatt S.P. Imaging Small Airway Disease: Probabilities and Possibilities. *Ann. Am. Thorac. Soc.* 2019; 16(8):975–977. <https://doi.org/10.1513/AnnalsATS.201903-231ED>
34. Il'in A.V., Lenshin A.V., Odireev A.N., Perelman J.M. New method of x-ray diagnostics of disturbances of lungs ventilation function by multidetector computed tomography. *Бюллетень физиологии и патологии дыхания = Bulletin Physiology and Pathology of Respiration* 2013; (47):40–47 (in Russian).
35. Nishino M., Washko G.R., Hatabu H. Volumetric expiratory HRCT of the lung: clinical applications. *Thorac. Surg. Clin.* 2010; 20(1):121–127, viii–ix. <https://doi.org/10.1016/j.thorsurg.2009.12.009>
36. Erdal B.S., Crouser E.D., Yildiz V., King M.A., Patterson A.T., Knopp M.V., Clymer B.D. Quantitative computerized two-point correlation analysis of lung CT scans correlates with pulmonary function in pulmonary sarcoidosis. *Chest* 2012; 142(6):1589–1597. <https://doi.org/10.1378/chest.11-2027>
37. Walsh S.L., Wells A.U., Sverzellati N., Keir G.J., Calandriello L., Antoniou K.M., Copley S.J., Devaraj A., Maher T.M., Renzoni E., Nicholson A.G., Hansell D.M. An integrated clinicroadiological staging system for pulmonary sarcoidosis: a case-cohort study. *Lancet Respir. Med.* 2014; 2(2):123–130. [https://doi.org/10.1016/S2213-2600\(13\)70276-5](https://doi.org/10.1016/S2213-2600(13)70276-5)
38. Urbankowski T., Opoka L., Wojtan P., Krenke R. Assessment of lung involvement in sarcoidosis - the use of an open-source software to quantify data from computed tomography. *Sarcoidosis Vasc. Diffuse Lung Dis.* 2017; 34(4):315–325. <https://doi.org/10.36141/svdl.v34i4.6708>
39. Ryan S.M., Fingerlin T.E., Mroz M., Barkes B., Hamzeh N., Maier L.A., Carlson N.E. Radiomic measures from chest high-resolution computed tomography associated with lung function in sarcoidosis. *Eur. Respir. J.* 2019; 54(2):1900371. <https://doi.org/10.1183/13993003.00371-2019>
40. Ley S., Fidler L., Schenk H., Durand M., Marras T., Paul N., Shapera S., Mittoo S. Low dose computed tomography of the lung for detection and grading of interstitial lung disease: A systematic simulation study. *Pulmonology* 2021; 27(1):14–25. <https://doi.org/10.1016/j.pulmoe.2020.06.004>
41. Calandriello L., D'Abronzio R., Pasciuto G., Cicchetti G., Del Ciello A., Farchione A., Strappa C., Manfredi R., Larici A.R. Novelty in Imaging of Thoracic Sarcoidosis. *J. Clin. Med.* 2021; 10(11):2222. <https://doi.org/10.3390/jcm10112222>
42. Hata A., Yanagawa M., Honda O., Miyata T., Tomiyama N. Ultra-low-dose chest computed tomography for interstitial lung disease using model-based iterative reconstruction with or without the lung setting. *Medicine (Baltimore)* 2019; 98(22):e15936. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000015936>
43. Lonzetti L., Zanon M., Pacini G.S., Altmayer S., Martins de Oliveira D., Rubin A.S., Gazzoni F.F., Barros M.C., Hochhegger B. Magnetic resonance imaging of interstitial lung diseases: A state-of-the-art review. *Respir. Med.* 2019; 155:79–85. <https://doi.org/10.1016/j.rmed.2019.07.006>
44. Romei C., Turturici L., Tavanti L., Miedema J., Fiorini S., Marletta M., Wielopolski P., Tiddens H., Falaschi F., Ciet P. The use of chest magnetic resonance imaging in interstitial lung disease: a systematic review. *Eur. Respir. Rev.* 2018; 27(150):180062. <https://doi.org/10.1183/16000617.0062-2018>
45. Chung J.H., Little B.P., Forssen A.V., Yong J., Nambu A., Kazlouski D., Puderbach M., Biederer J., Lynch D.A. Proton MRI in the evaluation of pulmonary sarcoidosis: comparison to chest CT. *Eur. J. Radiol.* 2013; 82(12):2378–2385. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2013.08.019>
46. Brady D., Lavelle L.P., McEvoy S.H., Murphy D.J., Gallagher A., Gibney B., Butler M.W., Shortt F., McMullan M., Fabre A., Lynch D.A., Abbara S., Donnelly S.C., Dodd J.D. Assessing fibrosis in pulmonary sarcoidosis: late-enhanced MRI compared to anatomic HRCT imaging. *QJM* 2016; 109(4):257–264. <https://doi.org/10.1093/qjmed/hcv200>
47. Gorkem S.B., Köse S., Lee E.Y., Doğanay S., Coskun A.S., Köse M. Thoracic MRI evaluation of sarcoidosis in children. *Pediatr. Pulmonol.* 2017; 52(4):494–499. <https://doi.org/10.1002/ppul.23614>

48. Chuchalin A.G., Vizel A.A., Ilkovich M.M., Avdeev S.N., Amirov N.B., Baranova O.P., Borisov S.E., Vizel I.Yu., Lovacheva O.V., Ovsyannikov N.V., Petrov D.V., Romanov V.V., Samsonova M.V., Solovyeva I.P., Stepanian I.Yu., Tyurin I.E., Cherniayev A.L., Shmelev E.I., Shmeleva N.M. Diagnosis and treatment of sarcoidosis: summary of federal conciliatory clinical recommendations (Part II. Diagnosis, Treatment, Prognosis). *The Bulletin of Contemporary Clinical Medicine* 2014; 7(5):73–81 (in Russian). [https://doi.org/10.20969/vskm.2014.7\(5\).73-81](https://doi.org/10.20969/vskm.2014.7(5).73-81)

49. Barahona ZD. Cuando solicitar PET/CT en la evaluación de sarcoidosis? [When should a PET/CT be requested in sarcoidosis?]. *Rev. Med. Chil.* 2019; 147(10):1308–1314 (in Spanish). <https://doi.org/10.4067/s0034-98872019001001308>

Информация об авторе:

Елена Александровна Игнатьева, аспирант лаборатории функциональных методов исследования дыхательной системы, врач-рентгенолог, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Дальневосточный научный центр физиологии и патологии дыхания»; e-mail: ignatyevalena6618@gmail.com

Author information:

Elena A. Ignat'eva, MD, Postgraduate Student of the Laboratory of Functional Research of Respiratory System, Roentgenologist, Far Eastern Scientific Center of Physiology and Pathology of Respiration; e-mail: ignatyevalena6618@gmail.com

Поступила 12.11.2021
Принята к печати 06.12.2021

Received November 12, 2021
Accepted December 06, 2021

Подписано к печати 20.12.2021. Дата выхода из печати 29.12.2021. Дата выхода в свет: 29.12.2021. Сверстано в ДНЦ ФПД, отпечатано в типографии ООО "Издательско-полиграфический комплекс ОДЕОН", г. Благовещенск, ул. Вокзальная, 75. Формат 60x84 1/8. Усл. печ. л. 18,3. Тираж 500 экз. Учредитель и издатель журнала Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Дальневосточный научный центр физиологии и патологии дыхания". Адрес издателя: 675000, г. Благовещенск, ул. Калинина, 22. Телефон (факс) 77-28-00. Главный редактор академик РАН В.П. Колосов. Ответственный за выпуск д.м.н. А.Н. Одириев. Свободная цена.