



Очаговые артефакты и внеорганные находки при перфузионной сцинтиграфии легких

Мионов С.П., Бугрий М.Е., Сергиенко В.Б.

Научно-исследовательский институт клинической кардиологии им. А.Л. Мясникова ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр кардиологии им. академика Е.И. Чазова» Минздрава России, ул. Академика Чазова, 15а, Москва, 121552, Российская Федерация

Мионов Сергей Петрович, д. м. н., профессор, врач-радиолог лаборатории радиоизотопной диагностики и терапии отдела радионуклидной диагностики и позитронно-эмиссионной томографии Научно-исследовательского института клинической кардиологии им. А.Л. Мясникова ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр кардиологии им. академика Е.И. Чазова» Минздрава России;
<https://orcid.org/0000-0002-8373-0505>

Бугрий Михаил Евгеньевич, заведующий позитронно-эмиссионной лабораторией отдела радионуклидной диагностики и позитронно-эмиссионной томографии Научно-исследовательского института клинической кардиологии им. А.Л. Мясникова ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр кардиологии им. академика Е.И. Чазова» Минздрава России;
<https://orcid.org/0000-0002-2390-0883>

Сергиенко Владимир Борисович, д. м. н., профессор, советник отдела координации научных, лечебных и учебных программ ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр кардиологии им. академика Е.И. Чазова» Минздрава России;
<https://orcid.org/0000-0002-0487-6902>

Резюме

Цель: уточнить и систематизировать причины очаговых и внеорганных артефактов, способных выполнять роль диагностических «ловушек» при перфузионной сцинтиграфии легких с ^{99m}Tc -макроагрегатом альбумина (МАО), их семиотику, принципы и приемы дифференциации от патологических изменений.

Материал и методы. Проанализированы результаты перфузионной сцинтиграфии легких у 1025 пациентов, обследованных для исключения тромбоза легочной артерии (ТЭЛА) или тромбоза легочного фактора в генезе диагностированной легочной гипертензии. Исследование выполнялось в мультипланарном режиме на двухдетекторных однофотонных эмиссионных компьютерных томографах (ОФЭКТ) в положении больного лежа на спине через 4–5 мин после внутривенного введения радиофармпрепарата (РФП) активностью 111–148 МБк. Изображения легких регистрировали в шести проекциях, включающих переднюю, заднюю и четыре косые. При необходимости выполняли досмотр в режиме совмещенной ОФЭКТ/КТ. Термином «артефакт» обозначили одиночные дефекты перфузии, имитирующие ТЭЛА, а также внелегочные находки схожие с признаками право-левого шунта.

Результаты. Артефактные сцинтиграфические находки, соответствующие вышеописанным критериям, констатированы у 634 (61,8%) пациентов. Очаговые изменения (n=618) по характеру сцинтиграфической манифестации разделены на «холодные» и «горячие». Одиночные «холодные» (n=611) очаги чаще всего были следствием «экранирующего» эффекта измененных анатомических структур (сердце – 493, ствол легочной артерии – 72, плевральный выпот и высокое стояние диафрагмы – 41), а также имплантированного кардиостимулятора (n=5). «Горячие» очаги (n=7) из-за их высокой удельной радиоактивности маскировали тромбозоэмболические дефекты перфузии. Основная причина подобного артефакта – попадание крови в шприц с ^{99m}Tc -МАО во время внутривенного введения РФП. Внелегочные признаки право-левого шунта отмечены у 14 больных с врожденными пороками сердца и характеризовались сочетанной визуализацией почек и других органов большого круга кровообращения (селезенка, печень, щитовидная железа). Причиной артефактной визуализации кишечника (n=2) была остаточная радиоактивность после предшествующей перфузионной сцинтиграфии миокарда с ^{99m}Tc -метокси-изобутил-изонитрилом.

Заключение. Анализ причин формирования очаговых и внеорганных артефактных находок при перфузионной сцинтиграфии легких и связанных с ними диагностических и интерпретационных «ловушек» позволит сформировать адекватную стратегию контроля качества для минимизации ложноположительной трактовки ТЭЛА и системно-легочных шунтов.

Ключевые слова: перфузионная сцинтиграфия легких; ^{99m}Tc -макроагрегат альбумина; очаговые и внеорганные артефакты; диагностические ловушки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Мионов С.П., Бугрий М.Е., Сергиенко В.Б. Очаговые артефакты и внеорганные находки при перфузионной сцинтиграфии легких. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2026; 107(1): 6–16. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2026-107-1-6-16>

Для корреспонденции: Миронов Сергей Петрович, e-mail: msp1942@yandex.ru

Статья поступила 06.03.2026

После доработки 30.03.2026

Принята к печати 31.03.2026

Focal Artifacts and Extraorgan Findings in Pulmonary Perfusion Scintigraphy

Sergey P. Mironov, Mikhail E. Bugriy, Vladimir B. Sergienko

Myasnikov Institute of Clinical Cardiology, National Medical Research Center for Cardiology, ul. Akademika Chazova, 15a, Moscow, 121552, Russian Federation

Sergey P. Mironov, Dr. Med. Sc., Professor, Radiologist, Laboratory of Radioisotope Diagnostics and Therapy, Department of Radionuclide Diagnostics and Positron Emission Tomography, Myasnikov Institute of Clinical Cardiology, National Medical Research Center for Cardiology;

<https://orcid.org/0000-0002-8373-0505>

Mikhail E. Bugriy, Head of Positron Emission Laboratory, Department of Radionuclide Diagnostics and Positron Emission Tomography, Myasnikov Institute of Clinical Cardiology, National Medical Research Center for Cardiology;

<https://orcid.org/0000-0002-2390-0883>

Vladimir B. Sergienko, Dr. Med. Sc., Professor, Advisor, Department of Coordination of Scientific, Medical and Educational Programs, Myasnikov Institute of Clinical Cardiology, National Medical Research Center for Cardiology;

<https://orcid.org/0000-0002-0487-6902>

Abstract

Objective: to clarify and systematize the causes of focal and non-organ artifacts capable of acting as diagnostic pitfalls in lung perfusion scintigraphy using ^{99m}Tc macroaggregated albumin (MAA), as well as their semiotics, principles, and methods for differentiating from pathological changes.

Material and methods. The outcomes of lung perfusion scintigraphy were analyzed in 1,025 patients who underwent examinations to rule out pulmonary embolism (PE) or thromboembolic factors contributing to diagnosed pulmonary hypertension. The procedure was carried out in a multiplanar mode using two-detector single-photon emission computed tomography (SPECT) scanners while the patient was lying supine, 4–5 minutes after intravenous injection of a radiopharmaceutical (RPh) with an activity level of 111–148 MBq. Lung images were captured in six projections, including anterior, posterior, and four oblique planes. If required, additional screening was performed in combined SPECT/CT mode. The term “artifact” was used to describe isolated perfusion defects that simulate PE, as well as extrapulmonary findings resembling signs of a right-to-left shunt.

Results. Artefact scintigraphic findings corresponding to the above criteria were found in 634 (61.8%) patients. Focal changes (n=618) were classified into “cold” and “hot” based on their scintigraphic presentation. Single “cold” lesions (n=611) were most commonly due to the shielding effect of altered anatomical structures (heart – 493, pulmonary artery trunk – 72, pleural effusion and elevated diaphragm – 41), as well as implanted pacemakers (n=5). “Hot spot” (n=7) obscured thromboembolic perfusion defects because of their high specific radioactivity. The main reason for this artifact is blood ingress into a syringe with ^{99m}Tc -MAA during intravenous administration of RPh. Extrapulmonary signs of right-to-left shunt were observed in 14 patients with congenital heart defects and were characterized by concurrent visualization of the kidneys and other organs in the systemic circulation (spleen, liver, thyroid gland). The reason for artefactual intestinal imaging (n=2) was residual radioactivity following prior myocardial perfusion scintigraphy with ^{99m}Tc methoxyisobutyl-isonitrile.

Conclusion. Examining the reasons behind the occurrence of focal and extra-organ artifact findings in lung perfusion scintigraphy, as well as associated diagnostic and interpretive pitfalls, will enable the development of an appropriate quality control strategy to reduce the likelihood of false-positive interpretations of PE and systemic pulmonary shunts.

Keywords: lung perfusion scintigraphy; ^{99m}Tc macroaggregated albumin; focal and extraorgan artifacts; diagnostic pitfalls.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

For citation: Mironov SP, Bugriy ME, Sergienko VB. Focal artifacts and extraorgan findings in pulmonary perfusion scintigraphy. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2026; 107(1): 6–16 (in Russian). <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2026-107-1-6-16>

For corresponding: Sergey P. Mironov, e-mail: msp1942@yandex.ru

Received March 6, 2026

Revised March 30, 2026

Accepted March 31, 2026

Введение / Introduction

Перфузионная сцинтиграфия легких (ПСЛ) – радионуклидный метод изучения легочного кровообращения, предусматривающий использование меченых белковых радиоактивных частиц, диаметр которых больше минимального просвета легочных капилляров. В его основе лежит временная эмболизация капиллярного русла легких после внутривенного введения радиофармпрепаратов (РФП) на основе меченых микросфер или макроагрегатов альбумина (МАО) человеческой сыворотки. Размеры вводимых частиц составляют 10–40 мкм, что превышает диаметр прекапиллярных артериол (20–25 мкм) или капилляров легких (8–10 мкм). В силу этого уже при первом прохождении эмболизируется примерно 0,1–0,3% объема капилляров, что достаточно для картирования капиллярной сети легких. При тромбоемболии легочной артерии (ТЭЛА) меченые частицы не проникают в капиллярную сеть пораженных участков легкого, которые вследствие этого визуализируются на сцинтиграммах в виде дефектов перфузии [1].

Способность радиоактивных частиц вызывать диффузную микроэмболизацию легочных капилляров при их внутривенном или внутриартериальном введении начали использовать в 1950-е гг. прошлого века для лечения злокачественных новообразований легких [2, 3]. В эксперименте и в клинике была применена суспензия из радиоактивного коллоидного золота (^{198}Au), адсорбированного на частицах активированного угля диаметром 30–50 мкм. Позднее для этих целей и детекции эмболии легочной артерии были предложены жировая эмульсия, тиюрацил, тиомочевина, которые не подходили для использования в клинике в силу неприемлемых радиационно-гигиенических характеристик радиоактивных меток, а также потенциальной способности вызывать повреждение головного мозга и почек при сердечных или легочных шунтах. Разработка суспензий МАО-1311, определение оптимального размера, при котором агрегаты альбумина будут с высокой эффективностью улавливаться при первом прохождении через легочное артериально-капиллярное русло и удерживаться там в течение времени, достаточного для сканирования легких, начались в Лаборатории ядерной медицины Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе в 1963 г. [4]. Основные недостатки и ограничения в использовании МАО, меченных йодом-131, касались высокой лучевой нагрузки, обусловленной высокой энергией гамма-излучения (360 кэВ), длительным (8 дней) периодом полураспада, а также необходимостью предварительной медикаментозной блокады щитовидной железы (ЩЖ). В середине – конце 1960-х гг. в клиническую практику вошли РФП, меченные короткоживущим технецием-99m. Была

разработана технология получения РФП непосредственно в лечебном учреждении, заключающаяся в добавлении смываемого генераторного $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -пертехнетата к уже готовым, но нерадиоактивным МАО, поставляемым в стандартном наборе. Макроагрегаты в таком РФП отличались высокой стабильностью, а низкоэнергетическое (140 кэВ) излучение радиоактивной метки и ее короткий (6 ч) период полураспада позволяли при низкой лучевой нагрузке получать высококачественные сцинтиграфические изображения [5].

Следует подчеркнуть, что, несмотря на бурное развитие новых технологий и средств инструментальной, в том числе радионуклидной, визуализации, ПСЛ остается важным компонентом обследования пациентов с подозрением на ТЭЛА в силу простоты и доступности выполнения, а также высокой надежности сцинтиграфических критериев исключения этой патологии. В формулировке «вентиляционно-перфузионная сцинтиграфия» ПСЛ включена в дифференциально-диагностический алгоритм и стандарт обследования пациентов с различными формами легочной гипертензии (ЛГ) с целью верификации 4-й группы ЛГ – хронической тромбоемболической ЛГ (ХТЭЛГ) [6, 7]. Ведущий признак очаговой легочной патологии независимо от его причины – одиночные или множественные дефекты перфузии различной формы и размеров, поиск и анализ которых составляют основу сцинтиграфической диагностики ТЭЛА. Неизменная сцинтиграфическая картина позволяет исключить ТЭЛА из дальнейшего поиска уже на раннем этапе диагностики. По данным проспективного многоцентрового исследования PIOPED (Prospective Investigation of Pulmonary Embolism Diagnosis), чувствительность и специфичность перфузионного исследования в смешанной группе вероятностных категорий ТЭЛА составляют 96% и 10% соответственно [8]. Высокая чувствительность предполагает минимальную частоту (4%) ложноотрицательных результатов, в то время как низкая специфичность обуславливает высокую вероятность ложноположительных находок. Одной из причин подобных интерпретационных ошибок могут быть артефактные очаговые и внеорганные находки, своеобразные диагностические «ловушки» перфузионного сцинтиграфического изображения с $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -МАО.

К очаговым артефактам в контексте задач ПСЛ мы относили одиночные локальные зоны аномального распределения РФП, имитирующие перфузионные изменения, ассоциируемые с ТЭЛА. К внелегочным артефактам относили находки, схожие с признаками системно-легочного шунтирования справа налево. Причинами артефактного накопления РФП могут быть инструментальные, радиофармацевтические, методические и клинические

факторы [9]. Артефактные находки при ПСЛ, как и связанные с ними диагностические «ловушки», периодически анализируются в зарубежных публикациях [10, 11], но, за исключением единичных наблюдений, не освещены в отечественной литературе [12, 13].

Цель – уточнить и систематизировать причины очаговых и внеорганных артефактов, способных выполнять роль диагностических «ловушек» при перфузионной сцинтиграфии легких с ^{99m}Tc -МАО, их семиотику, принципы и приемы дифференциации от патологических изменений.

Материал и методы / Material and methods

Проведен ретроспективный анализ последовательных радионуклидных перфузионных исследований легких, выполненных в период 2020–2025 гг. 1025 пациентам в возрасте от 23 до 80 лет, находившимся на обследовании и лечении в клинических отделениях ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр кардиологии им. академика Е.И. Чазова» Минздрава России и направленным на ПСЛ для исключения ТЭЛА или уточнения тромбоэмболического фактора в генезе диагностированной ЛГ. Дополнительной задачей ПСЛ являлась оценка наличия или отсутствия сцинтиграфических признаков сброса РФП в большой круг кровообращения – право-левого шунтирования.

ПСЛ в режиме планарного исследования выполняли по стандартному протоколу на двухдетекторных однофотонных эмиссионных компьютерных томографах (ОФЭКТ) BrightView XCT и SkyLight (Philips, Нидерланды). Использовали низкоэнергетический высокоразрешающий коллиматор. В качестве РФП применяли ^{99m}Tc -МАО (Макротех – ООО «Диамед», Россия). Время от приготовления РФП до начала процедуры не превышало 1–1,5 ч.

Исследование проводили в положении пациента лежа на спине через 4–5 мин после внутривенного введения РФП активностью 111–148 МБк в положении сидя. Руки пациента располагались за головой, чтобы исключить их экранирующее влияние в косых проекциях. Изображения легких регистрировались одновременно двумя детекторами в двух прямых (передней и задней) и четырех косых (левая передняя и правая задняя, правая передняя и левая задняя) проекциях под углом 45°. Средняя статистика счета на каждое изображение составляла 300 тыс. импульсов. Специальной подготовки больного к исследованию не проводили. При необходимости для уточнения особенностей выявленных изменений стандартное исследование дополняли томосцинтиграфией в режиме совмещенной ОФЭКТ/КТ.

Помимо визуального анализа изображений выполняли количественную оценку, включавшую

относительное распределение кровотока (перфузионное соотношение) между правым и левым легкими, их регионарную перфузию по зонам Веста, а также расчет апикально-базального соотношения, инверсию которого рассматривали как сцинтиграфический признак ЛГ.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Сцинтиграфические изменения, отнесенные в соответствии с вышеописанными критериями к артефактным и способные выполнять роль диагностических «ловушек», констатированы у 634 (61,8%) пациентов. Из них очаговые находки отмечены у 618 (97,4%), внелегочные – у 16 (2,5%). По характеру сцинтиграфической манифестации выделены «холодные» и «горячие» артефактные очаги.

Одиночные «холодные» очаги существенно преобладали в спектре диагностических «ловушек» и отмечены у 611 пациентов. Основная причина подобных изменений – ослабление низкоэнергетического излучения ^{99m}Tc , обусловленное экранирующим эффектом анатомических структур или внешних факторов. В силу специфики диагностических задач у больных с ЛГ ложноположительная трактовка одиночных дефектов перфузии может повлиять на дифференциацию групп ЛГ, прежде всего ХТЭЛГ. Вместе с тем наличие изолированного очагового нарушения перфузии может быть как маловероятным признаком ТЭЛА, так и сцинтиграфическим вариантом нормы [14, 15]. Мы выделили следующие анатомические и клинические факторы, индуцировавшие одиночные дефекты перфузии у обследованного контингента больных.

Кардиальный дефект перфузии – наиболее частый (n=493) сцинтиграфический признак, отмеченный в 77,7% наблюдений и обусловленный экранирующим эффектом сердечных структур, формировал в задней кривой проекции в области 4–5-го сегментов левого легкого краевой дефект перфузии полукруглой формы (рис. 1, а). Выраженность признака коррелировала с особенностями кардиального экранирования в передней прямой проекции и в целом соответствовала частоте поражения правых и левых отделов сердца при ЛГ различной этиологии [16].

Расширенный ствол легочной артерии сцинтиграфически манифестировался характерным краевым полукруглым дефектом перфузии в медиальном отделе 6-го сегмента, определяемым в прямых и косых проекциях преимущественно левого легкого. Подобная находка среди очаговых артефактов была второй по частоте (11,8%) и констатирована у 72 пациентов, причем у 11 из них располагалась как бы в глубине медиального

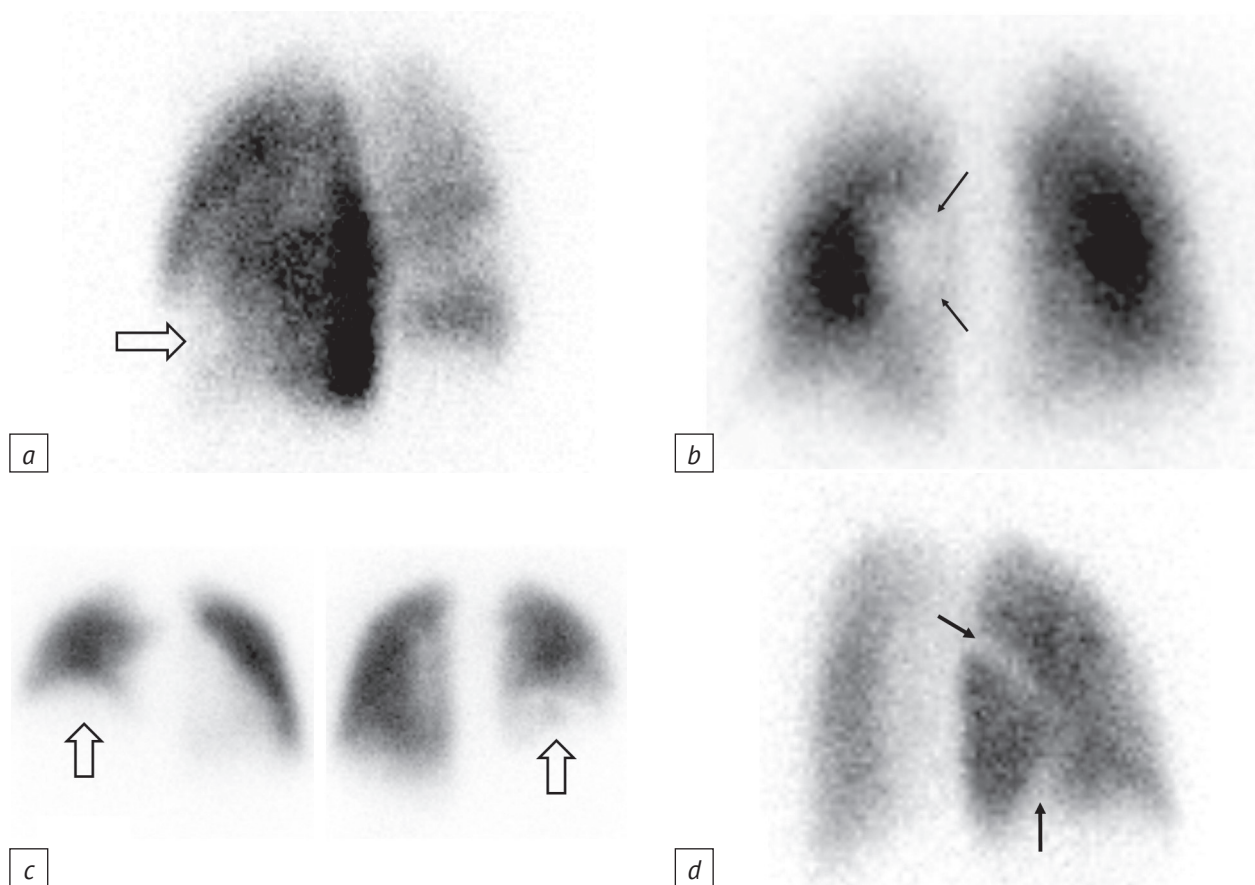


Рис. 1. Сцинтиграфические варианты «холодных» очаговых изменений, имитирующих тромбоэмболию легочной артерии (ТЭЛА):

a – перфузионный краевой дефект в проекции 5-го сегмента левой доли (стрелка) обусловлен гипертрофией правых отделов сердца (левая задняя косая проекция); *b* – «холодный» очаг в проекции медиального отдела 6-го сегмента левого легкого (задняя проекция) – результат ослабления излучения ^{99m}Tc -макроагрегата альбумина в области расширенного ствола легочной артерии, признак полоски (стрелки) – дополнительный сцинтиграфический критерий низкой вероятности ТЭЛА; *c* – высокое положение диафрагмального контура правого легкого в передней (слева) и задней (справа) проекциях, обусловленное гидротораксом, имитирует крупный перфузионный дефект в средних и нижних отделах легкого; *d* – междолевой выпот (правая задняя косая проекция) манифестируется признаком борозды (стрелка сверху), клиновидный дефект перфузии в проекции базального сегмента правого легкого (стрелка снизу) обусловлен плевродиафрагмальной спайкой

Fig. 1. Scintigraphic variants of "cold" focal changes simulating pulmonary embolism:

a – perfusion marginal defect in the projection of the 5th segment of the left lobe (arrow), caused by hypertrophy of the right parts of the heart (left posterior oblique projection); *b* – "cold" focus in the projection of the medial section of the 6th segment of the left lung (posterior projection) is the result of attenuated ^{99m}Tc macroaggregated albumin radiation in the area of dilated pulmonary artery trunk, the strip sign (arrows) is an additional scintigraphic criterion for low probability of pulmonary embolism; *c* – high position of diaphragmatic contour of the right lung in the anterior (left) and posterior (right) projections, due to hydrothorax, simulates a large perfusion defect in the middle and lower parts of the lung; *d* – interlobular effusion (right posterior oblique projection) is manifested by fissure sign (upper arrow), the wedge-shaped perfusion defect in the projection of the basal segment of the right lung (lower arrow) is caused by pleuro-diaphragmatic adhesion

сегмента, формируя «признак полоски» (рис. 1, *b*). *Признак полоски* (stripe sign) – это периферическая паренхиматозная полоска перфузируемого легкого между сцинтиграфическим дефектом перфузии и прилегающей плевральной поверхностью, описанная в 1982 г. Н.Д. Sostman и А. Gottschalk [17] как высокоточный критерий исключения тромбоэмболического характера выявленного дефекта перфузии. Чувствительность признака достигает 91,3%, специфичность – 77,8% при общей точности 86,3% [18]. Оба варианта сцинтиграфического

признака расширенного ствола легочной артерии во всех наблюдениях соответствовали рентгенологическим критериям ЛГ [19].

Асимметрия положения диафрагмального контура отмечена у 41 (6,7%) пациента и характеризовалась более высоким расположением нижнего контура изображения одного из легких, чаще правого ($n=34$). Отсутствие визуализации нижнего отдела изображения, констатированное в передней или обеих прямых проекциях, имитировали очаговую потерю перфузии в соответствующих

реберно-диафрагмальных областях. Эта скintiграфическая находка по данным рентгенографии грудной клетки сопровождала две клинические ситуации: односторонний плевральный выпот-гидроторакс (21) и высокое стояние одного из куполов диафрагмы (13). Каких-либо скintiграфических различий между этими патологическими состояниями мы не обнаружили (рис. 1, с). Совпадение скintiграфических и рентгенологических данных имело место в 35 наблюдениях, у 6 пациентов с рентгенологически обычным положением куполов диафрагмы имела место ложноположительная трактовка более высокого положения правого диафрагмального контура.

У 5 пациентов этой группы по данным рентгенологического и КТ-исследований выявлен *междолевой плеврит* справа, который только у 2 больных манифестировал скintiграфически в виде линейного дефекта перфузии в проекции междолевой борозды правого легкого, обозначаемого в литературе как *признак борозды* (fissure sign) (рис. 1, d). Вместе с тем трактовка данного скintiграфического симптома не всегда однозначна. Признак борозды может быть вызван хронической обструктивной болезнью легких, рубцеванием или утолщением плевры (даже если это не диагностируется рентгенологически) и множественными микроэмболиями. Плевральный выпот среднего размера может имитировать дефект верхнего сегмента нижней доли [20].

Среди других причин очаговых артефактов описываются *плевральные спайки*, которые могут образовываться в любом месте на всей протяженности плевры, чаще как следствие воспалительных заболеваний. Частота спайкообразования в плевральной полости колеблется в пределах 45–70% [21]. Существуют сведения, что локальные

фиброзированные плотные спайки, прорастающие в верхний слой легкого, могут быть причиной одиночных краевых очаговых изменений, имитирующих сегментарные или субсегментарные перфузионные дефекты, характерные для ТЭЛА [22]. В определенной клинической ситуации экранирующим фактором и причиной одиночного клиновидного перфузионного дефекта в области изображения верхней доли легкого может явиться *гипертрофия первого реберно-грудинного сочленения* [23]. Эта редкая патология – неинфекционное воспаление реберного хряща (реберный хондрит, синдром Титце) – описана немецким хирургом А. Tietze в 1921 г. [24].

ЭКС-индуцированные артефакты у 5 пациентов были следствием экранирующего эффекта имплантированного электрокардиостимулятора (ЭКС). Они выявлялись в передней проекции и имели четко очерченные скintiграфические характеристики. Это круглые фотондефицитные зоны, напоминающие монету, диаметром около 25 мм, локализованные в области латеральных отделов 3-го (переднего) сегмента левого легкого (рис. 2, a).

Артефактные «горячие точки» (“hot spots”) в виде локальных зон аномально высокого накопления РФП зафиксированы на перфузионных изображениях легких у 7 пациентов (рис. 2, b). Их скintiграфический размер колебался от 7×6 до 27×16 мм. Они были одно- (2) или двусторонние (5), единичные (3) или множественные (4) с высоким удельным содержанием меченого МАА, визуально превышающим накопление РФП в сопоставимом участке легкого в 2–3 раза. Связанное с этим перераспределение РФП маскировало наличие перфузионных дефектов и затрудняло их выявление. Аномальные скопления меченого МАА

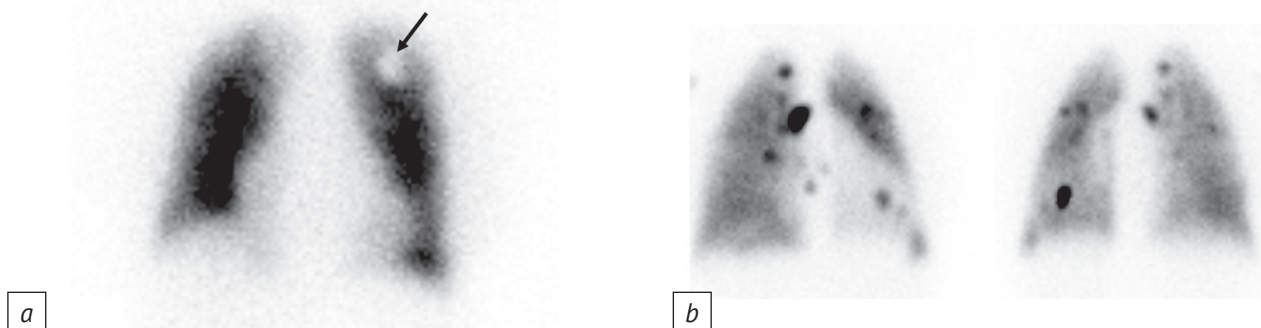


Рис. 2. Скintiграфические варианты очаговых артефактов:

a – на пульмоноскintiграмме в передней проекции локальная «холодная» зона (стрелка) на месте установленного электрокардиостимулятора; *b* – на перфузионных изображениях легких в передней (слева) и задней (справа) проекциях множественные «горячие» очаги как следствие конгломерации ^{99m}Tc -макроагрегата альбумина и форменных элементов крови в шприце при внутривенной инъекции

Fig. 2. Scintigraphic variants of focal artifacts:

a – a local “cold” zone (arrow) is visible on anterior projection of pulmonoscintigram at the site of implanted pacemaker; *b* – multiple “hot spots” are observed on anterior (left) and posterior (right) perfusion lung images due to aggregation of ^{99m}Tc macroaggregated albumin and blood cells in the syringe during intravenous injection

в виде «горячих точек» отмечены при сканировании легких с момента внедрения метода. Лабораторные и экспериментальные работы, проведенные на заре перфузионного исследования легких, позволили установить, что в основе этого скинтиграфического феномена лежат внутривенно введенные сгустки крови, образовавшиеся в шприце с приготовленным РФП. Доказано, что визуализация «горячих точек» на перфузионных изображениях связана с дефектом техники введения РФП и обусловлены агрегированием белковых частиц МАА при попадании крови в шприц с РФП во время венепункции либо введением РФП через ранее установленный, но недостаточно промытый катетер [25, 26]. Позже появились сообщения, что «горячие точки» могут быть вызваны определенными клиническими ситуациями, включая тромбофлебит верхних конечностей [27], а также гиперкоагуляционный синдром при таких патологических состояниях, как хроническая сердечная недостаточность и туберкулез легких. Агрегация частиц альбумина до 100–150 мкм приводит к эмболизации легочных сосудов на прекапиллярном или более раннем этапе их транспорта [28, 29].

Внелегочное накопление ^{99m}Tc -МАА, отмеченное у 16 пациентов, подтверждает низкую частоту феномена при ПСЛ [30]. В 14 наблюдениях внелегочное накопление РФП сопровождало ЛГ, ассоциированную с врожденными пороками сердца (ВПС), в 2 случаях носило артефактный характер.

Сцинтиграфические признаки право-левого шунта отмечены у всех 14 больных с ВПС. Последние включали открытый артериальный проток (3), дефект межпредсердной перегородки (4), де-

фект межжелудочковой перегородки (3), открытое овальное окно (3), артериовенозную мальформацию (1), в том числе сочетающиеся с синдромом Эйзенменгера (7). Наличие право-левого или двунаправленного шунтирования верифицировано эхокардиографическими исследованиями.

Визуализация почек – постоянный ($n=14$) и наиболее специфичный признак право-левого шунта – отражала поступление введенного ^{99m}Tc -МАА в большой круг кровообращения. У 6 пациентов это был единственный скинтиграфический признак право-левого шунта, у 8 он сочетался с **визуализацией ЩЖ** (5), **селезенки** (4) и **печени** (1).

Мы не нашли какой-либо связи вида ВПС и комбинаций визуализации органов большого круга кровообращения, однако обратили внимание, что изображение почек в сочетании с визуализацией еще одного или более органов большого круга кровообращения сопровождалось крупными перегородочными дефектами (до 2–3 см), а также развившимся синдромом Эйзенменгера (рис. 3). Эта тенденция согласуется с данными литературы [31] об особенностях комплексной визуализации анатомических структур большого круга кровообращения при синдроме Эйзенменгера, включающей почки, селезенку, кишечник, ЩЖ и головной мозг. Визуализация мозговых структур рассматривается как скинтиграфический «золотой стандарт» право-левого шунтирования и важный критерий оценки эффективности шунтирующих операций [32]. Подчеркнем, что экстрапульмональные находки при системно-легочном шунтировании не ограничиваются указанными выше. При различных вариантах артериовенозных мальформаций

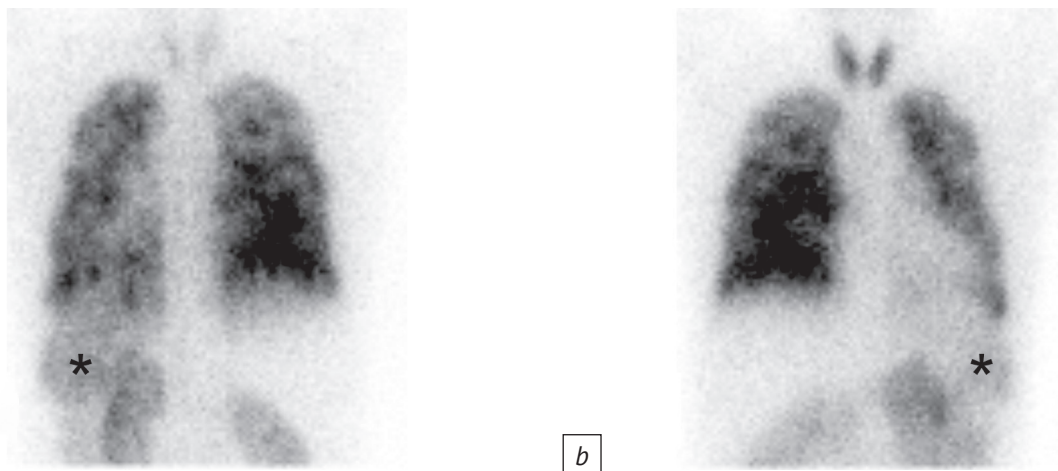


Рис. 3. Перфузионные пульмоносцинтиграммы у пациента с легочной гипертензией, ассоциированной с врожденным пороком сердца (дефект аортолечной перегородки, открытый артериальный проток). Право-левое шунтирование крови манифестируется сочетанной визуализацией почек, селезенки (звездочки) и щитовидной железы в задней (а) и в передней (б) проекциях

Fig. 3. Perfusion pulmonoscintigrams of a patient with pulmonary hypertension associated with congenital heart disease (aorto-pulmonary septal defect, patent ductus arteriosus). Right-to-left blood shunting is manifested by combined visualization of kidneys, spleen (asterisks), and thyroid gland in posterior (a) and anterior (b) projections

и синдроме верхней полой вены развитие обширных коллатеральных путей может сопровождаться неожиданным накоплением ^{99m}Tc -МАО в таких анатомических структурах, как миокард [33], бурый жир надключичных и паравerteбральных областей [34], грудные позвонки [35], квадратная доля печени [36]. Схожесть сцинтиграфической манифестации системно-легочных шунтов и артефактного накопления РФП может быть одной из возможных причин ложноположительных интерпретационных ошибок.

Визуализация ЩЖ обусловлена накоплением ^{99m}Tc -пертехнетата – обязательного компонента радиохимических примесей. Его содержание в корректно приготовленном ^{99m}Tc -МАО составляет $1,0 \pm 0,4\%$ [37], причем ЩЖ захватывается от 0,5% до 3% циркулирующего в крови ^{99m}Tc -пертехнетата. При столь низкой активности РФП изображение ЩЖ не дифференцируется из тканевого фона. Причиной изолированной визуализации ЩЖ может быть возрастание ее поглонительной способности при гипертиреозе [38]. При наличии право-левого шунтирования доля поглощаемого ЩЖ ^{99m}Tc -пертехнетата возрастает пропорционально величине сброса крови в большой круг кровообращения. В отсутствие указанных факторов визуализацию ЩЖ относят к радиофармацевтическим артефактам. Последние чаще всего являются следствием недостаточно точного соблюдения требований к приготовлению ^{99m}Tc -МАО (например, введение во флакон с реагентами чрезмерного количества элюированного ^{99m}Tc -пертехнетата или превышение рекомендуемой экспозиции приготовленного РФП до его внутривенного вве-

дения) [39, 40]. В наших наблюдениях подобных артефактных находок не отмечено.

Визуализация кишечника в обоих случаях была следствием предшествующей перфузионной сцинтиграфии миокарда с ^{99m}Tc -метокси-изобутил-изонитрилом. Регистрируемая остаточная радиоактивность в тонком и толстом отделах кишечника затрудняла диагностику право-левого шунта, поскольку в прямых проекциях могла имитировать изображение почек (рис. 4).

ПСЛ с ^{99m}Tc -МАО, несмотря на ее полувековую историю, остается востребованным радионуклидным методом в силу доступности и простоты выполнения. С 2009 г. она включена в стандарт обследования пациентов для дифференциальной диагностики форм ЛГ, прежде всего для верификации ее хронической тромбоэмболической формы. Ведущим сцинтиграфическим признаком ХТЭЛГ является наличие одиночных или множественных перфузионных дефектов, поиск и анализ которых составляют основу радионуклидного исследования. Главное ограничение ПСЛ – низкая специфичность и, как следствие, высокая вероятность ложноположительных интерпретаций. Причинами последних могут быть как артефакты, имитирующие очаговые перфузионные изменения, так и диагностические «ловушки», то есть очаговые изменения легких, не обусловленные ТЭЛА, но уязвимые для ее ложноположительной трактовки. Поскольку среди 634 проанализированных пациентов преобладали (91,3%) больные с различными формами ЛГ, выявленные артефактные изменения и диагностические «ловушки» отражают их особенность и частоту прежде всего в этой клиниче-

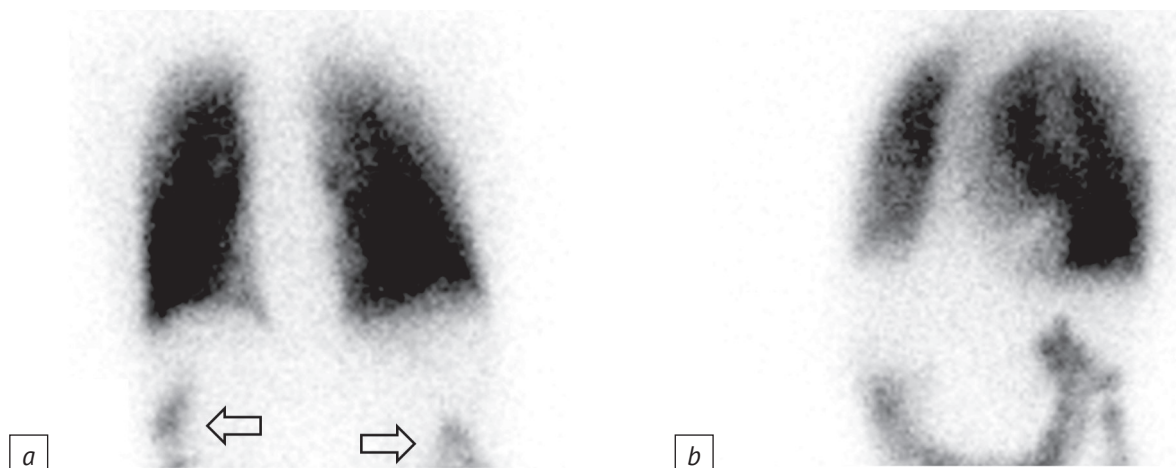


Рис. 4. Пример артефактной визуализации кишечника после проведенной накануне перфузионной сцинтиграфии миокарда с ^{99m}Tc -метокси-изобутил-изонитрилом:

a – остаточная радиоактивность имитирует изображение почек в задней проекции (стрелки); *b* – изображение кишечника в левой передней косой проекции помогает избежать ошибочной интерпретации

Fig. 4. An example of artifact intestinal visualization after myocardial perfusion scintigraphy with ^{99m}Tc methoxy-isobutyl-isonitrite performed the day before:

a – residual radioactivity mimics kidney image in posterior projection (arrows); *b* – intestinal image in left anterior oblique projection helps to avoid misinterpretation

ской группе. Данные литературы и наш собственный опыт показывают, что важной составляющей уменьшения негативного влияния артефактов на результаты сцинтиграфии является контроль качества каждого этапа диагностической цепочки.

Радиофармацевтический компонент – один из ведущих факторов артефактного внелегочного накопления РФП. Как правило, это следствие методических погрешностей в процессе его приготовления. ^{99m}Tc -МАО готовится путем добавления элюата из генератора во флакон, содержащий стерильный реагент (лиофилизат). Элюатом является ^{99m}Tc -пертехнетат, находящийся в наивысшем валентном состоянии (+7) и потому не способный метить компоненты набора. Для метки он должен быть восстановлен в более низкое валентное состояние. Для этих целей в состав лиофилизата вводится окислитель (двухлористое олово). Однако случайное попадание воздуха или влаги при введении ^{99m}Tc -пертехнетата во флакон с лиофилизатом приводит к окислению олова и образованию избыточного количества свободного ^{99m}Tc -пертехнетата.

Контроль качества приготовленного РФП не ограничивается требованием строгого соблюдения инструкции. Приказ Минздрава России от 27 апреля 2015 г. № 211н «Об утверждении Порядка изготовления радиофармацевтических лекарственных препаратов непосредственно в медицинских организациях» предусматривает современные подходы к контролю качества РФП. Использование экспресс-методов определения радиохимической чистоты РФП до его введения пациенту позволит избежать артефактов, связанных с повышенным содержанием радиохимических примесей [41].

Контроль качества этапа подготовки пациента к ПСЛ способствует исключению артефактных изменений, связанных с экранирующим эффектом некоторых аксессуаров одежды и учету особенностей сцинтиграфической картины в областях имплантированных предметов (ЭКС, грудной имплантат). Информация о проведенных накануне радионуклидных исследованиях с РФП, экскретируемые печенью, поможет скорректировать сроки проведения ПСЛ и исключить артефактную визуализацию кишечника. «Горячие» очаги, затрудняющие выявление перфузионных дефектов, как указано выше, являются следствием методической ошибки при внутривенной инъекции ^{99m}Tc -МАО.

Контроль качества этапа введения ^{99m}Tc -МАО предусматривает обеспечение надежного венозного доступа для быстрого введения РФП, минимизирующего возможность смешивания крови и РФП в шприце, а также обязательную проверку и промывание ранее поставленного венозного катетера.

Контроль качества этапа интерпретации результатов ПСЛ – ответственный компонент диагностического процесса при категоризации одиночных перфузионных дефектов. Прежде всего следует учесть особенности локализации этих «холодных» очагов в контексте проанализированных выше сцинтиграфических данных и их возможную патогенетическую обусловленность. Наш опыт обследования пациентов с ЛГ убеждает, что в отсутствие вентиляционной сцинтиграфии достаточно надежный диагностический результат можно получить при сопоставлении данных ПСЛ с результатами рентгенологического или КТ-исследований в тех же проекциях, что и при планарном радионуклидном исследовании. Ключевым для отнесения «холодных» очагов к категории низкой или очень низкой вероятности ТЭЛА является совпадение сцинтиграфических и рентгенологических данных по наличию и локализации патологических изменений. Так, «кардиальный дефект» подтверждается рентгенологическими критериями кардиомегалии, в том числе высоким кардиоторакальным индексом. Легочные очаги связаны с расширением ствола и ветвей легочной артерии – рентгенологическими характеристиками ЛГ, включающими выбухание ствола легочной артерии, увеличение высоты ее легочного сегмента. Аналогичным образом верифицируется высокое стояние диафрагмы, плевральный, в том числе междолевой, выпот и другие очаговые изменения, способные имитировать ТЭЛА. При интерпретации внелегочного накопления РФП прежде всего необходимо исключить радиофармацевтический артефакт, связанный с приготовлением РФП. Основным критерий внелегочного артефакта – изолированная визуализация ЩЖ, повторяемая при ПСЛ у других обследуемых в этот день пациентов. Для верификации сцинтиграфических признаков право-левого шунтирования целесообразно уточнить анамнестические данные о наличии ВПС и результаты эхокардиографии. В сомнительных ситуациях для получения более полной характеристики одиночных «холодных» очагов или внелегочных находок возможна визуализация проблемных зон в режиме совмещенной ОФЭКТ/КТ, а при необходимости количественного расчета шунта «справа налево» следует провести досмотр в режиме «все тело» [42].

Закключение / Conclusion

Анализ причин формирования очаговых и внелегочных артефактных находок, формирующих диагностические «ловушки» при интерпретации результатов ПСЛ в конкретной клинической ситуации, дает возможность заранее сформировать адекватную стратегию контроля качества каждого этапа методической цепочки. Это позволит избежать или минимизировать ложноположительную трактовку ТЭЛА и системно-легочных шунтов.

Литература [References]

- Zöphel K, Bacher-Stier C, Pinkert J, Kropp J. Ventilation/perfusion lung scintigraphy: what is steel need? A review considering technetium-99m-labelled macro-aggregates of albumin. *Ann Nucl Med*. 2009; 23(1): 1–16. <https://doi.org/10.1007/s12149-008-0187-3>.
- Muller JH, Rossier PH. A new method for the treatment of cancer of the lungs by means of artificial radioactivity. *Acta Radiol*. 1951; 35(5-6): 449–68. <https://doi.org/10.3109/00016925109136677>.
- Ernst H, Iglauer E, Kronschwitz H, Spode E. Experimental animal studies of the therapy of lung tumors using radioactive goldcarbon suspension. *Strahlentherapie*. 1958; 107(3): 382–90 (in German).
- Taplin GV, MacDonald NS. Radiochemistry of macroaggregated albumin and newer lung scanning agents. *Semin Nucl Med*. 1971; 1(2): 132–52. [https://doi.org/10.1016/s0001-2998\(71\)81013-9](https://doi.org/10.1016/s0001-2998(71)81013-9).
- Harper PV, Lathrop KA, Jimenez F, et al. Technetium 99m as a scanning agent. *Radiology*. 1965; 85: 101–9. <https://doi.org/10.1148/85.1.101>.
- Панченко Е.П., Балахонова Т.В., Данилов Н.М. и др. Диагностика и лечение тромбоэмболии легочной артерии: клинические рекомендации Евразийской ассоциацией кардиологов для практических врачей (2021). *Евразийский кардиологический журнал*. 2021; 1: 44–77. <https://doi.org/10.38109/2225-1685-2021-1-44-77>. [Panchenko EP, Balahonova TV, Danilov NM, et al. Diagnosis and management of pulmonary embolism. Eurasian Association of Cardiology (EAC) clinical practice guidelines (2021). *Eurasian Heart Journal*. 2021; 1: 44–77 (in Russ). <https://doi.org/10.38109/2225-1685-2021-1-44-77>.]
- Авдеев С.Н., Барбараш О.Л., Валиева З.С. и др. Легочная гипертензия, в том числе хроническая тромбоэмболическая легочная гипертензия. *Клинические рекомендации 2024. Российский кардиологический журнал*. 2024; 29(11): 6161. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2024-6161>. [Avdeev SN, Barbarash OL, Valieva ZS, et al. 2024 Clinical practice guidelines for pulmonary hypertension, including chronic thromboembolic pulmonary hypertension. *Russian Journal of Cardiology*. 2024; 29(11): 6161 (in Russ). <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2024-6161>.]
- PIOPED Investigators. Value of the ventilation/perfusion scan in acute pulmonary embolism. Results of the prospective investigation of pulmonary embolism diagnosis (PIOPED). *JAMA*. 1990; 263(20): 2753–9. <https://doi.org/10.1001/jama.1990.03440200057023>.
- Wells LD. Radionuclide imaging artifacts. *Chicago Year Book Medical Publishers*; 1980: 134 pp.
- Moser KM, Miale A. Interpretive pitfalls in lung photoscanning. *Am J Med*. 1968; 44(3): 366–76. [https://doi.org/10.1016/0002-9343\(68\)90108-3](https://doi.org/10.1016/0002-9343(68)90108-3).
- Schembri GP, Roach PJ, Bailey DL, Freeman L. Artifacts and anatomical variants affecting ventilation and perfusion lung imaging. *Semin Nucl Med*. 2015; 45(5): 373–91. <https://doi.org/10.1053/j.semnuclmed.2015.02.009>.
- Рубин М.П., Кулешова О.Д., Чечурин Р.Е. Радионуклидная перфузионная сцинтиграфия легких: методика исследования и интерпретация результатов. *Радиология – практика*. 2002; 4: 16–21. [Rubin MP, Kuleshova OD, Chechurin RE. Radionuclide perfusion scintigraphy of the lungs: research methodology and interpretation of results. *Radiology – Practice*. 2002; 4: 16–21 (in Russ).]
- Аншелес А.А., Сергиенко В.Б. *Ядерная кардиология*. М.: НМИЦ кардиологии; 2021: 516 с. [Ansheles AA, Sergienko VB. *Nuclear cardiology*. Moscow: National Medical Research Center for Cardiology; 2021: 516 pp (in Russ).]
- Wallace JM, Moser KM, Hartman MT, Ashburn WL. Patterns of pulmonary perfusion scans in normal subjects. *Am Rev Respir Dis*. 1981; 124(4): 480–3. <https://doi.org/10.1164/arrd.1981.124.4.480>.
- Fedullo PF, Kapitan KS, Brewer NS, et al. Patterns of pulmonary perfusion scans in normal subjects. IV. The prevalence of abnormal scans in smokers 30 to 49 years of age. *Am Rev Respir Dis*. 1989; 139(5): 1155–7. <https://doi.org/10.1164/ajrccm/139.5.1155>.
- Архипова О.А., Мартынюк Т.В., Самойленко Л.Е. и др. Перфузионная сцинтиграфия легких у больных с легочной гипертензией различной этиологии. *Евразийский кардиологический журнал*. 2015; 4: 20–5. <https://doi.org/10.38109/2225-1685-2015-4-20-25>. [Arkhipova OA, Martynyuk TV, Samoilenko LE, et al. Perfusion lung scintigraphy in patients with a pulmonary hypertension of a various etiology. *Eurasian Heart Journal*. 2015; 4: 20–5 (in Russ). <https://doi.org/10.38109/2225-1685-2015-4-20-25>.]
- Sostman HD, Gottschalk A. The stripe sign: a new sign for diagnosis of nonembolic defects on pulmonary perfusion scintigraphy. *Radiology*. 1982; 142(3): 737–41. <https://doi.org/10.1148/radiology.142.3.7063693>.
- Kotlyarov EV, Ruppel WF, Reba RC. Interpretation of perfusion lung scan based on presence and absence of “stripe sign”. *Invest Radiol*. 1983; 18(4): S15. <https://doi.org/10.1097/00004424-198307000-00081>.
- Коробкова И.З., Лазуткина В.К., Низовцева Л.А., Ридэн Т.В. Методические аспекты рентгенологической диагностики легочной гипертензии. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2015; 4: 46–53. [Korobkova IK, Lazutkina VK, Nizovtsova LA, Riden TV. Radiographic assessment of pulmonary hypertension: methodical aspects. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2015; 4: 46–53 (in Russ).]
- Mettler FA, Guiberiteau MJ. *Essential of nuclear medicine. imaging*. Elsevier Health Sciences; 2012: 624 pp.
- Калашников А.В., Салимов Д.Ш. Современный взгляд на проблему спаек брюшной и плевральной полости: этиология, патологические проявления, сходство и различия, спорные вопросы профилактики. *Оперативная хирургия и клиническая анатомия (Пироговский научный журнал)*. 2018; 2(1): 27–35. <https://doi.org/10.17116/operhirurg20182127-35>. [Kalashnikov AV, Salimov DSh. Current views on the problem of abdominal and pleural adhesions: etiology, pathologic manifestations, similarity and differences, disputable issues of prevention. *Russian Journal of Operative Surgery and Clinical Anatomy*. 2018; 2(1): 27–35 (in Russ). <https://doi.org/10.17116/operhirurg20182127-35>.]
- Fogelman I, Clarke S, Cook G, Gnanasegaran G (Eds). *Atlas of clinical nuclear medicine*. CRC Press; 2014: 1607 pp.
- Schuster DM, Scheidt K. Artfactual perfusion defect from a hypertrophic first costosternal articulation. *Clin Nucl Med*. 1997; 22(9): 642. <https://doi.org/10.1097/00003072-199709000-00017>.
- Шестерня П.А., Васильева А.О., Шкиль Л.М. и др. Синдром Титце – междисциплинарный клинический случай. *Сибирское медицинское обозрение*. 2017; 2: 112–6. <https://doi.org/10.20333/2500136-2017-2-112-116>.

- [Shesternya PA, Vasileva AO, Shkil LM, et al. Syndrome Tietze – interdisciplinary clinical case. Siberian Medical Review. 2017; 2: 112–6 (in Russ).
<https://doi.org/10.20333/2500136-2017-2-112-116>.]
25. Duffy GJ, DeNardo GL, Abington RB. Origin and evolution of radioactive pulmonary emboli in man. *Radiology*. 1968; 91: 1175–80.
 26. Preston DF, Greenlaw R. “Hotspots” in lung scans. *J Nucl Med*. 1970; 11(7): 422–5.
 27. Lutzker LG, Perez LA. Radioactive embolization from upper-extremity thrombophlebitis. *J Nucl Med*. 1975; 16: 241–2.
 28. Ikehira H, Kinjo M, Yamamoto Y, et al. Hot spots observed on pulmonary perfusion imaging: a case report. *J Nucl Med Technol*. 1999; 27(4): 301–2.
 29. Sebbar C, Hiroual S, Kouassi N, et al. Artfactual hot spots on technetium-99m macroaggregated albumin perfusion lung scan. *Indian J Nucl Med*. 2023; 38(2): 151–3.
https://doi.org/10.4103/ijnm.ijnm_182_22.
 30. Hussain R, Maseeh-uz-Zaman, Khan SA, Ahmad MN. Extra [corrected] pulmonary uptake of Tc-99m-MAA perfusion lung scan as a result of right to left intra cardiac shunt. *J Pak Med Assoc*. 2006; 56(5): 241–2.
 31. Mitsui K, Woodhams R, Ukisu R, Inoue Y. Lung perfusion scintigraphy in Eisenmenger syndrome due to patent ductus arteriosus. *Clin Nucl Med*. 2019; 44(11): 879–80.
<https://doi.org/10.1097/RLU.0000000000002735>.
 32. Son HJ, Ryu JS. ^{99m}Tc-MAA total body imaging of patent right-to-left shunt with invisible brain activity. *Hell J Nucl Med*. 2020; 23(2): 209–10.
 33. Gale B, Chen C, Chun KJ, et al. Systemic to pulmonary venous shunting in superior vena cava obstruction. Unusual myocardial and thyroid visualization. *Clin Nucl Med*. 1990; 15(4): 246–50.
<https://doi.org/10.1097/00003072-199004000-00008>.
 34. Marashdeh W, Wahl RL. Case report: brown fat accumulation of tc-99m macroaggregated albumin in a lung perfusion study in a patient with multiple lung arteriovenous malformations and right-to-left shunting. *Medicine*. 2015; 94(42): e1820.
<https://doi.org/10.1097/MD.0000000000001820>.
 35. D'Abadie P, Ghaye B, Jamar F. Vertebral uptake of ^{99m}Tc-macroaggregated albumin during lung perfusion scanning. *World J Nucl Med*. 2019; 19(3): 271–2.
https://doi.org/10.4103/wjnm.WJNM_44_19.
 36. Esser JP, Oei HY, de Bruin HG, Krenning EP. Liver and vertebral uptake of Tc-99m macroaggregated albumin (MAA). *Clin Nucl Med*. 2004; 29(12): 793–4.
<https://doi.org/10.1097/00003072-200412000-00004>.
 37. Рихсиев А.З., Садиков И.И., Зикиров М. Способ получения набора к генератору технеция-99m на основе макароеггированного альбумина (MAA) с оловом двухвалентным для приготовления диагностического средства. *Universum: химия и биология: электронный научный журнал*. 2024; 4(118). [Rikhsiev AZ, Sadikov II, Zikirov M. A method for obtaining a kit for the technetium-99m generator based on macroaggregated albumin (MAA) with divalent tin, for the preparation of a diagnostic agent. *Universum: Chemistry and Biology: Electronic Scientific Journal*. 2024; 4(118) (in Russ).]
 38. Campeau RJ, Lichtenstein RJ, Ward TL, Alster DK. Incidental detection of hyperthyroidism during a perfusion lung scan for suspected pulmonary emboli. *Clin Nucl Med*. 1991; 16(4): 251–2. <https://doi.org/10.1097/00003072-199104000-00009>.
 39. Hung JC, Ponto JA, Hammes RJ. Radiopharmaceutical-related pitfalls and artifacts. *Semin Nucl Med*. 1996; 26(4): 208–55.
[https://doi.org/10.1016/s0001-2998\(96\)80002-x](https://doi.org/10.1016/s0001-2998(96)80002-x).
 40. Ajdari SE, Qutbi M. Rapid decomposition of ^{99m}Tc-MAA complex during lung perfusion imaging. *Clin Nucl Med*. 2019; 44(8): 674–5.
<https://doi.org/10.1097/RLU.0000000000002643>.
 41. Кодина Г.Е., Малышева А.О. Контроль качества радиофармацевтических препаратов в медицинских организациях. Разработка и регистрация лекарственных средств. 2017; 1: 88–92.
[Kodina GE, Malysheva AO. Quality control of radiopharmaceuticals in medical institutions. *Drug Development & Registration*. 2017; 1: 88–92 (in Russ).]
 42. Золотницкая В.П. Диагностика артериовенозного шунтирования крови в легких методом перфузионной сцинтиграфии в клинике и эксперименте. *Регионарное кровообращение и микроциркуляция*. 2011; 10(4): 49–53.
<https://doi.org/10.24884/1682-6655-2011-10-4-49-53>. [Zolotnitskaya VP. Diagnosis of arteriovenous blood shunting in the lungs by means of perfusion scintigraphy in clinical practice and experiment. *Regional Blood Circulation and Microcirculation*. 2011; 10(4): 49–53 (in Russ).
<https://doi.org/10.24884/1682-6655-2011-10-4-49-53>.]