

УДК 612.215.8-073.75.019.941

DOI: 10.24884/1682-6655-2019-18-1-5-16

В. И. АМОСОВ, В. П. ЗОЛОТНИЦКАЯ

## Кровообращение в легких: лучевые методы диагностики изменений микроциркуляции в малом круге

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И. П. Павлова»  
Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия  
197022, Россия, Санкт-Петербург, ул. Льва Толстого, д. 6-8  
e-mail: vikt-amosov@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 29.01.19; принята к печати 15.02.19

### Резюме

Лучевая диагностика заболеваний дыхательной системы включает в себя ряд методов, построенных на различных способах получения информации о состоянии органов грудной клетки. Большая часть применяемых методик направлена на выявление структурных изменений в паренхиме легких, однако при развитии заболеваний легких патологический процесс затрагивает все без исключения анатомические структуры легких, в том числе страдает сосудистое русло легких, прежде всего, за счет его микроциркуляторного звена, поэтому особого внимания специалистов требует внедрение методов, выявляющих изменения в микрососудах легких. В зависимости от поставленных задач исследования могут использоваться различные методы лучевой диагностики, в комплексе, или исходя из определенных требований к получению результата.

В обзоре дана краткая анатомическая характеристика капиллярного русла легких. Представлены исторические сведения об изучении кровообращения в малом круге и современные методы лучевого исследования, применяемые для выявления заболеваний легких.

**Ключевые слова:** микроциркуляция, лучевая диагностика, легкие

**Для цитирования:** Амосов В. И., Золотницкая В. П. Кровообращение в легких: лучевые методы диагностики изменений микроциркуляции в малом круге. Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2019;18(1):5–16. Doi: 10.24884/1682-6655-2019-18-1-5-16

UDC 612.215.8-073.75.019.941

DOI: 10.24884/1682-6655-2019-18-1-5-16

V. I. AMOSOV, V. P. ZOLOTNITSKAIA

## Blood circulation in the lungs: radiologic methods of diagnosing microcirculation changes in the small circle of circulation

Academician I. P. Pavlov First St. Petersburg State Medical University, Russia, Saint-Petersburg  
197022, Russia, Saint-Petersburg, L'va Tolstogo street, 6-8  
e-mail: vikt-amosov@yandex.ru

Received 29.01.19; accepted 15.02.19

### Summary

Radiological diagnosis of diseases of the respiratory system includes a number of methods based on various ways of obtaining information about the state of the chest organs. Most of the applied methods are aimed at identifying structural changes in the lung parenchyma, however, with the development of lung diseases, the pathological process affects all anatomical structures of the lungs, without exception, including the vascular bed of the lungs, primarily due to its microcirculatory level, therefore, this process requires special attention of specialists to the methods detecting changes in the pulmonary microvasculature. Depending on the purposes of the study, various methods of radiologic diagnosis should be used in combination.

The review provides a brief anatomical characteristic of the capillary bed of the lungs. History of the study of blood circulation in a small circle is discussed, and modern methods of radiologic research are used to detect lung diseases.

**Keywords:** microcirculation, imaging, radiology

**For citation:** Amosov V. I., Zolotnitskaia V. P. Blood circulation in the lungs: radiologic methods of diagnosing microcirculation changes in the small circle of circulation. Regional hemodynamics and microcirculation. 2019;18(1):5–16. Doi: 10.24884/1682-6655-2019-18-1-5-16

Эпоха изучения легочного кровообращения началась с работы Вильяма Гарвея «Анатомическое исследование о движении сердца и крови у животных» (1628), в которой он указал, что «кровь или вся кровяная масса проходит через легкие, так же как пищевой комок через печень». Вильям Гарвей не знал, каким образом кровь проходит через легкие, думая, что существует процесс фильтрации от артерий к венам, но предположил, что легочное кровообращение – наиболее важный орган [1]. Открытие Марчелло Мальпиги (1661) капиллярного ложа легких дало анатомическое обоснование физиологии легких. С тех пор легочное кровообращение является важной и физиологически сложной системой, обладающей большими способностями к адаптации на изменения окружающей среды и реакциям на стрессы.

Изучение кровообращения в легких продолжилось работами Рудольфа Вирхова (1859) и Эдуарда Бернгарда Изаксона «О патолого-анатомических изменениях легочных сосудов при эмфизематозном процессе в легких» (1870) [2], а с момента опубликования в 1979 г. «Заболевания легочных сосудов» мы стали свидетелями большого прогресса в нашем понимании легочного кровообращения у здоровых и больных.

Кровообращение в легких по-своему уникально. Оно осуществляется через системы легочных и бронхиальных артерий. Легочные сосуды, главным образом, принимают участие в газообмене через аэрогематический барьер и кровоснабжение альвеол, а бронхиальные исполняют функцию кровоснабжения трахеобронхиального дерева. Но четкой границы между этими двумя системами нет, поскольку конечные ветви бронхиальных артерий доходят до респираторных бронхиол, а питание альвеол (конечного звена дыхательной системы) проходит через капиллярную сетку легочных сосудов. Между системой легочной артерии и системой бронхиальной артерии существуют многочисленные анастомозы, расположенные в различных участках легкого, благодаря этим многочисленным анастомотическим связям в условиях легочной артериальной гипертензии или других нарушений кровотока кровь из бронхиальных артерий может легко попадать в систему легочной артерии, таким образом анастомозы могут сыграть роль коллатерального кровообращения [3–7].

Капиллярное русло легких – самое большое среди органных сосудистых сетей. Анатомио-морфофункциональное строение легочной артерии достаточно хорошо известно. Легочная артерия делится на 17 порядков, начиная от альвеол и заканчивая главной легочной артерией. Средний диаметр легочных капилляров – 10 мкм, т. е. меньше, чем средний диаметр капилляров большого круга [8, 9]. Легочные капилляры не имеют сократительных элементов или мышечных клеток, поэтому они не могут активно сокращаться, однако они могут пассивно расширяться. Уменьшение диаметра капилляров может происходить вследствие набухания эндотелиальных клеток, скопления периваскулярного трансудата или при увеличении альвеолярного или внутриплеврального давления. Капилляры также могут расширяться в ответ на увеличение притока крови [10–12].

По мнению J. V. Glazier [13], функционально легочные микрососуды делятся на два типа – рекуррентные (микрососуды, которые в обычных условиях находятся в спавшемся состоянии, но при повышении давления расширяются и наполняются кровью) и микрососуды с постоянной циркуляцией, способные к перерастяжению при повышении давления. Какие из микрососудов включаются в процесс кровообращения при тех или иных обстоятельствах, до конца не ясно. Однако известно, что в верхушке легкого преобладают рекуррентные капилляры, в средней зоне – сосуды с постоянной циркуляцией и рекуррентные, а в нижней зоне, вероятно, преобладают микрососуды, способные к перерастяжению [10, 13–15]. Роль разных типов сосудов в поддержании нормального кровообращения в легких до сих пор не выявлена.

Известно также, что на состояние легочного кровообращения влияют так называемые зоны Веста [16–18], которые определяются гравитацией и положением тела. Увеличение просвета капилляров и вовлечение новых капилляров в процесс оксигенации крови происходит в верхне-нижнем направлении. В зоне 1 преобладают «рекуррентные капилляры», которые подвергаются компрессии со стороны воздействующего на них со всех сторон альвеолярного давления, открываются и включаются в процесс микроциркуляции во время систолы. В зоне 2 кровоток через капилляры прерывистый (открыт, когда венозное давление превышает альвеолярное, и наоборот). Наиболее благоприятные условия для газообмена создаются в 3-й зоне Веста, эта зона легких лучше вентилируется, лучше перфузируется, движение крови обеспечивается разницей давлений (РА–РV). Эта разница в пределах зоны остается постоянной, однако поток крови может быть увеличен при повышении давления, когда включаются капилляры, способные к перерастяжению. Зона 4 – наиболее зависимая зона со сниженным кровотоком. В этой зоне альвеолы могут плохо вентилироваться, что ведет к местной альвеолярной гипоксии, альвеолярной вазоконстрикции и повышению сосудистого сопротивления [19].

Легочное кровообращение до недавнего времени выглядело как «белое пятно на карте». Определение механизмов развития сосудистой патологии при развитии и прогрессировании заболеваний легких сдерживалось трудностями в изучении структуры и функции кровообращения в малом круге и состоянии правого желудочка, поскольку ранее для этого существовали только инвазивные методы. С внедрением лучевых методов исследования в практику современной пульмонологии существенно улучшилось состояние диагностики нарушений кровообращения у больных с заболеваниями легких.

Основными задачами лучевой диагностики являются определение характера и степени выраженности морфологических изменений в легочной ткани и поражения сосудистого русла. В зависимости от поставленных задач исследования могут использоваться различные методы лучевой диагностики, в комплексе, или исходя из определенных требований к получению результата.

Лучевая диагностика изменений в воздухоносных путях и паренхиме легкого является достаточно стан-

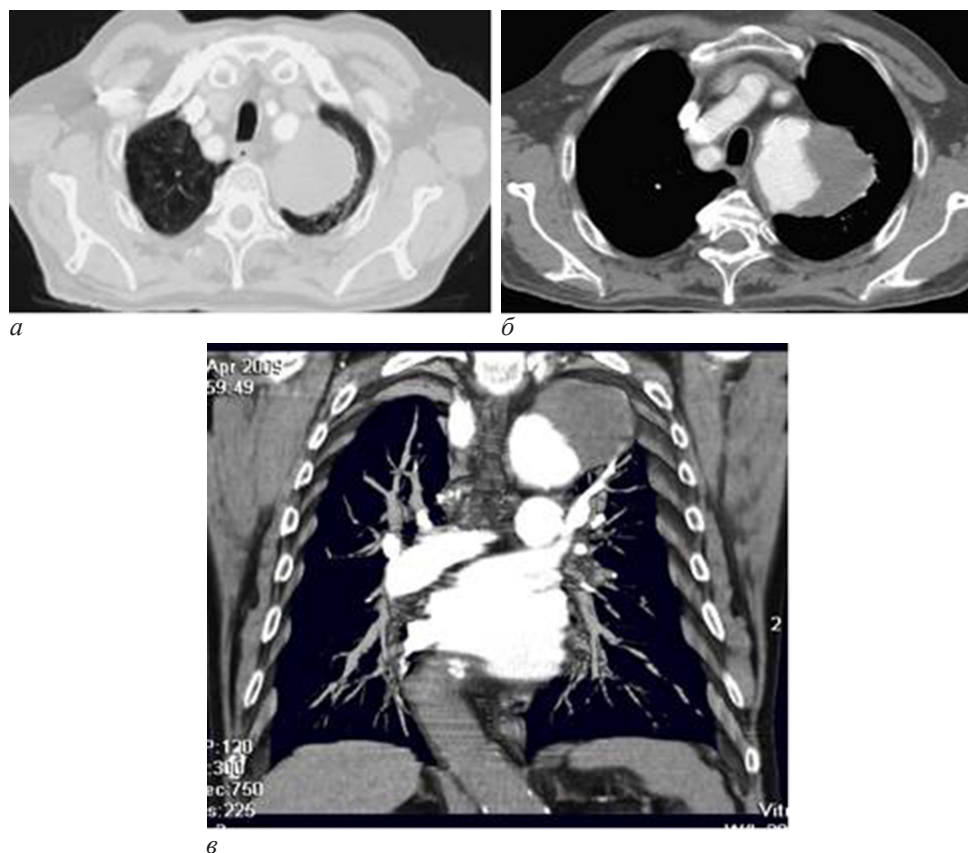


Рис. 1. МСКТ исследование у пациентки К., 70 лет.

При нативном обследовании (а) выявлено образование верхней доли левого легкого. При выполнении МСКТ-ангиографии (б, в) определяется выраженное расширение дуги аорты, большая ее часть не заполняется контрастом. Установлен диагноз: «Тромбированная аневризма аорты»

Fig. 1. MDCT in patient K., 70 years old.

Native examination (a) revealed the mass of the upper lobe of the left lung. MDCT angiography (b, c) – a pronounced expansion of the aortic arch is determined, and most of it is not filled with contrast. The mass appeared to be thrombosed aneurysm of aortic arch

дартизированной методикой, в отличие от лучевой диагностики изменений в сосудах легких [20]. С помощью рентгеновских лучей возможно адекватное выявление признаков структурных изменений в легочной ткани. В то же время при развитии заболеваний легких патологический процесс затрагивает все без исключения анатомические структуры легких, в том числе страдает сосудистое русло легких, прежде всего, за счет его микроциркуляторного звена. Дальнейшее развитие представлений о сосудистых дисфункциях легких возможно лишь при условии использования новых диагностических технологий.

Среди рентгенологических методов для исследования сосудов легких используется рентгеновская компьютерная ангиопульмонография (МСКТА), которая предназначена для визуализации любых патологических процессов в органах грудной полости, для диагностики и стадирования образований средостения и паренхимы легких, дифференциальной диагностики и оценки соотношения тканевой или сосудистой структур, а также поиска тромбов в легочной артерии и ее ветвях, что наглядно показано на рис 1. Пациент К., 70 лет, был направлен на выполнение мультиспиральной компьютерной томографии с предварительным диагнозом «Новообразование левого легкого». При нативном исследовании (рис. 1, а) выявлено новообразование верхней доли левого легкого, что послужило поводом к назначению

КТ-ангиографии (рис. 1, б, в), после выполнения которой диагноз не подтвердился. Установлен диагноз: «Тромбированная аневризма аорты». Компьютерно-томографическая ангиография органов грудной полости проводится на мультиспиральных рентгеновских компьютерных томографах в условиях внутривенного болюсного контрастирования системы легочной артерии неионным контрастным веществом. Сканирование проводится с небольшой толщиной среза (до 2 мм), что способствует выявлению минимальных дефектов заполнения сосудистого русла контрастным веществом. Оптимальным для визуализации дефектов заполнения сосудистого русла, определения поперечных размеров сосудов является дальнейшее построение реформаций изображения (MPR, MIP, VRT). Направление сканирования используется каудокраниальное, что позволяет уменьшить артефакты от интенсивно контрастировавшейся верхней полой вены и произвольных дыхательных движений (так как экскурсия грудной клетки в апикальных отделах меньше, чем в каудальных). Это имеет большое значение у больных с дыхательной недостаточностью, поскольку у них укорочено время задержки дыхания [21].

Современные мультиспиральные компьютерные томографы оснащены программным обеспечением, позволяющим не только оценивать морфотопометрические данные, но и изучать функциональные осо-

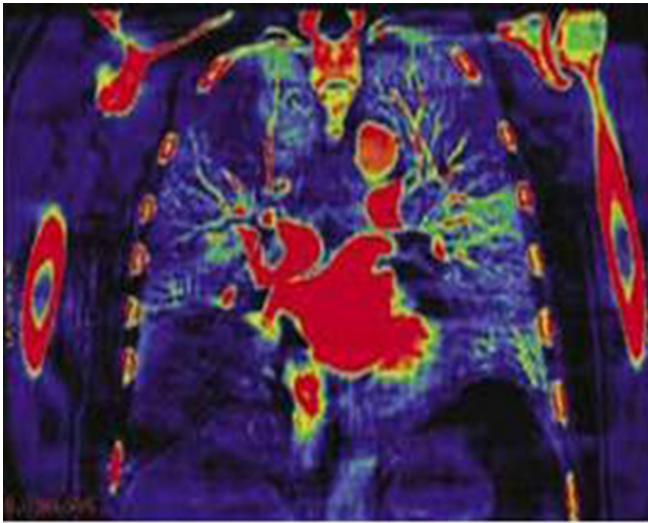


Рис. 2. Двухэнергетическая КТ, выполненная для диагностики ТЭЛА. Соответствие дефектов перфузии и уровня окклюзии легочной артерии тромбом

Fig. 2. Dual-energy CT, performed for the diagnosis of pulmonary embolism. Defects of pulmonary perfusion are in correspondence with pulmonary artery occlusion by thrombus

бенности как органов, так и различных процессов в них. Одной из таких методик является перфузионная КТ, при использовании протокола CT Perfusion Tumor возможно строить графики контрастного усиления, а затем в результате сложной математической обработки автоматически генерировать цветные карты перфузии. Теоретические основы перфузионной КТ были описаны L. Axel в 1979 г., однако использование метода в клинической практике стало возможным лишь в 1990-е гг. с появлением современных мультиспиральных компьютерных томографов [22, 23]. КТ-перфузия – относительно «молодой» диагностический метод, позволяющий оценить микроциркуляторные изменения, однако при диагностике патологии легких рекомендуется применять поверхностное дыхание, что не всегда позволяет правильно интерпретировать полученные данные. Кроме этого, результаты, получаемые при этом исследовании, не всегда поддаются патогенетическому объяснению и не всегда сопоставимы у разных исследователей [24, 25].

В последнее время находит применение двухэнергетическая МСКТ-КТ (рис. 2), которая позволяет получить информацию о типах и составе тканей и о кровообращении в легких. Оценка перфузии основана на введении йодсодержащих контрастных веществ в сосудистое русло, атомы йода распределяются в тканях пропорционально кровотоку.

При использовании этого метода диагностики при обработке исследования могут быть использованы специальные программные пакеты: «Syngo Pulmo CT» для оценки паренхиматозных изменений в легких, определении параметров плотности и структуры легочной паренхимы, что имеет важное клиническое значение в диагностике начальных форм эмфиземы; «Syngo DE Lung PBV» для оценки кровоснабжения ткани легких, позволяет оценить распределение контрастного вещества в паренхиме легких; «Syngo DE Lung Vessels» позволяет обнаруживать в легких кро-

веносные сосуды и ткани, кровообращение в которых отсутствует.

В пульмонологии находят широкое применение и методы магнитно-резонансной томографии (МРТ). Методика считается высокоинформативной при оценке состояния корней легких, средостения, плевральной полости и грудной стенки. МРТ позволяет получить трехмерное изображение исследуемой области, оценить состояние структур вплоть до их тканевой характеристики, изучить кровоток с получением цифровых значений, выполнить ангиографическое исследование без введения контрастного вещества. Основное преимущество метода – его неинвазивность и отсутствие связи с ионизирующим излучением. Ограничивает применение МРТ в диагностике заболеваний грудной полости продолжительность исследования и получение изображения вместе с артефактами от дыхательных и других движений, а также наличие у пациента искусственного водителя ритма сердца и протезов клапанов, что является абсолютным противопоказанием для выполнения МРТ. В клинической пульмонологии уже зарекомендовали себя такие методики, как магнитно-резонансная ангиопульмонография; вентиляционная магнитно-резонансная томография (рис. 3). Высокопольная магнитно-резонансная томография используется для поиска новообразований средостения и легких, в стадировании опухолей легких, определении перфузии легочной ткани, поиске источников кровотечения в легочной ткани и зон геморрагий. Магнитно-резонансная ангиография – метод, позволяющий оценить анатомические и функциональные особенности кровеносного русла малого круга кровообращения. Возможно выполнение МР-ангиографии без введения контрастных средств, так как движущаяся в сосудах кровь сама является контрастом, использование специальных МР-контрастных препаратов (Омнискан, Магневист и др.) позволяет улучшить качество получаемых изображений сосудов легких. С помощью МР ангиографии можно выявить мальформации и фистулы, тромбоэмболию ветвей легочной артерии. Эти методы могут применяться как самостоятельно, так и дополнительно у больных хронической обструктивной болезнью легких (ХОБЛ) при поиске сопутствующей патологии в легких. Вентиляционная магнитно-резонансная томография предназначена для исследования вентиляции легочной ткани, с использованием специальных поляризованных газов, что важно для диагностики ХОБЛ. По своей значимости сравнима с функциональной МСКТ. Методика газовой МРТ легких основана на применении гиперполяризованного газа  $^3\text{He}$  (гелия), который резко усиливает сигнал от воздуха в легких. Обычно выполняют на вдохе и выдохе серии аксиальных срезов, толщиной 10 мм.

Несмотря на широкое применение компьютерно-томографических методик и относительно «молодых» – магнитно-резонансных для диагностики нарушений кровообращения, основными методами изучения микроциркуляторного звена в кроветворной системе легких остаются методы радионуклидной диагностики. В 1955 г. G. V. Taplin et al. впервые предложили и стали использовать для диагностики

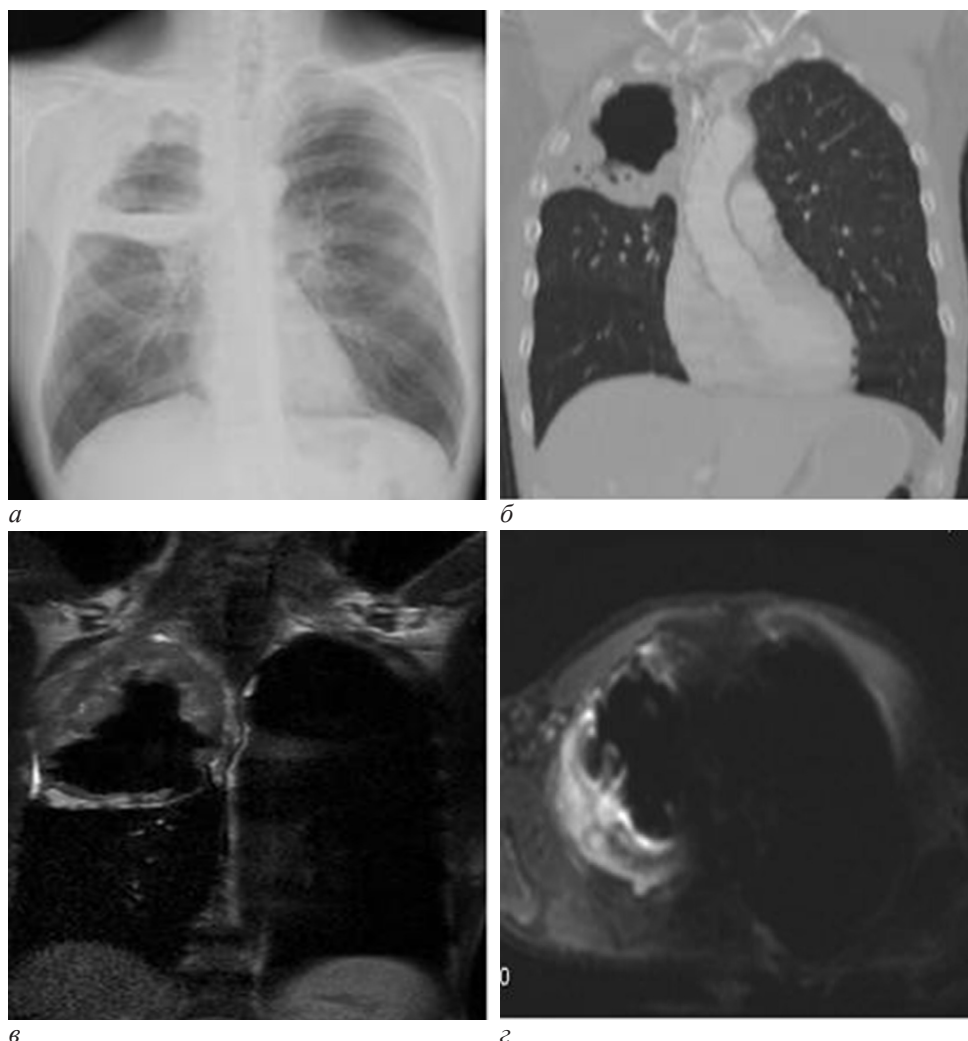


Рис. 3. МСКТ и МРТ исследования у пациента П., 57 лет с подозрением на рак Панкоста. На рентгенограмме (а) образование верхней доли правого легкого, При выполнении МСКТ (б) - объемное образование с полостью и с инвазией в мягкотканые структуры и прорастанием верхнедолевого бронха. При выполнении магнитно-резонансной томографии легких с контрастным усилением (в) (введен парамагнитный контрастный препарат Омнискан) и выполнением DWI. Инвазия в межреберные промежутки и частичное повреждение нервов

Fig. 3 MDCT and MRI studies in patient P., 57 years old with suspected cancer Pancoast.

On the radiograph (a) – a cavitory lesion in the upper lobe of the right lung. MDCT (b) – a mass with a cavity and invasion into soft tissue structures and occlusion of the upper lobe bronchus. Magnetic resonance imaging of the lungs with contrast enhancement (c) (the omniscan paramagnetic contrast agent was introduced). Invasion of the tumor to intercostal spaces and partial nerve damage are determined

нарушений кровообращения макроагрегаты альбумина сыворотки крови, меченные сначала  $^{131}\text{I}$ , затем  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  [26]. С этого времени в арсенале врачей оказались радионуклидные методики исследования микроциркуляции легких.

Все методики радионуклидной диагностики основаны на использовании так называемых радиофармацевтических препаратов (РФП) и специальных радиологических приборов (гамма-камер). Основным методом исследования кровообращения в легких традиционно является перфузионная сцинтиграфия (рис. 4, а). Метод основан на визуализации капиллярного русла легких с помощью  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -МАО (макроагрегаты альбумина человеческой сыворотки крови), меченные технецием – 99 (молибденовый генератор), при внутривенном введении эмболизируют небольшую часть капилляров легких и распределяются пропорционально кровотоку. Частицы МАО диаметром 10–40 мк не проникают в паренхиму легких, а вре-

менно окклюдуют капиллярный кровоток, при этом эмболизации подвергается 1:10 000 часть легочных капилляров, что не отражается на гемодинамике и вентиляции легких. Эмболизация длится в течение 5–8 ч [27–31]. В течение длительного времени перфузионная сцинтиграфия применялась совместно с вентиляционным исследованием, позволяющим определять локализацию и распространенность obstructивных изменений в легочной ткани. Оценка легочной вентиляции с помощью радиоизотопного сканирования (рис. 4, б) проводится при использовании воздушно-газовой смеси, содержащей радиоактивные изотопы ( $^{81}\text{Kr}$ ,  $^{133}\text{Xe}$ ,  $^{127}\text{Xe}$  или  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ), имеет свои ограничения, так как используется в ограниченном количестве изотопных лабораторий, оснащенных специальной аппаратурой [32–36].

Наиболее используемым в современной пульмонологии методом изучения микроциркуляции легких является перфузионная сцинтиграфия, позволяющая

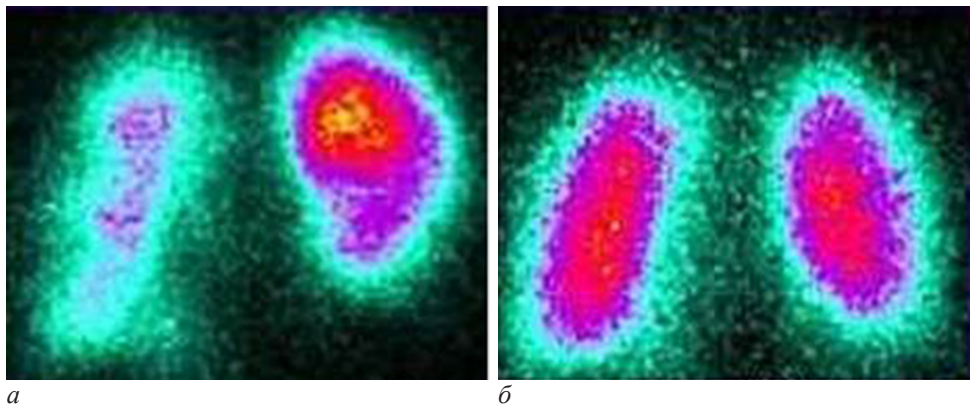


Рис. 4. Перфузионная (а) и вентиляционная (б) скintiграфии легких у пациентки Д., 56 лет, с подозрением на ТЭЛА.

По данным перфузионной скintiграфии легких, определяются множественные дефекты перфузии, по форме, близкой треугольной. При выполнении вентиляционной скintiграфии нарушений вентиляции не выявлено (участки несоответствия перфузии), что позволяет установить диагноз ТЭЛА

Fig. 4. Perfusion (a) and ventilation (b) lung scintigraphy in patient D., 56 years old, with suspected pulmonary embolism.

According to the data of perfusion scintigraphy of the lungs, multiple perfusion defects are determined, which are close in shape to triangular. When performing ventilation scintigraphy, no ventilation disorders were detected (areas of perfusion/ventilation mismatch), which allows the diagnosis of pulmonary embolism to be established

оценить состояние капиллярного кровообращения в любом участке легочной ткани. В последнее время одним из наиболее перспективных способов оценки микроциркуляции в легких является метод однофотонной эмиссионной компьютерной томографии легких (ОФЭКТ) (рис. 5).

Двухдетекторное сканирование позволяет получить полипозиционное изображение легких на продольных, боковых и поперечных срезах, оценить состояние лимфатических узлов средостения, восстановить объемную реконструкцию объекта. Качество изображения и информативность исследования

увеличиваются за счет повышения разрешающей способности до 0,5 см, в сравнении с 3 см традиционной методики. Сопоставление данных радиологического исследования (ОФЭКТ) и рентгенологического (МСКТ) путем совмещения результатов с использованием специальных компьютерных программ или использование гибридных сканеров (ОФЭКТ/КТ) (рис. 6) позволяет одновременно оценить структурные изменения и микроциркуляцию любого участка легочной ткани, что особенно важно для выявления диагностики у пациентов с сопутствующей патологией и при коморбидных состояниях [34–39].

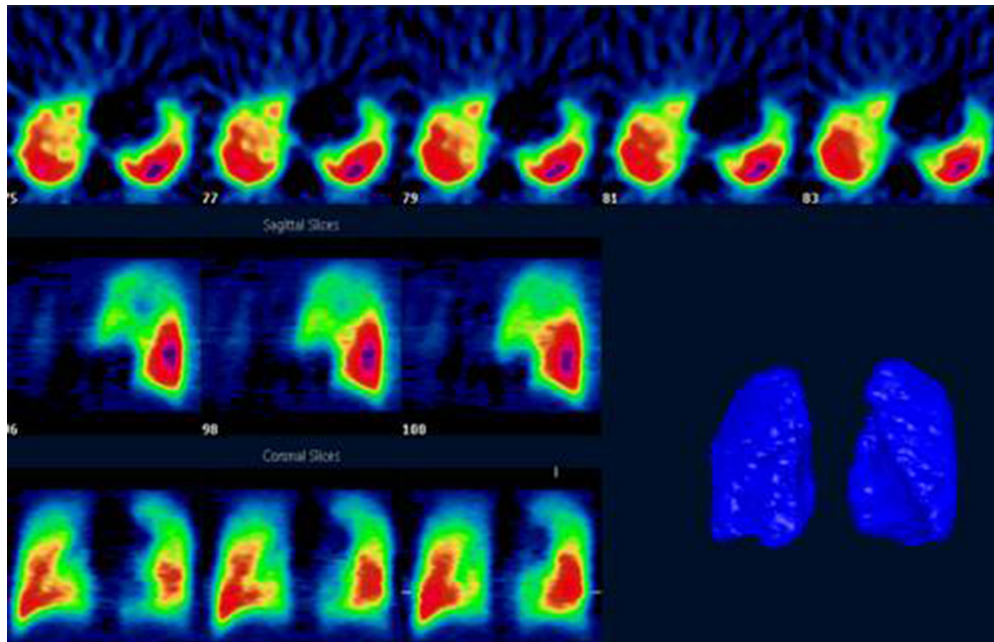


Рис. 5. Однофотонная эмиссионная компьютерная томография (ОФЭКТ) легких пациентки Л., 48 лет. Диагноз: «Саркидоз легких 2-й стадии». Полипозиционное изображение легких на продольных, боковых и поперечных срезах и объемная реконструкция легких

Fig. 5. Single photon emission computed tomography (SPECT) of the patient's lungs. Female 48 years old. The diagnosis of pulmonary sarcoidoses stage 2. Multipositional image of the lungs in longitudinal, lateral and transverse sections and volumetric reconstruction of the lungs

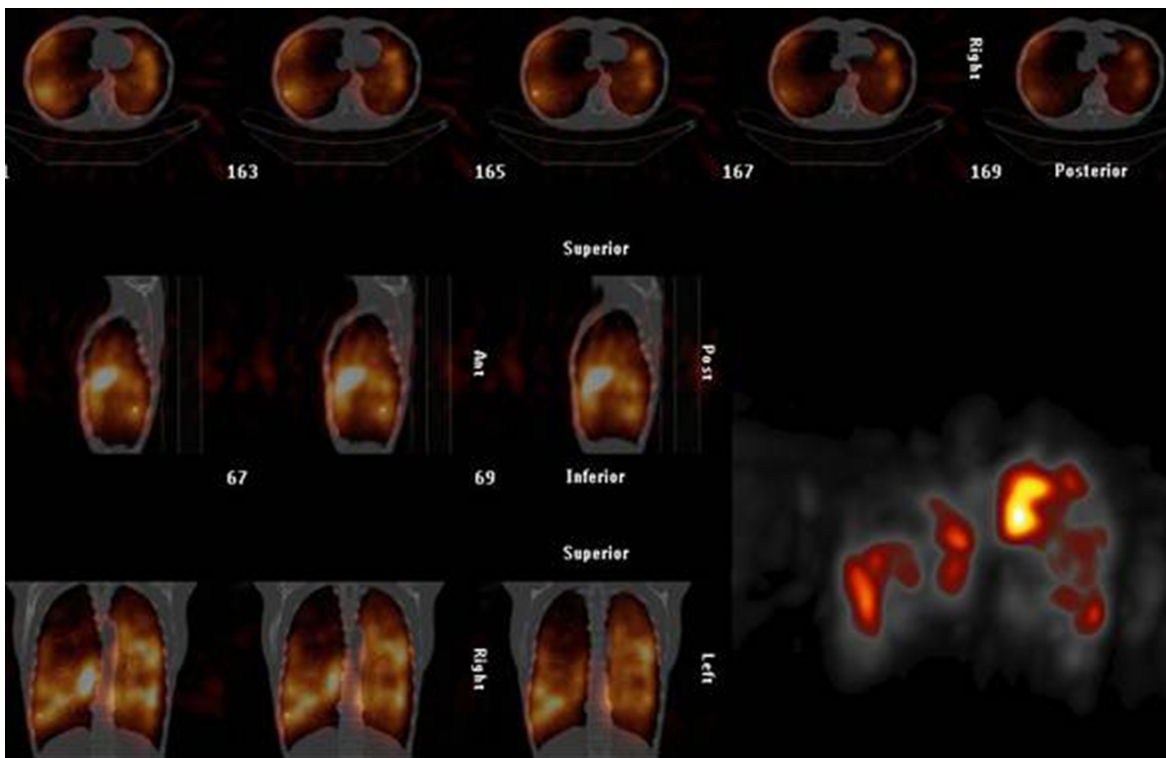


Рис. 6. ОФЭКТ/КТ легких пациента Г., 62 лет. Диагноз: «Хроническая обструктивная болезнь легких». Выявлены локальные дефекты перфузии, соответствующие буллезным изменениям паренхимы легких  
 Fig. 6. SPECT/CT of the lungs of patient D., 62 years old. The diagnosis of chronic obstructive pulmonary disease. Local perfusion defects corresponding to bullous changes in the lung parenchyma were revealed

Необходимо отметить, что до настоящего времени неясно, есть ли преимущества у гибридных сканеров по сравнению с компьютерными программами для совмещения цифровых изображений, которые были получены на разных диагностических аппаратах, так как результатом обоих подходов бывают совмещенные изображения. В литературе многократно проводилось сравнение диагностической точности перфузионной сцинтиграфии, перфузионно-вентиляционной сцинтиграфии и однофотонной эмиссионной компьютерной томографии. Чувствительность перфузионно-вентиляционной сцинтиграфии, по данным разных авторов, составляла от 89 до 100 %, а специфичность от 85 до 100 %. Чувствительность и специфичность однофотонной эмиссионной компьютерной томографии оценивалась без вентиляционного исследования в пределах 93–97 %, а специфичность – до 91–94 % [36–38]. Практическая реализация радионуклидных методик позволила установить тот факт, что перфузионная сцинтиграфия/ОФЭКТ легких (с макроагрегатами, мечеными гамма-излучателями) является наиболее точным и эффективным с практической точки зрения способом распознавания нарушений капиллярного кровообращения в малом круге [35, 39, 40]. Кроме того, этот метод диагностики абсолютно безопасен для пациентов, страдающих заболеваниями почек, не оказывает нефротоксического воздействия, не влияет на сосудистую стенку и не вызывает аллергических реакций.

Однако до настоящего времени в повседневной практике врачей лучевой диагностики, пульмонологов и терапевтов радионуклидные исследования легких не находят активного применения при об-

следованиях пациентов. Больные обследуются редко и по ограниченному числу показаний, в том числе с тромбозом легочной артерии, с хронической обструктивной болезнью легких, а также с различными интерстициальными патологиями легких. Основные работы, посвященные этой теме, опубликованы достаточно давно [41, 46–49]. В них были определены основные принципы диагностики изменений кровообращения в легких у больных при проведении вентиляционно-перфузионной сцинтиграфии: совпадение по локализации дефектов легочной вентиляции и перфузии; обратное несоответствие – появление перфузируемых, но не вентилируемых участков легких, что расценивалось как нарушение оттока крови от плохо вентилируемых легочных сегментов. В этих работах оценивались изменения кровообращения в легких у больных без деления их по степени тяжести заболевания, а также без учета преимущественной локализации поражения, от изменения перфузии у больных с ХОБЛ разных фенотипов. Гетерогенная выборка пациентов и различия в степени тяжести заболевания вызывают сомнения в возможности применения выводов этих авторов на современном этапе развития лучевой диагностики [35, 50].

Большинство публикаций о нарушениях кровообращения в легочной ткани связано с необходимостью оценки степени редукции кровотока в легких у больных с ТЭЛА и ХОБЛ тяжелого течения с гетерогенным распределением эмфиземы, в том числе перед выполнением оперативного вмешательства по уменьшению объема легких; исследования проводились для определения объема перфузируемой легочной ткани, т. е. для оценки функционального резерва

легких, который должен принять на себя основные функции газообмена после хирургического уменьшения объема легких или буллэктомии [51–56]. В исследованиях не отражена связь изменений микроциркуляции от выявляемого субтипа морфологических изменений в легких у больных ХОБЛ [57, 58].

Менее изученными являются ранние этапы развития заболеваний легких, когда не выявляются функциональные изменения проводящей функции бронхов и нет существенных изменений в паренхиме легких. Однако известно, что, например, при ХОБЛ, вследствие воспаления, изменяется сосудистая стенка: происходит ее утолщение за счет пролиферации эндотелия и гипертрофии мышечной оболочки [59–62].

Нашли свое применение радионуклидные методы исследования и при интерстициальных заболеваниях. При большинстве интерстициальных заболеваний легких (ИЗЛ) сцинтиграфическая картина довольно однотипна (за исключением, пожалуй, гистиоцитоза X). Перфузионные расстройства заключаются в диффузной неравномерности распределения радиофармпрепарата (РФП), на фоне которой могут появляться «холодные» зоны. И поскольку эти нарушения обычно возникают раньше, чем рентгенологические признаки болезни, то обоснованность и эффективность использования сцинтиграфии легких при ИЗЛ не вызывает сомнений [63, 64].

Анализируя литературные источники, посвященные проблеме радионуклидной диагностики ИЗЛ, можно заметить, что большинство публикаций посвящены изучению саркоидоза легких. В этих работах показано, что сцинтиграфически значимые изменения перфузии при саркоидозе выявляются у 60–85 % больных даже на I стадии заболевания, когда рентгенологические данные об изменениях в легочной ткани обычно отсутствуют [65–70]. Этот факт до сих пор остается дискуссионным, хотя неоднократно обсуждался в литературе и на научных конференциях. В последние годы установлено, что морфологические изменения в легочной ткани при саркоидозе I стадии не выявляются и по данным компьютерной томографии. В связи с этим, наиболее предпочтительным следует признать мнение, что речь идет преимущественно о функциональных нарушениях микроциркуляции, причем эти дисфункции обратимы, если своевременно проводится адекватное лечение. Это положение представляется нам крайне важным, так как подтверждает мысль о необходимости совершенствования ранней лучевой диагностики интерстициальных заболеваний легких.

Научных публикаций по радионуклидной диагностике гистиоцитоза X, фиброзирующих альвеолитов, особенно лейомиоматоза, гораздо меньше [71–75]. Во встретившихся публикациях обычно подчеркивается мысль, что наибольшее значение радионуклидная диагностика приобретает здесь в оценке тяжести и в контроле за динамикой патологического процесса, в то время как нозологическая диагностика должна осуществляться по данным рентгеновской компьютерной томографии.

На особом месте стоит проблема радионуклидной диагностики при пневмокониозах. Это связано

с большим числом форм пневмокониозов по этиологическому фактору с хорошо разработанной клинико-рентгенологической характеристикой, с учетом стадии процесса и формы, а также необходимостью проведения клинико-функциональной характеристики [76].

В литературе иногда высказываются положения о том, что радионуклидное исследование практически не влияет на постановку диагноза пневмокониоза. С этим можно согласиться лишь в определенной мере. Действительно, решающую роль в установлении диагноза пневмокониоза играет рентгенологическое исследование, особенно рентгеновская компьютерная томография, позволяющая выявить в легочной ткани мелкие узелки размерами 1 мм или начальные проявления интерстициальных изменений. Вместе с тем в научных публикациях подчеркивается, что радионуклидные исследования зачастую позволяют увидеть больше изменений, чем рентгеноморфологическое исследование. Н. Влахов и Г. Тешев (1983) [77], проведя комплексное рентгенорадионуклидное обследование больных хроническими заболеваниями легких, установили, что сцинтиграфически значимые нарушения перфузии отмечались у 98,57 % больных, в то время как рентгенологические данные были положительными у 87,14 % больных.

Аналогичное исследование было проведено в 1989 г. Н. Е. Черняковской и Н. Ю. Выренковой [78], которые рекомендуют выполнение радионуклидного исследования с целью ранней диагностики хронических заболеваний легких.

Трактовка характера этих перфузионных изменений остается дискуссионной. Видимо, это отражение функциональных сдвигов в легочной ткани, еще не проявляющееся структурно-анатомическими изменениями. Неслучайно в ряде публикаций подчеркивается, что изменения со стороны сердечно-сосудистой (хотя, зачастую, и скрытые) обнаруживаются уже в начальных стадиях силикоза [79, 80]. Это положение делает задачу научного познания природы расстройств кровообращения в легких при пневмокониозах достаточно актуальной.

Не менее важным является применение радионуклидной диагностики в оценке тяжести патологического процесса как контрольного теста для наблюдения за динамикой в процессе лечения. Сцинтиграфическая картина у пациентов с заболеваниями легких зависит от степени нарушений кровообращения и состояния паренхимы и может достоверно изменяться на фоне терапии с частичным восстановлением кровотока в менее измененных участках легочной паренхимы [81].

Несомненно, наше понимание заболеваний легких связано не только с самим распознаванием структурных изменений в паренхиме легочной ткани, но и с нарушениями функционального состояния легочных сосудов, а также с раскрытием причин возникновения болезни. Большой арсенал лучевых методов исследования позволяет решать различные задачи для выявления заболеваний легких, но всегда должна быть целесообразность их применения, исходя из диагностических возможностей каждого метода исследования.



**Конфликт интересов / Conflict of interest**

Авторы заявили об отсутствии конфликта интересов. / The authors declare no conflict of interest.

**Литература / References**

1. Гарвей В. Анатомическое исследование о движении сердца и крови животных / АН СССР. – 1948. – 236 с. [Garvej V. Anatomical study of the movement of the heart and blood of animals. USSR Academy of Sciences. 1948:236. (In Russ.)].
2. Изаксон Э. О патолого-анатомических изменениях легочных сосудов при эмфизематозном процессе в легких: дис... д-ра мед. – СПб., 1870 // Изаксон Э. О патолого-анатомических изменениях легочных сосудов при эмфизематозном процессе в легких // Пульмонология. – 2005. – № 4. – С. 42–52. [Isakson Je. About the patho-anatomical changes of the pulmonary vessels during emphysematous process in the lungs: Thesis for the degree of doctor of medicine. SPb., 1870. Isakson E. On the pathoanatomical changes of the pulmonary vessels during emphysematous process in the lungs: Dis ... Dr. med. SPb., 1870. Pul'monologija. 2005;4:42–52. (In Russ.)].
3. Физиология и патофизиология легочных сосудов / под ред. Е. К. Уэйра, Дж. Т. Ривса; пер. с англ. В. Е. Богдатьяева, И. Н. Зак. – М.: Медицина, 1995. – 668 с. [Physiology and pathophysiology of the pulmonary vessels / ed. E. I. Weir, J. T. Reeves (translated from English). M., Medicine, 1995:672. (In Russ.)].
4. Дворецкий Д. П. Физиологическая оценка артерио-венозных анастомозов в малом круге кровообращения // Физиол. журн. СССР. – 1973. – Т. 59, № 2. – С. 299–306. [Dvoretzky DP. Physiological assessment of arterio-venous anastomoses in the pulmonary circulation. Fiziol. zhurn. THE USSR. 1973;59(2):299–306. (In Russ.)].
5. Дворецкий Д. П., Ткаченко Б. И. Гемодинамика в легких. – М.: Медицина, 1987. 288 с. [Dvoretzky DP, Tkachenko BI. Hemodynamics in the lungs. M., Medicine, 1987:288. (In Russ.)].
6. Wagenvoort CA, Wagenvoort N. Arterial anastomoses, bronchopulmonary arteries and pulmobronchial arteries in perinatal lungs. Lab. Invest. 1967;16:13–14. Doi: 10.1016/s0046-8177(85)80281-1.
7. Механика кровообращения / К. Каро, Т. Педли, Р. Шротер, У. Сид. – М.: МИР, 1981. 624 с. [Karo K, Pedley T, Schrother R, Sid U. Circulatory Mechanics. Publishing house «MIR» Moscow. 1981:624. (In Russ.)].
8. Бисенков Н. П. Анатомо-физиологические обоснования оперативных вмешательств на легких и органах средостения // Груд. хир. – 1963. – № 5. – С. 24–26. [Bisenkov NP. Anatomical and physiological substantiation of surgical interventions on the lungs and organs of the prostate, Breast surgery. 1963;5:24–26. (In Russ.)].
9. Reid L. Structural and functional reappraisal of the pulmonary artery system. In Scientific Basis of Medicine Annual Reviews. London: Athlone, 1968:289–307. Doi: 10.1002/bjs.1800551026.
10. Респираторная медицина: руководство: в 3 т. / под ред. А. Г. Чучалина. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2017. (In Russ.). URL: <http://www.rosmedlib.ru/book/ISBN9785423502621.html> (дата обращения 12.02.2019).
11. Уэст Д. Б. Патофизиология органов дыхания / пер. с англ. под ред. А. И. Синопальникова. – М.: БИНОМ, 2008. – 232 с. [West DB. Pathophysiology of the respiratory system. Per. from English Edited by AI. Sinopalnikov. M., BINOM, 2008:232. (In Russ.)].
12. Шершевский Б. М. Кровообращение в малом круге. – М.: Медицина, 1970. – 304 с. [Shershevsky BM. Blood circulation in a small circle. M., Medicine, 1970:304. (In Russ.)].
13. Glazier JB, Hughes JMB, Maloney JE, West JB. Measurements of capillary dimensions and blood volume in rapidly frozen lungs. J Appl Physiol. 1969. 26:65–76. Doi: 10.1152/jap.1969.26.1.65.
14. Gil J. Organization of the microcirculation of the lung. Annu Rev Physiol. 1980;42:177–186. Doi: 10.1146/annurev.ph.42.030180.001141.
15. Vasilyev GF. Respiratory system. European journal of biomedical and life sciences. 2015;3:101–107. Doi:org/10/20534/elbis-15-3-101-107.
16. West JB. Ventilation-perfusion relationships. Amer. Rev. resp. Dis. 1977;116(5):919–943. Doi: 10.1016/s0140-6736(63)90024-2.
17. West JB. Ventilation/Blood Flow and Gas Exchange (5th ed). Oxford: Blackwell Scientific, 1990;1–120. Doi: 10.1056/nejm199107253250420.
18. Wagner PD, Laravuso RB, Uhl RR, West JB. Continuous distributions of ventilation-perfusion ratios in normal subjects breathing air and 100% O<sub>2</sub>. J Clin Invest. 1974.54:54–68. Doi: 10.1172/jci107750.
19. Гайдес М. А. Регуляция вентиляции и перфузии легких: URL: <http://www.medlinks.ru/article.php.sid=26509> (дата обращения 12.02.2019). [Gaides MA. Regulation of ventilation and perfusion of the lungs. Available at: <http://www.medlinks.ru/article.php.sid=26509> (accessed 12.02.2019).
20. Hanania NA, Marciniuk DD. A Unified Front Against COPD: Clinical Practice Guidelines From the American College of Physicians, the American College of Chest Physicians, the American Thoracic Society, and the European Respiratory Society. Chest. 2011;140(3):565–566. Doi: 10.1378/11-1152.
21. Тюрин И. Е. Компьютерная томография органов грудной полости. – СПб.: ЭЛБИ-СПб, 2003. 371 с. [Tyurin IE. Computed tomography of the chest cavity organs. SPb., ELBI-SPb., 2003:371. (In Russ.)].
22. Kim S, Kamaya A, Willmann J. CT Perfusion of the Liver: Principles and Applications in Oncology. Radiology. 2014;272(2):322–344. Diu: 10.1148/radiol.14130091.
23. Axel L. Cerebral blood flow determination by rapid-sequence computed tomography: theoretical analysis. Radiology. 1980;137(3):679–686. Doi: 10.1148/radiology.137.3.7003648.
24. Ng C, Chandler A, Wei W, Anderson E, Herron D, Charnsangavej C, Kurzrock R. Reproducibility of Perfusion Parameters Obtained From Perfusion CT in Lung Tumors. American Journal of Roentgenology. 2011;197(1):113–121. Doi: 10.2214/ajr.10.5404.
25. Силантьева Н. К., Петросян А. П., Каприн А. Д. и др. Дифференциальная диагностика одиночных очагов легких: что дает перфузионная компьютерная томография // Росс. электрон. журн. лучевой диагностики. – 2018. – Т. 8, № 4. – С. 83–94. [Silanteva NK, Petrosian AP, Kaprin AD, Ivanov SA, Usacheva AYU, Mozerov SA, Kupriyanova EI. Differential diagnosis of solitary pulmonary nodule: what does ct-perfusion give? Russian electronic journal of radiology. 2018;8(4):83–94. (In Russ.)]. Doi: 10.21569/2222-7415-2018-8-4-83-94.
26. Taplin GV, Johnson DE, Dore EK. Lung photoscans with macroaggregates of human serum radioalbumin: experimental basis and initial clinical trials. Health Phys. 1964;10:1219–1227. Doi: 10.1097/00004032-196412000-00043.
27. Боголюбов В. М. Радиоизотопная диагностика заболеваний сердца и легких. – М.: Медицина, 1975. – 256 с. [Bogolyubov VM. Radioisotope diagnosis of diseases of the heart and lungs. M., Meditsina, 1975:256. (In Russ.)].

28. Корсунский В. Н., Ромагин В. К. Радионуклидные исследования легких / Стандартизованные методики радиоизотопной диагностики. Обнинск, 1987. С. 220–229. [Korsunsky VN, Romagin VK. Radionuclide studies of the lungs / Standardized radioisotope diagnostic techniques. Obninsk, 1987:220–229. (In Russ.)].
29. Лышманов Ю. Б., Кривоногов Н. Г., Завадовский К. В. Радионуклидная диагностика патологии малого круга кровообращения. – Томск: STT, 2004. – 204 с. [Lishmanov YuB, Krivonogov NG, Zavadovsky KV. Radionuclide diagnosis of pathology of the pulmonary circulation. Tomsk, STT, 2004:204. (In Russ.)].
30. Национальное руководство по радионуклидной диагностике: в 2 т. Т. 2 / под ред. Ю. Б. Лышманова, В. И. Чернова. – Томск: STT, 2010. – 418 с. [National guidelines for radionuclide diagnostics in 2 tons. [Ed. YuB Lishmanova, VI Chernov]. Tomsk, STT, 2010. T. 2:418. (In Russ.)].
31. Радионуклидная оценка альвеолярно-капиллярной проницаемости для раннего распознавания нозологической принадлежности инфильтрата в легком / Ю. Б. Лышманов, Н. Г. Кривоногов, А. В. Агеева, Т. С. Дубоделова // Пульмонология. – 2011. – № 4. – С. 60–64. [Lishmanov YuB, Krivonogov NG, Ageeva AV, Dubodelova TS. Radionuclide assessment of alveolar-capillary permeability for early recognition of the nosological origin of infiltrate in the lung. Pulmonology. 2011;4:60–64. (In Russ.)].
32. Рубин М. П., Кулешова О. Д., Чечурин Р. Е. Радионуклидная перфузионная сцинтиграфия легких: методика исследования и интерпретация результатов // Радиология-практика. – 2002. – № 4. – С. 16–21. [Rubin MP, Kuleshov OD, Chechurin R.Ye. Radionuclide perfusion lung scintigraphy: methods of research and interpretation of results. Radiology practice. 2002;4:16–21. (In Russ.)].
33. Рубин М. П. Радионуклидные методы диагностики функциональных нарушений легких в амбулаторных условиях // Терапевт. арх. – 2008. – № 1. – С. 10–16. [Rubin MP. Radionuclide methods for the diagnosis of functional disorders of the lungs in the outpatient setting. Therapeutic archive. 2008;1:10–16. (In Russ.)].
34. Габуня Р. И. Перфузионная и ингаляционная пульмоносцинтиграфия. Клиническая рентгенодиагностика. – М.: Медицина, 1985. – С. 85–93. [Gabunia RI. Perfusion and inhalation pulmonoscintigraphy. Clinical X-ray Radiology. M., Medicine, 1985:85–93. (In Russ.)].
35. Бондарь В. Г., Хелимская И. В. Современные методы оценки микроциркуляции у курящих лиц и пациентов с хронической обструктивной болезнью легких // Справ. врача общей практики. – 2016. – Т. 32, № 2. – С. 32–39. [Bondar VG, Khelimskaia IV. Modern methods of microcirculation assessment in smokers and patients with chronic obstructive pulmonary disease. Directory of general practitioner. 2016;2:32–39. (In Russ.)].
36. Радионуклидная диагностика тромбоэмболии легочной артерии: визуализации перфузии и вентиляции легких, оценка сократимости правого желудочка / К. В. Завадовский, А. Н. Панькова, Н. Г. Кривоногов, Ю. Б. Лышманов // СМЖ. – 2011. – № 2-1. [Zavadovsky KV, Pankova A.N., Krivonogov NG, Lishmanov YuB. Radionuclide diagnosis of pulmonary embolism: visualization of perfusion and ventilation of the right ventricular contractility. SMZH. 2011;2-1. (In Russ.)].
37. Vajc M, Neilly JB, Miniati M. EANM guidelines for ventilation/perfusion scintigraphy. Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging. 2009;36:1356–370. Doi: 10.1007/s00259-009-1170-5.
38. Совмещенные технологии в диагностике сосудистой патологии / В. И. Амосов, В. П. Золотницкая, О. В. Лукина, А. А. Сперанская // Ученые записки СПбГМУ им. акад. И. П. Павлова. – 2009. – Т. 16, № 3. – С. 26–27. [Amosov VI, Zolotnitskaya VP, Lukina OV, Speranskaya AA. Combined technologies in the diagnosis of vascular pathology. Scientific notes SPbGMU them. Acad. I. P. Pavlova. 2009;16(3):26–27. (In Russ.)].
39. Амосов И., Золотницкая В. П., Лукина О. В. Лучевые методы в диагностике осложнений хронической обструктивной болезни легких // Лучевая диагностика и терапия. – 2010. – Т. 3, № 2. – С. 37–39. [Amosov I, Zolotnitskaya VP, Lukina OV. Radiation techniques in the diagnosis of complications of chronic obstructive pulmonary disease. Tracheal diagnosis and therapy. 2010;3(2):37–39. (In Russ.)].
40. Горбунов Н. А., Липтев В. Я., Кочура В. И. Особенности лучевой диагностики хронической обструктивной болезни легких на современном этапе // Лучевая диагностика и терапия. – 2011. – Т. 4, № 2. – С. 33–39. [Gorbunov NA, Liptev VYa, Kochura VI. Features of radiation diagnosis of chronic obstructive pulmonary disease at the present stage. Radiology and therapy. 2011;4(2):33–39. (In Russ.)].
41. Горбунов Н. А., Дергилев А. П., Сидорова Л. Д. Лучевая диагностика обострений хронической обструктивной болезни легких // Бюлл. Восточно-Сибир. науч. центра РАН. – 2014. – Т. 95, № 1. – С. 102–111. [Gorbunov NA, Dergilev AP, Sidorova LD. Radiological diagnosis of exacerbations of chronic obstructive pulmonary disease. Bulletin of the East-Siberian Scientific Center of the Russian Academy of Medical Sciences. 2014;1(95):102–111. (In Russ.)].
42. Suga K, Kawakami Y, Iwanaga H. Automated breath-hold perfusion SPECT/CT fusion images of the lungs. Am. J. Roentgenol. 2007;189(2):455–463. Doi: 10.2214/ajr.06.1290.
43. Hasegawa B. SPECT and SPECT-CT. 92-nd Scientific assembly and annual meeting Radiologic Society of North America. 2006:171. Doi: 10.3109/9781420016468-14.
44. Тюрин Е. И., Амосов В. И., Амоаший Г. С. Лучевая диагностика бронхиальной обструкции // Вестн. рентгенол. и радиол. – 1992. – № 1. – С. 18. [Tyurin EI, Amosov VI, Amoashy GS. Radiological diagnosis of bronchial obstruction. Herald of radiology and radiology. 1992;1:18. (In Russ.)].
45. Тюрин И. Е. Методы визуализации хронической обструктивной болезни легких // Хроническая обструктивная болезнь легких: монография / под ред. А. Г. Чучалина. – М.: Атмосфера, 2008. – С. 231–264 [Tyurin IE. Imaging methods for chronic obstructive pulmonary disease / Chronic obstructive pulmonary disease: monograph / Under. ed. Chuchalina AG. M., Atmosphere, 2008:231–264. (In Russ.)].
46. Тюрин И. Е. Визуализация хронической обструктивной болезни легких // Практик. пульмонолог. – 2014. – № 2. – С. 40–47. [Tyurin IE. Visualization of chronic obstructive pulmonary disease. Practical pulmonology. 2014;2:40–47. (In Russ.)].
47. Амосов В. И., Золотницкая В. П., Лукина О. В. и др. Микроциркуляторные дисфункции у больных хронической обструктивной болезнью легких // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. – 2005. – Т. 4, № 3. – С. 41–45. [Amosov VI, Zolotnitskaya VP, Lukina OV, Kuzubova NA, Osipov NP. Microcirculatory dysfunctions in patients with chronic obstructive pulmonary disease. Regional blood circulation and microcirculation. 2005;4(3):41–45. (In Russ.)].
48. Золотницкая В. П., Лукина О. В. Значение лучевой диагностики в исследовании легочной перфузии у больных ХОБЛ // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. – 2007. – Т. 6, № 3. – С. 34–38. [Zolotnitskaya VP, Lukina OV. The value of radiation diagnosis in the study of pulmonary perfusion in patients with COPD. Regional blood circulation and microcirculation. 2007;6(3):34–38. (In Russ.)].
49. Carlos H, Chen Y-H, Westgate PhM. COPD Gene Investigators Relationship between quantitative CT metrics

and health status and BODE in chronic obstructive pulmonary disease Thorax. 2012;67:399–406. Doi: 10.1136/thoraxjnl-2011-201185.

50. Кароли Н. А., Ребров А. П. Смертность при хронической обструктивной болезни легких. Роль коморбидности // Клин. мед. – 2006. – № 7. – С. 397–412. [Karoli NA, Rebrov AP. Mortality in chronic obstructive pulmonary disease. The role of comorbidity. Clinical medicine. 2006;7:397–412. (In Russ.)].

51. Кудряшова Н. Е., Ермолов А. С., Мигунова Е. В. и др. Радионуклидный метод при неотложных состояниях и осложнениях острых заболеваний и травм // НМП. – 2014. – № 2. – С. 14–19. [Kudryashova NYe, Yermolov AS, Migunova EV, Sinyakova OG, Gurok EA. Scintigraphy in urgent conditions and complications of acute diseases and traumas. Sklifosovsky research Institute for Emergency Medicine. 2014;2:14–19. (In Russ.)]. Doi: 10.23934/2223-9022-2017-6-2-118-123.

52. Лукина О. В. Лучевая диагностика тромбозов легочной артерии у больных с эмфизематозным фенотипом хронической обструктивной болезни легких // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. – 2013. – Т. 12, № 1. – С. 34–38. [Lukina OV. Radiological diagnosis of pulmonary thromboembolism in patients with emphysematous phenotype chronic obstructive pulmonary disease. Regional blood circulation and microcirculation. 2013;12(1):34–38. (In Russ.)].

53. Акрамова Э. Г. Проблемы диагностики коморбидных форм хронической обструктивной болезни легких // Научное обозрение. Мед. науки. – 2016. – № 3. – С. 5–22. [Akramova EG. Problems of diagnosis of comorbid forms of chronic obstructive pulmonary disease. Scientific Review. Medical sciences. 2016;3:5–22. (In Russ.)]. Doi: 10.17750/kmj2015-496.

54. Fishman A, Martinez F, Naunheim K. A randomized trial comparing lung-volume-reduction surgery with medical therapy for severe emphysema. N. Engl. J. Med. 2003;348:2059–2073. Doi: 10.1056/nejmoa030287.

55. Mohamed Hoessein FA, de Jong PA. Landmark papers in respiratory medicine: Automatic quantification of emphysema and airways disease on computed tomography. Breathe. 2016;12(1): 79–81. Doi: 10.1183/20734735.013415.

56. Calverley PM, Martinez FJ, Fabbri LM. Does roflumilast decrease exacerbations in severe COPD patients not controlled by inhaled combination therapy? The REACT study protocol. Int. J. Chron. Obstruct. Pulmon. Dis. 2012;7:375–382. Doi: 10.2147/copd.s31100.

57. Celli BR, MacNee W. Standards for the diagnosis and treatment of patients with COPD: a summary of the ATS/ERS position paper. Eur. Respir. J. 2004;23(6):932–946. Doi: 10.1183/09031936.04.00014304.

58. Voelkel NF, Cool CD. Pulmonary vascular involvement in chronic obstructive pulmonary disease. Eur. Respir. J. Suppl. 2003;46(11):28–32. Doi: 10.1183/09031936.03.00000503.

59. Zakynthinos E, Daniil Z, Papanikolaou G, Makris D. Pulmonary Hypertension in COPD: Pathophysiology and Therapeutic Targets Drug Targets. 2011. Jan 3. [Epub ahead of print] PMID.-e. 21194405. Doi: 10.2174/138945011794751483.

60. Кузубова Н. А., Гичкин А. Ю., Суркова Е. А., Титова О. Н. Роль системного воспаления и эндотелиальной дисфункции в развитии левожелудочковой недостаточности у больных хронической обструктивной болезнью легких // Пульмонология. – 2013. – Т. 4, № 4. – С. 41–45. [Kuzubova NA, Gichkin AYu, Surkova EA, Titova ON. The role of systemic inflammation and endothelial dysfunction in the development of left ventricular failure in patients with chronic obstructive pulmonary disease. Pulmonology 2013;4(4):41–45. (In Russ.)]. Doi: /10.18093/0869-0189-2013-0-4-41-45.

61. Неклюдова Г. В., Черняев А. Л., Черняк А. В. и др. Морфофункциональные изменения сосудов системы легочной артерии при вторичной легочной гипертензии, обусловленной ХОБЛ // Пульмонология. – 2006. – № 4. – С. 21–25. [Neklyudova GV, Chernyaev AL, Chernyak AV, Samsonova MV, Tarasenko IYu, Vykanova AV, Naumenko ZhK. Morphofunctional changes in the vessels of the pulmonary artery system in secondary pulmonary hypertension caused by COPD. Pulmonology. 2006;4:21–25. (In Russ.)].

62. Шмелев Е. И. Стратегические аспекты лечения больных хронической обструктивной болезнью легких // Терапевт. арх. – 2011. – Т. 83, № 8. – С. 5–10. [Shmelev EI. Strategic aspects of the treatment of patients with chronic obstructive pulmonary disease. Therapeutic archive. 2011; 83(8):5–10. (In Russ.)].

63. Амосов В. И., Сперанская А. А., Золотницкая В. П. Возможности лучевой диагностики в оценке сосудистых нарушений у больных с диссеминированными процессами в легких // Russian Electronic Journal of Radiology. – 2011. – Т. 2, № 1. – С. 36–46. [Amosov VI, Speranskaya AA, Zolotnitskaya VP. The possibilities of radiation diagnosis in the assessment of vascular disorders in patients with disseminated processes in the lungs. Russian Electronic Journal of Radiology. 2011;1(2):36–46. (In Russ.)].

64. Визель А. А., Визель И. Ю. Саркоидоз: международные согласительные документы и рекомендации // Русск. мед. журн. – 2014. – № 5. – С. 356–360. [Wiesel AA, Wiesel IYu. Sarcoidosis: international consensus documents and recommendations. Russian medical journal. 2014;5:356–360. (In Russ.)].

65. Баранова О., Перлей В., Гичкин А. и др. Особенности диагностики и течения тромбозов легочной артерии у больных саркоидозом органов дыхания // Врач. – 2012. – № 2. – С. 82–88. [Baranova O, Perley V, Gichkin A, Zolotnitskaya V, Speranskaya A, Ilkovich M. Features of diagnosis and course of pulmonary embolism in patients with sarcoidosis of the respiratory organs. Doctor. 2012;2:82–88. (In Russ.)].

66. Баранова О. П., Новикова Л. Н., Сперанская А. А. и др. Трудности диагностики тромбозов легочной артерии (ТЭЛА) у больных интерстициальными заболеваниями легких // Ульянов. медико-биолог. журн. – 2016. – № 4. – С. 16–18. [Baranova OP, Novikova LN, Speranskaya AA, Zolotnitskaya VP, Perley VE, Gichkin AYu. Difficulties in the diagnosis of pulmonary thromboembolism (PE) in patients with interstitial lung diseases. Ulyanovsk Biomedical Journal. 2016;S4:16–18. (In Russ.)].

67. Диссеминированные заболевания легких / под ред. М. М. Ильковича. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2011. 480 с. [Disseminated pulmonary diseases / Edited by MM Ilkovich. M., GEOTAR-Media, 2011:480. (In Russ.)].

68. Акопов А. Л., Баранова О. П., Богданов А. Н. Интерстициальные и орфанные заболевания легких / под ред. М. М. Ильковича. – М., 2016. – С. 115–120. [Akovov AL, Baranova OP, Bogdanov AN. Interstitial and orphan diseases of the lungs / ed. M. M. Ilkovich. M., 2016:115–120. (In Russ.)].

69. Handa T, Nagai S, Hirai T. Computed tomography analysis of airway dimensions and lung density in patients with sarcoidosis. Respiration. 2009;77:273–281. Doi: 10.1159/000151544.

70. Золотницкая В. П., Амосов В. И., Дзадзуа Д. В. Особенности нарушений микроциркуляции в легких у больных гистиоцитозом Х при разных вариантах нарушений функции внешнего дыхания // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. – 2016. – Т. 59, № 3. – С. 30–35. [Zolotnitskaya VP, Amosov VI, Dzadzua DV. Features of violations of microcirculation in the lungs in patients with histiocytosis X with different variants of dysfunction of external

respiration. *Regional blood circulation and microcirculation*. 2016;3(59):30–35. (In Russ.]. Doi: [org/10.24884/1682-6655-2016-15-3-30-35](https://doi.org/10.24884/1682-6655-2016-15-3-30-35).

71. Гаврисюк В. К., Страфун О. В., Шадрин О. В. Редкие интерстициальные заболевания легких: Лангергансклеточный гистиоцитоз легких // *Здоровье Украины*. – 2012. – 14.05. – С. 32–34. [Gavrisyuk VK., Strafun OV, Shadrina OV. Rare interstitial lung diseases: Langerhans cell lung histiocytosis. *Health of Ukraine*. May 14, 2012:32–34].

72. Сперанская А. А. МСКТ-Ангиография и ОФЭКТ в оценке причин неблагоприятного течения редких интерстициальных заболеваний легких (лимфангиолейомиоматоз, гистиоцитоз X) // *Регионарное кровообращение и микроциркуляция*. – 2013. – Т. 45, № 1. – С. 58–64. [Speranskaya AA. MDST-Angiography and SPECT in assessing the causes of the unfavorable course of rare interstitial lung diseases (lymphangiomyomatosis, histiocytosis X). *Regional blood circulation and microcirculation*. 2013;1(45):58–64]. Doi: [10.1378/1682-6655-2013-15-1](https://doi.org/10.1378/1682-6655-2013-15-1).

73. Tazi A. Adult Pulmonary Langerhans' cell histiocytosis. *Eur. Respir. J.* 2006;27:1272–1285. Doi: [10.1183/09031936.06.00024004](https://doi.org/10.1183/09031936.06.00024004).

74. Tazi A, Marc K, Dominique S et al. Serial computed tomography and lung function testing in pulmonary Langerhans' cell histiocytosis. *Eur Respir J.* 2012;40:905–912. Doi: [10.1183/09031936.00210711](https://doi.org/10.1183/09031936.00210711).

75. Vassallo R, Ryu JH, Colby TV. Pulmonary Langerhans' cell histiocytosis. *N. Engl. J. Med.* 2000;342:1969–1978. Doi: [10.1056/NEJM200006293422607](https://doi.org/10.1056/NEJM200006293422607).

76. Орлова Г. П. Проблемы классификации профессиональных интерстициальных заболеваний легких, подходы к решению // *Медицина труда и пром. экология*. – 2013. – № 8. – С. 27–29. [Orlova GP. Problems of classification of occupational interstitial lung diseases, approaches to the solution. *Labor Medicine and Industrial Ecology*. 2013;8:27–29. (In Russ.)].

77. Влахов Н., Тешев Г. Перфузионная легочная сцинтиграфия при раке и некоторых неопухольевых заболеваниях легких // *Мед. радиол.* – 1983. – Т. 28, № 1. – С. 77–76. [Vlakhov N, Teshev G. Perfusion pulmonary scintigraphy for cancer and some non-neoplastic lung diseases. *Med. radiol.* 1983;28(1):77–76. (In Russ.)].

78. Чернеховская Н. Е., Выренкова Н. Ю. Сопоставление результатов рентгенологического, эндоскопического и радионуклидного исследований при деформирующем бронхите // *Мед. радиол.* – 1989. – № 3. – С. 48–59. [Chernehovskaya NE, Vyrenkova NYu. Comparison of the results of X-ray, endoscopic and radionuclide studies in deforming bronchitis. *Medical radiology*. 1989;3:48–59. (In Russ.)].

79. Ранние стадии силикоза / М. В. Евгенова [и др.]; ред. К. П. Молоканов; Академия мед. наук СССР. – Л.: Медицина, 1968. – 219 с.: ил. [Early stages of silicosis / M. V. Evgenova [et al.]; ed. K. P. Molokanov; Academy of Medical Sciences of the USSR. L., Medicine, 1968:219. (In Russ.)].

80. Вагина Е. Р., Лихачева Е. И. Некоторые механизмы генеза вентиляционных и гемодинамических нарушений при асбестозе и талькозе // *Профессиональные болезни пылевой этиологии: сб. науч. тр.* – М.: НИИ гигиены им. Ф. Ф. Эрисмана, 1986. – С. 37–41. [Vagina ER, Likhacheva EI. Some mechanisms of genesis of ventilation and hemodynamic disorders in asbestosis and thalcosis. *Occupational diseases of dust etiology: Collection of scientific papers*. M., Institute of Hygiene them. F. F. Erisman, 1986:37–41. (In Russ.)].

81. Золотницкая В. П., Кузубова Н. А., Титова О. Н. и др. Возможности коррекции капиллярного кровообращения в легких у пациентов с хронической обструктивной болезнью легких с сочетанной патологией // *Пульмонология*. – 2017. – Т. 27, № 6. – С. 767–775. [Zolotnitskaya VP, Kuzubova NA, Titova ON, Surkova EA, Shumilov AA. Possibilities of correcting capillary blood circulation in the lungs in patients with chronic obstructive pulmonary disease with a combined pathology. *Pulmonology*. 2017;27(6):767–775. (In Russ.)]. Doi: [org/10.18093/0869-0189-2017-27-6-767-775](https://doi.org/10.18093/0869-0189-2017-27-6-767-775).

**Информация об авторах**  
Амосов Виктор Иванович – д-р мед. наук, профессор, заведующий кафедрой рентгенологии и радиационной медицины ПСПбГМУ им. И. П. Павлова, e-mail: [vikt-amosov@yandex.ru](mailto:vikt-amosov@yandex.ru).  
Золотницкая Валентина Петровна – д-р биол. наук, старший научный сотрудник НИИ пульмонологии ПСПбГМУ им. И. П. Павлова, e-mail: [zolotnitskaja68@yandex.ru](mailto:zolotnitskaja68@yandex.ru).

#### Информация об авторах

Амосов Виктор Иванович – д-р мед. наук, профессор, заведующий кафедрой рентгенологии и радиационной медицины ПСПбГМУ им. И. П. Павлова, e-mail: [vikt-amosov@yandex.ru](mailto:vikt-amosov@yandex.ru).

Золотницкая Валентина Петровна – д-р биол. наук, старший научный сотрудник НИИ пульмонологии ПСПбГМУ им. И. П. Павлова, e-mail: [zolotnitskaja68@yandex.ru](mailto:zolotnitskaja68@yandex.ru).

#### Author information

Amosov Viktor I. – MD, professor of radiology and radiation medicine department of Academician I. P. Pavlov First St. Petersburg State Medical University, e-mail: [vikt-amosov@yandex.ru](mailto:vikt-amosov@yandex.ru).

Zolotnitskaia Valentina P. – PhD, Senior Scientific Researcher and Scientific Institute of Pulmonology of Academician I. P. Pavlov First St. Petersburg State Medical University, e-mail: [zolotnitskaja68@yandex.ru](mailto:zolotnitskaja68@yandex.ru).