

ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)

<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1070>

## Вклад перфузионных йодных карт в диагностику острой тромбоэмболии легочной артерии

© Оганесян А.А.<sup>1,3\*</sup>, Сеницын В.Е.<sup>1,2</sup>, Мершина Е.А.<sup>1,2</sup>, Першина Е.С.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России; 125993 Москва, ул. Баррикадная, д. 2/1, стр. 1, Российская Федерация

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова»; 119991 Москва, Ленинские горы, д. 1, Российская Федерация

<sup>3</sup> ГБУЗ города Москвы «ГКБ №1 им. Н.И. Пирогова ДЗ города Москвы»; 119049 Москва, Ленинский проспект, д. 8, Российская Федерация

**Цель исследования:** оценка роли перфузионных йодных карт в диагностике острой тромбоэмболии легочной артерии (ТЭЛА) и сравнение степени нарушения перфузии с другими признаками и биомаркерами тяжести ТЭЛА.

**Материал и методы.** В ходе работы 130 пациентам с подозрением на острую ТЭЛА была проведена компьютерно-томографическая ангиопульмонография (КТА) с дальнейшей оценкой йодных перфузионных карт, из них ТЭЛА определялась у 42 пациентов. Были оценены: уровень и степень тромботического поражения, размеры камер сердца, характер изменений легочной паренхимы и изменения кровеносного русла на йодных картах.

**Результаты.** Анализ полученных данных показал более сильную корреляционную связь между распространенностью тромботического поражения и нарушением перфузии, чем с признаками декомпенсации правых камер. В 3 случаях ТЭЛА дистальных ветвей определялась только по данным йодных перфузионных карт.

**Заключение.** Йодные карты дополняют диагностическую картину при ТЭЛА, характеризуя микроциркуляторное русло. По предварительным данным, йодные карты могут использоваться в качестве прогностического критерия применяемой лечебной тактики.

**Ключевые слова:** тромбоэмболия легочной артерии, перфузионные йодные карты, перфузионный индекс, декомпенсация правых отделов сердца, компьютерно-томографическая ангиопульмонография

**Конфликт интересов:** конфликтов интересов авторов нет, исследование не имеет спонсорской поддержки.

**Для цитирования:** Оганесян А.А., Сеницын В.Е., Мершина Е.А., Першина Е.С. Вклад перфузионных йодных карт в диагностику острой тромбоэмболии легочной артерии. *Медицинская визуализация*. 2022; 26 (3): 63–76. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1070>

Поступила в редакцию: 29.09.2021. Принята к печати: 20.04.2022. Опубликовано online: 15.06.2022.

## Contribution of analysis of perfusion iodine map's to diagnostic of acute pulmonary thromboembolism

© Anait A. Oganesyana<sup>1,3\*</sup>, Valentin E. Sinitsyn<sup>1,2</sup>, Elena A. Merшина<sup>1,2</sup>, Ekaterina S. Pershina<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Russian Medical Academy of Continuous Professional Education of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 2/1 bld. 1, Barrikadnaya str., Moscow 125993, Russian Federation

<sup>2</sup> Lomonosov Moscow State University, GSP-1, Leninskie Gory, Moscow 119991, Russian Federation

<sup>3</sup> N.I. Pirogov First City Clinical Hospital (City Hospital No1); 8, Leninsky prospekt, Moscow 119049, Russian Federation



**Purpose:** to study the contribution of perfusion iodine maps to diagnosis of acute pulmonary embolism (PE) and compare pulmonary perfusion defects with the main imaging biomarkers of PE.

**Materials and methods.** 130 patients with suspected acute pulmonary thromboembolism were studied using pulmonary computed tomographic angiography with perfusion iodine map's analysis. Pulmonary embolism was revealed in 42 cases. There were evaluated: the number and level of vessel occlusion (Qanadli index), number and grades of lung perfusion defects on perfusion iodine maps (perfusion index), signs of right heart failure, changes of lung parenchyma.

**Results.** Analysis of the data showed a strong correlation between the index Qanadli and perfusion index, rather than signs of right failure. In 3 cases, the segmental and subsegmental pulmonary embolism was revealed from the iodine map's analysis only.

**Conclusion.** Thus, perfusion iodine maps improve the diagnosis of acute pulmonary embolism due to characterizing the changes of pulmonary microcirculation. From our data, the iodine maps can be employed as a prognostic tool for further therapy.

**Keywords:** pulmonary thromboembolism, perfusion iodine maps, perfusion index, right heart failure, computed tomography, pulmonary computed tomographic angiography

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest. The study had no sponsorship.

**For citation:** Oganessian A.A., Sinitsyn V.E., Mershina E.A., Pershina E.S. Contribution of analysis of perfusion iodine map's to diagnostic of acute pulmonary thromboembolism. *Medical Visualization*. 2022; 26 (3): 63–76. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1070>

**Received:** 29.09.2021.

**Accepted for publication:** 20.04.2022.

**Published online:** 15.06.2022.

## Введение

По подсчетам некоторых авторов, смертность при ТЭЛА составляет около 30% [1]. Согласно международному регистру по ТЭЛА (International Cooperative Pulmonary Embolism Registry), общий коэффициент смертности пациентов с ТЭЛА в течение 3 мес составляет 45,1% [2], при этом смертность пациентов с массивной ТЭЛА – 52,4% и с немассивной ТЭЛА – 14,7 [3]. Но при наличии лечебной тактики процентное значение может быть уменьшено до 2–8% [4].

Следует отметить, что при жизни диагноз ТЭЛА устанавливается менее чем в 70% случаев. Летальность среди пациентов без патогенетической терапии составляет 40% и более, при массивной тромбоэмболии достигает 70%, а при своевременно начатой терапии – 2–8% [5]. Примерно у трети больных, перенесших венозную тромбоэмболию, в течение 10 лет развиваются рецидивы заболевания [6].

КТ-ангиопульмонография (КТА) на сегодняшний день является основным методом в диагностическом алгоритме у пациентов с подозрением ТЭЛА [7]. В исследовании PIOPED II показана чувствительность 83% и специфичность 96% для КТА [8]. В случае высокой вероятности ТЭЛА, повышенном уровне D-димера либо при нестабильной гемодинамике необходимо проведение КТА в целях достоверного подтверждения либо исключения ТЭЛА. КТА как метод при этой патологии относится к I классу рекомендаций с уровнем достоверности A [9].

Данный метод помогает судить о характере структурных изменений в легких и распространен-

ности тромботического поражения, но не дает данных о перфузии паренхимы легких.

КТА появилась как важный прогностический маркер оценки нарушения гемодинамики при острой ТЭЛА и определении пациентов с наличием или отсутствием угрозы смертельного исхода, таким образом, направляя терапевтическое ведение пациента. Основными способами классификации состояния гемодинамики при ТЭЛА являются признаки недостаточности правых камер, метод количественного определения плотности тромба и измерение легочной перфузии [10–12]. Наибольшие трудности в диагностике ТЭЛА возникают при наличии обструкции средних и мелких ветвей легочной артерии. Это приводит к тому, что госпитализация больных запаздывает, равно как и лечение [13].

КТ-методы оценки перфузии, в частности двухэнергетическая компьютерная томография (ДЭКТ), субтракция изображений при контрастировании являются относительно новыми техническими возможностями, упрощающими не только подтверждение либо исключение наличия ТЭЛА, но и также и дифференциальную диагностику изменений легочной паренхимы, которая порой вызывает значительные сложности [14]. Оценка микроциркуляторного русла методом КТА в Российской Федерации находится на уровне реализации идеи применения в диагностике и оценке результатов хирургического лечения относительно хронической тромбоэмболической легочной гипертензии, для оценки остаточных стенотически-окклюзионных изменений, динамики микроциркуляторного русла [15, 16].



В мировой литературе имеются расхождения мнений по целесообразности оценки перфузии при ТЭЛА, а также в необходимости к лечению тромботического поражения субсегментарных артерий [17].

### Цель исследования

Оценка роли перфузионных йодных карт в диагностике острой ТЭЛА и сравнение степени нарушения перфузии с другими признаками и биомаркерами тяжести ТЭЛА.

### Материал и методы

На базе Центра лучевой диагностики ФГАУ «Лечебно-реабилитационный центр» Минздрава России 130 пациентам (средний возраст  $65 \pm 8$  лет) с подозрением на острую ТЭЛА была проведена КТА с использованием ДЭКТ – томографа и высокоразрешающего одноэнергетического компьютерного томографа с возможностью получения субтракционных изображений (протокол LungSubtraction). Все пациенты с подозрением на острую ТЭЛА были стратифицированы по клинической вероятности развития ТЭЛА, согласно оригинальной шкале Geneva и ретроспективно по оригинальной шкале Wells [2]. По данным оценочных шкал вероятности ТЭЛА (Geneva), у всех пациентов, включенных в исследование, значение вероятности составляло от 4 баллов (промежуточная и высокая вероятность ТЭЛА).

ДЭКТ-ангиопульмонография была проведена 85 пациентам на однострубочном двухэнергетическом 64-рядном компьютерном томографе (Discovery 750, производства General Electric Co., США). Протокол ДЭКТ-ангиографии у пациентов с подозрением на острую ТЭЛА проводился с использованием программного обеспечения GSI в ангиопульмонографическую фазу контрастирования (20 с) после введения 40–60 мл контрастного препарата (Сканлюкс, 370 мг/мл, Австрия) двухколбовым инжектором Ulrich. Оптимальная скорость введения составляла 4,5 мл/с с попеременным изменением напряжения тока на трубке 100–140 кВ, временем экспозиции 300–400 мАс, в двухэнергетическом режиме сканирования. В процессе выполнения исследования триггер на топограмме устанавливался на уровне бифуркации трахеи. Зону интереса (ROI) устанавливали в области легочного ствола, сканирование начиналось по мере достижения плотности в просвете легочного ствола до значения, заданного по умолчанию.

Одноэнергетическая высокоразрешающая КТА с субтракцией проводилась на компьютерном томографе (Aquilion ONE 640, производства Toshiba, Япония) в одноэнергетическом режиме с протоко-

лом сканирования LungSubtraction. Сканирование проводилось с напряжением на трубке 100 кВ и временем экспозиции 605 мАс сначала в нативном виде (бесконтрастная фаза), после чего – в ангиопульмонографическую фазу контрастирования (20 с). Второе сканирование производилось с использованием 40–60 мл контрастного препарата (Сканлюкс, 370 мг/мл, Австрия) со скоростью 4,5 мл/с посредством двухколбового инжектора Ulrich. Триггер устанавливался на уровне бифуркации трахеи. ROI ставилась на область легочного ствола, второе сканирование начиналось по мере достижения плотности в легочном стволе до значения, заданного по умолчанию.

### Качественный и количественный анализ изображений

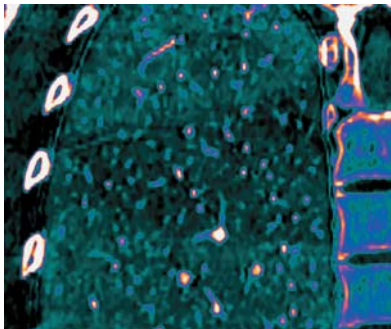
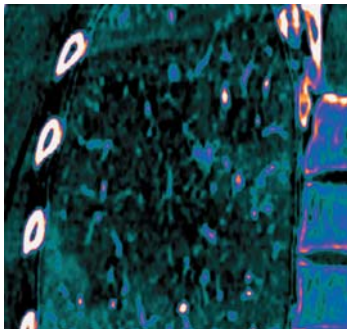
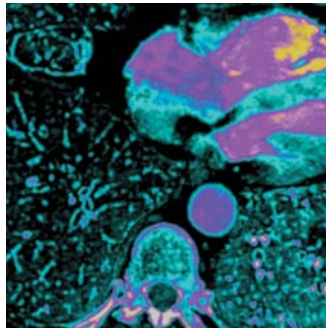
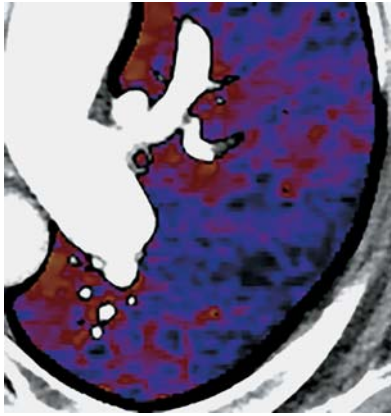
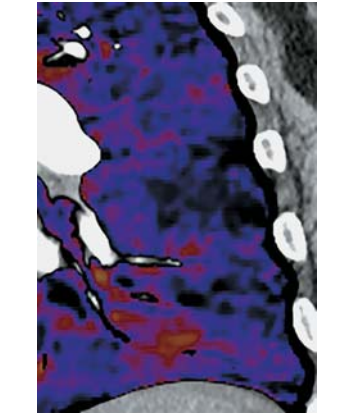

**Распространенность сосудистого поражения** оценивалась по данным ангиопульмонографии с использованием индекса Qanadli [18] (рис. 1). Тромботическое поражение сегментарной артерии при полной ее окклюзии оценивалось в 2 балла, артерии с тромбами и сохранением контрастирования дистальных отделов – в 1 балл, отсутствие дефектов контрастирования принималось за 0 баллов. При тромбозе долевых ветвей оценивалось суммарное поражение соответствующих сегментарных ветвей. В каждой доле максимально определялось 10 сегментарных ветвей. Так, поражение легочного ствола оценивалось в 20 баллов (10 + 10), а при массивном тромбозе легочного ствола (ЛС) с полной окклюзией правой и левой легочных артерий индекс принимался за 40 баллов. Количественный результат оценки индекса был выражен в процентах.

**Оценка перфузионных йодных карт. Для облегчения анализа перфузионных йодных карт в исследование было введено понятие перфузионного индекса. Данный индекс рассчитывался с использованием перфузионных йодных карт, в основе которого взят принцип расчета перфузионного индекса при проведении перфузионной сцинтиграфии [19]. Каждое легкое было разделено на три зоны: верхнюю, среднюю и нижнюю. Границы зон соответствовали уровням нижней границы дуги аорты (бифуркация трахеи) и затем далее через каждые 2 межреберья.**

На йодных перфузионных изображениях было рассчитано изменение перфузии в каждой зоне по баллам (см. рис 1): 0 – отсутствие снижения перфузии, 1 – снижение перфузии со значительным сохранением перфузионного рисунка, 2 – выраженное снижение перфузии с минимальным сохранением перфузионного рисунка, 3 – дефект





| Метод/баллы<br>Method/points   | 1 балл<br>1 point  | 2 балла<br>2 points   | 3 балла<br>3 points  |
|--|--|---|--|
| Йодные карты<br>(ДЭКТ)<br><br>Iodine maps<br>(DECT)  |   |   |   |
| Йодные карты<br>(КТА<br>с субтракцией)<br><br>Iodine maps<br>(CT-<br>angiography<br>with<br>subtraction) |  |  |  |

**Рис. 1.** Оценка степени понижения перфузии по данным ДЭКТ-ангиопульмонографии и КТА с субтракцией.

**Fig. 1.** Quantification of decrease in perfusion from the data of DECT-angiopulmonography and from the CT -angiopulmonography with subtraction.

перфузии с отсутствием перфузионного рисунка. Таким образом, перфузионный индекс рассчитывался как сумма баллов изменения перфузии во всех зонах обоих легких. Максимально возможное значение перфузионного индекса тогда, очевидно, может достигать 18 баллов, что соответствует тотальному отсутствию перфузии в обоих легких.

**Оценка наличия легочной гипертензии.** Наличие легочной гипертензии оценивалось на серии КТА-изображений методом измерения поперечника легочного ствола и проксимальных отделов легочных артерий. Признаками легочной гипертензии являлись расширение легочного ствола более 30 мм, расширение и извитость проксимальных и дистальных отделов легочных артерий более чем на 1,25 просвета сопутствующих бронхов.

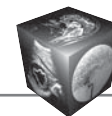
**Оценка недостаточности правых отделов сердца по данным КТА.** Основным показателем тяжести ТЭЛА при КТА является поперечный размер камер сердца. Оценка осуществлялась на основе измерения поперечных размеров правых и левых предсердий и желудочков относительно

с реконструкциями по их продольным осям. При наличии декомпенсации правых камер сердца отношение их поперечных размеров к размерам левых камер превышает 1.

Также оценивалось наличие заброса контрастного препарата в нижнюю полую и печеночные вены, их большая контрастность в сравнении с брюшным отделом аорты, как следствие вторичной трикуспидальной недостаточности.

## Результаты

**Оценка стратификации вероятности развития ТЭЛА.** Предварительный диагноз острой ТЭЛА подтвердился у 42 пациентов, что составило 32% от общего числа обследованных. У 14 пациентов были выявлены окклюзионно-стенотические изменения легочных артерий и в анамнезе определялась перенесенная ТЭЛА не менее 3 мес назад, что позволило отнести изменения к хронической тромбоэмболической легочной гипертензии (ХТЭЛГ). Данная группа пациентов составила 11%. У 74 (57%) пациентов тромботического поражения легочных артерий не было выявлено.



По шкале Geneva у 3 (11,2%) из 27 пациентов с высокой вероятностью развития ТЭЛА по данным КТА наличие ТЭЛА не подтвердилось. У остальных 24 (88,8%) пациентов с высокой вероятностью развития ТЭЛА предварительный диагноз подтвердился по данным МСКТ. Неподтвержденная ТЭЛА с высокой вероятностью ее развития установлена у 1 пациента с ХТЭЛГ и 2 пациентов без тромботического поражения легочных артерий. Следует отметить, что оценка высокой вероятности ТЭЛА была обусловлена у пациента с признаками ХТЭЛГ наличием следующих факторов риска: возраст (72 года), перенесенная ТЭЛА в анамнезе (в интервале не более года назад), болезненность и отек нижней конечности с одной стороны; наличие одышки и ЧСС > 75 в минуту. Другие 2 пациента не имели структурных изменений легочных артерий.

При проведении высокоразрешающей КТА с субтракцией на перфузионных йодных картах определялись диффузные зоны понижения перфузии без признаков тромботического поражения легочных артерий. При дальнейшем обследовании были выявлены маркеры системного аутоиммунного процесса (ревматоидный артрит). При анализе результатов лабораторно-инструментальных методов исследований предварительно изменения на йодных перфузионных картах были расценены как ревматоидный васкулит.

Из 103 пациентов с промежуточной вероятностью ТЭЛА предварительный диагноз был подтвержден только у 18 пациентов, что составляет 14% от общего числа всех пациентов.

При ретроспективном анализе клинической вероятности ТЭЛА по оригинальной шкале Wells количество пациентов с высокой степенью вероятности ТЭЛА составляло 23% (30 пациентов). Среди пациентов данной группы в 2 случаях ТЭЛА при ДЭКТ не подтвердилась. Меньшее количество пациентов с несоответствием было обусловлено симптомами, не рассматриваемыми в шкале отдельно, но возможность их учета в совокупности отнесена к параметру “альтернативный диагноз менее вероятен, чем легочная эмболия”. Промежуточную вероятность развития ТЭЛА составили 78 пациентов, из которых у 12 была выявлена ТЭЛА. Среди пациентов, у которых по шкале Wells была выделена низкая вероятность развития ТЭЛА (12 человек), тем не менее в 2 случаях ТЭЛА была определена.

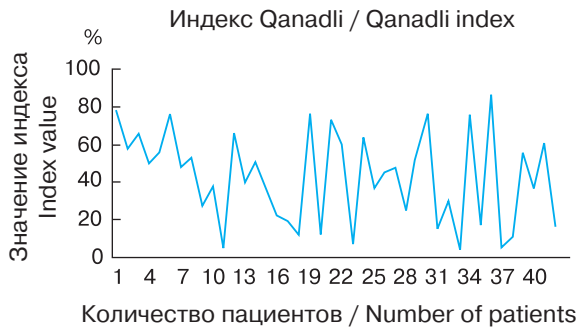
Из 42 пациентов с острой ТЭЛА у 20 (~47%) пациентов протяженное тромботическое поражение наблюдалось на уровнях легочного ствола, правой и левой легочных артерий, в связи с чем они отнесены к группе массивной ТЭЛА. У 1 пациента

определялся локальный тромботический дефект в надклапанном отделе ЛС, не оказывающий влияние на гемодинамику.

Дальнейшее лечение пациентов с ТЭЛА проводилось с учетом рекомендации Европейского общества кардиологов (Рекомендации ESC по диагностике и лечению острой легочной эмболии от 2014 г. и разработанные в сотрудничестве с Европейским респираторным обществом от 2019 г.) с дальнейшей оценкой вероятности долгосрочного риска рецидива. Так, большая часть пациентов была определена как группа с высоким риском за счет коморбидной патологии, обусловленной онкологическим процессом, – 34 пациентов, низкого риска – за счет перенесенного оперативного вмешательства – 5 пациентов и промежуточного риска – 3 пациента, находящихся на гормональной терапии эстрогенами.

На протяжении терапии 12 пациентам с массивной и субмассивной ТЭЛА проводилась КТА с оценкой перфузионных карт в динамике для оценки регресса динамики тромботического поражения. Положительная динамика в виде полного восстановления проходимости ранее определяемых сосудов с тромботическими дефектами и восстановлением данных перфузионных карт наблюдалась в 4 случаях, частичный регресс в виде остаточных тромботических пристеночных дефектов контрастирования и уменьшения выраженности и распространности зон гипоперфузии – в 6 случаях, без существенных изменений тромботических дефектов – в 1 случае и в 1 случае отмечалось нарастание мелких тромботических дефектов в дистальных отделах артерий с относительным уменьшением распространности дефектов в проксимальных отделах артерий. В случаях развития инфаркт-пневмонии определялось уменьшение распространности участков уплотнений за счет регресса зон “матового стекла” с ретикулярными уплотнениями, вероятно, обусловленными участками периваскулярного отека/геморрагического пропитывания, в некоторых случаях определялась трансформация неравномерных зон уплотнения в участки консолидации. Из 42 пациентов с острой ТЭЛА летальный исход наблюдался в одном случае при массивной ТЭЛА на 12-е сутки госпитализации по причине острой сердечно-сосудистой недостаточности. Пациенты с клинико-инструментальными данными ХТЭЛГ направлялись в экспертные центры для рассмотрения дальнейшего хирургического лечения.

**Оценка сосудистой обструкции.** В аксиальной реконструкции при неполной тромботической обструкции дефекты контрастирования определялись в центрально расположенной зоне.



**Рис. 2.** Диаграмма распределения индекса Qanadli у пациентов с острой ТЭЛА.

**Fig. 2.** Diagram of distribution of Qanadli index in patients with acute pulmonary embolism.

Наибольшую сложность вызывала оценка дистальных отделов легочных сосудов. Однако при ДЭКТ-ангиопульмонографии с возможностью уменьшения значения keV была достигнута оптимальная контрастность их просветов. Повышение контрастности левых камер сердца и легочных вен также не создавало диагностических сложностей за счет изначально повышенной контрастности легочных артерий.

У 18 пациентов наиболее проксимальный уровень тромботического поражения наблюдался на уровне долевого ветвей, а в 17 случаях – на уровне легочного ствола, правой и левой легочных артерий. У 11 (26%) пациентов определялось тромботическое поражение на уровне сегментарных и субсегментарных артерий.

Наибольшее значение индекса Qanadli достигало 85% в случае массивной ТЭЛА с “тромбонаездником” в области бифуркации легочного ствола и распространением тромботических масс на правую и левую легочную артерии (рис. 2). Фрагментарно контрастировались единичные сегментарные ветви. Наименьшее значение индекса до 5% имело место в 2 случаях с тромбами в единичных сегментарных и субсегментарных просветах легочных артерий.

У пациентов с ХТЭЛГ определялись расширенные легочные артерии, в том числе извитые сегментарные ветви. Дефекты контрастирования легочных артерий визуализировались в виде нитевидных внутрипросветных структур преимущественно в области бифуркации артерий по типу “паутины”. У одного из пациентов определялись расширенные и извитые бронхиальные артерии, что свидетельствует о включении механизма компенсации легочного кровоснабжения.

**Оценка перфузионных йодных карт.** При построении перфузионных йодных карт у пациентов с острой ТЭЛА дефекты перфузии определялись

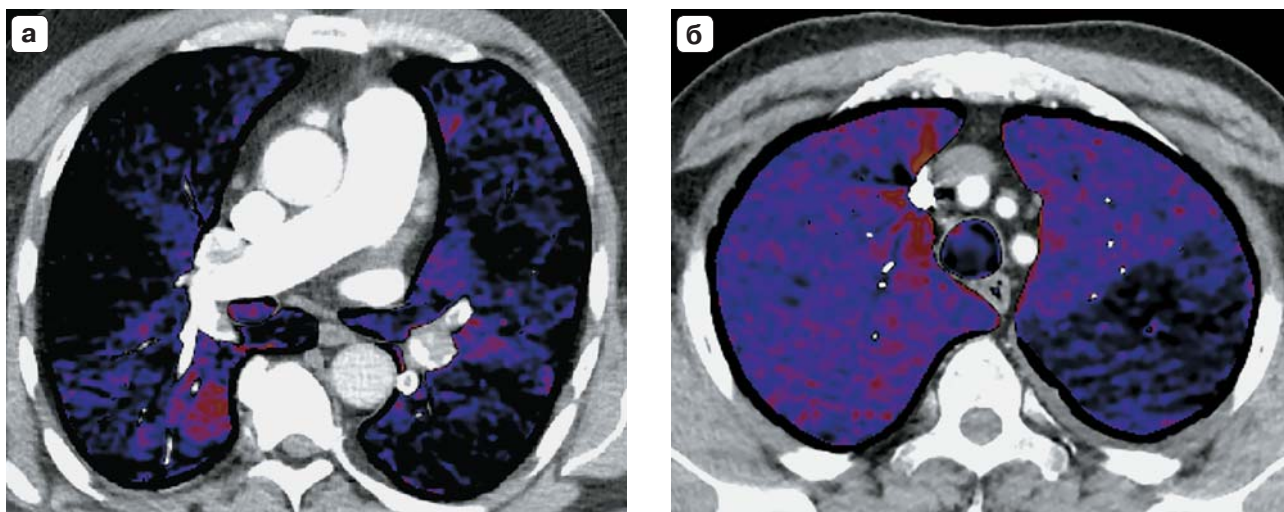
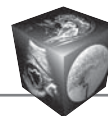
у 83% обследованных этой группы. Зоны с нарушенной перфузией определялись как менее яркие участки паренхимы, так называемые зоны гипоперфузии, либо участки с отсутствием рисунка легочного кровообращения в бассейне пораженного сосуда. Эти участки имели преимущественно клиновидную форму, вершиной, направленной к корню легкого (рис. 3, 4). Наибольшее значение перфузионного индекса составило 16 баллов из 18 возможных в случае массивной двусторонней ТЭЛА (рис. 5). Наименьшее значение составило 0 баллов при тромботическом поражении мелких ветвей.

Следует отметить, что в 2 случаях при оценке ДЭКТ-ангиопульмонографии и в 1 случае при высокоразрешающей КТА с субтракцией достоверных дефектов контрастирования легочных артерий не было выявлено. Однако при построении йодных перфузионных карт определялись двусторонние дефекты перфузии в нижних зонах легких. При ДЭКТ-ангиопульмонографии с понижением значения keV определялись центрально расположенные дефекты контрастирования сегментарных и субсегментарных ветвей. При этом отмечалась прямая корреляционная зависимость перфузионного индекса с индексом Qanadli ( $r = 0,83$ ;  $p < 0,05$ ) и поперечным размером правого предсердия ( $r = 0,4$ ;  $p < 0,05$ ) – табл. 1.

Наиболее сильная корреляционная связь (0,83) прослеживалась между перфузионным индексом и индексом Qanadli, менее сильная корреляционная связь – между перфузионным индексом и поперечными размерами правых камер сердца (0,4–0,38). У ряда пациентов с ХТЭЛГ определялись участки гиперперфузии наряду с перфузионными дефектами за счет компенсаторной вазодилатации. У ряда пациентов с острой ТЭЛА также отмечались зоны гиперперфузии в перифокальных отделах, однако корреляционной связи с распространенностью тромботического поражения не было выявлено, вероятно, в силу остроты окклюзионного поражения и короткого времени адаптационные перфузионные механизмы не успевают сформироваться.

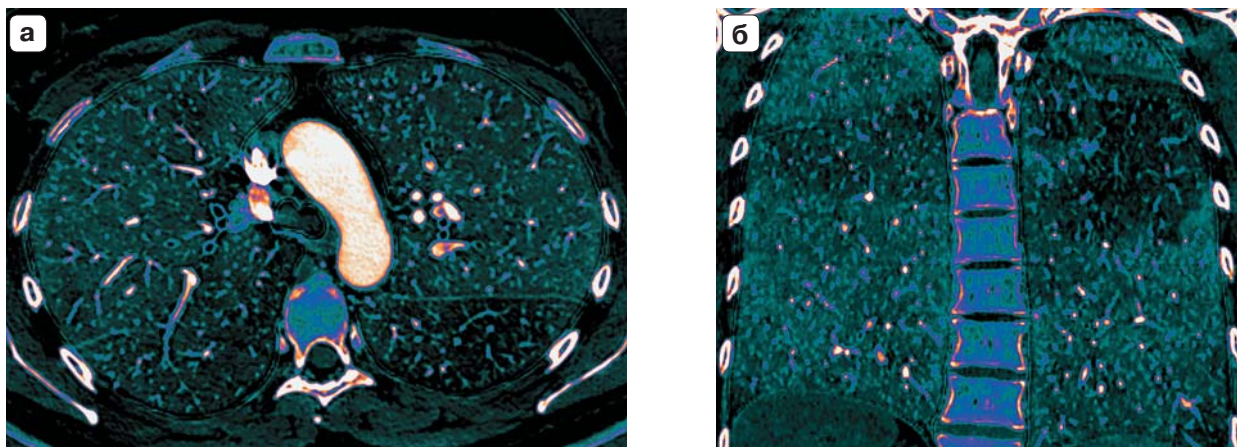
**Оценка декомпенсации правых камер сердца.** У 23 (~55%) пациентов определялись признаки недостаточности правых камер сердца (рис. 6). Наибольшие поперечные размеры правого предсердия и желудочка составляли 77 и 61 мм соответственно в случае аневризматического расширения легочных артерий с острой ТЭЛА и признаками декомпенсации правых камер, значение легочного ствола составило 48 мм. В 5 случаях определялось пролабирование межжелудочковой перегородки в полость левого желудочка.





**Рис. 3.** Субтракционные йодные карты. **а** – в правом легком определяется клиновидный участок с отсутствием признаков перфузии; **б** – в верхней зоне левого легкого выявляется значительное обеднение перфузии с частичным его отсутствием.

**Fig. 3.** Subtraction iodine maps: **a** – a wedge-shaped area with no signs of perfusion is seen in the right lung; **b** – a significant impoverishment of perfusion with partial absence is obvious in the upper zone of the left lung.



**Рис. 4.** Йодные карты, полученные методом ДЭКТ (**а** – аксиальная, **б** – фронтальная проекции). В нижних долях обоих легких – дефекты перфузии: справа – незначительное снижение перфузии, слева – зоны выраженной гипоперфузии.

**Fig. 4.** Iodine maps obtained by the DECT method (**a** – axial, **b** – frontal projections). In the lower lobes of both lungs there are perfusion defects: on the right – a slight decrease in perfusion, on the left – areas of pronounced hypoperfusion.



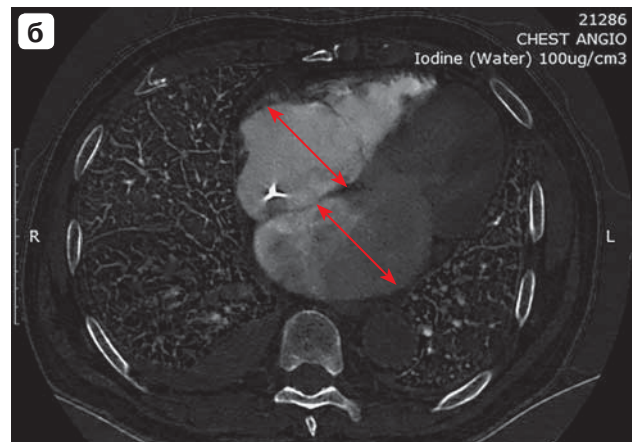
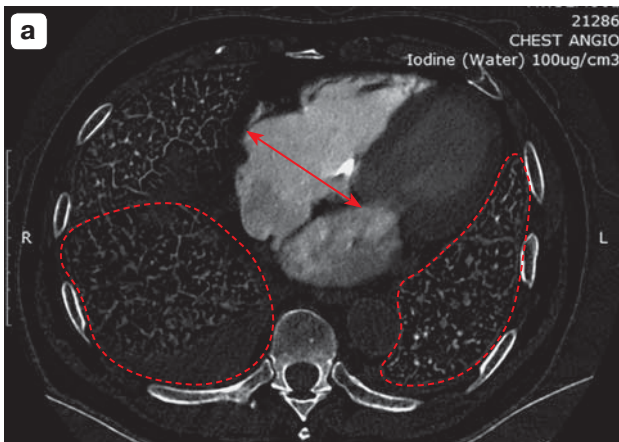
**Рис. 5.** Диаграмма распределения перфузионного индекса у пациентов с острой ТЭЛА.

**Fig. 5.** Diagram of the perfusion index distribution in patients with acute PE.



**Таблица 1.** Корреляция перфузионного индекса с другими оцениваемыми показателями сердечной недостаточности  
**Table 1.** Correlation of the perfusion index with other assessed indexes of heart failure

| Показатель<br>Index                 | Коэффициент корреляции<br>Correlation coefficient | Индекс достоверности,<br>p |
|-------------------------------------|---|----------------------------|
| Легочный ствол<br>Pulmonary trunk   | 0,3   | 0,035                      |
| Правое предсердие<br>Right atrium   | 0,4   | 0,004                      |
| Правый желудочек<br>Right ventricle | 0,38  | 0,005                      |
| Индекс Qanadli<br>Qanadli index     | 0,83  | <0,0001                    |



**Рис. 6.** Перфузионные йодные карты (ДЭКТ). Четырехкамерные аксиальные проекции. **а** – красная стрелка – увеличенные поперечные размеры правого предсердия, пунктирная линия – дефект перфузии; **б** – красные стрелки – увеличенные поперечные размеры предсердий.

**Fig. 6.** Perfusion iodine maps (DECT). Four-chamber axial slices. **a** – red arrow depicts the extended dimensions of the right atrium, dotted line – perfusion defect; **b** – red arrows show increased transversal dimensions of atria.

В 5 случаях определялся гидроперикард с толщиной слоя выпота более 17 мм, в 4 случаях из них отмечались увеличенные поперечные размеры правых камер сердца. Выявлена прямая корреляционная связь между индексом Qanadli и поперечными размерами правого предсердия ( $r = 0,22$ ;  $p < 0,05$ ) и правого желудочка ( $r = 0,25$ ;  $p < 0,05$ ). Однако корреляционная зависимость уступала по силе зависимости перфузионного индекса с индексом Qanadli.

#### **Оценка изменений легочной паренхимы.**

Среди пациентов с ТЭЛА участки инфаркт-пневмонии наблюдались в 20 случаях, что составило 48%. Зоны определялись в виде повышения плотности паренхимы по типу консолидации преимущественно в субплевральных отделах конусовидной формы с вершиной, направленной к корню. Однако в 4 (9,5%) случаях выявлялись зоны повышения плотности по типу “матового стекла” с утолщением интерстициального компонента и наличи-

ем разнокалиберных очаговых уплотнений по типу консолидации. На перфузионных йодных изображениях данные зоны консолидации представляют собой аваскулярные участки, а зоны “матового стекла” – участки гипоперфузии. Таким образом, данные зоны интерстициальных изменений представляют собой участки перераспределения микроциркуляторного русла на этапе отсутствия сформированной инфаркт-пневмонии. Это способствует дифференциальной диагностике между изменениями сосудистого генеза и воспалительным процессом.

В 17 (40%) случаях выявлялись зоны “матового стекла” с четкими и неровными контурами, соответствующие зонам легких, располагающихся в смежных участках и в бассейнах тромботически пораженных артерий. При этом тромботические дефекты наблюдались на уровне дистальных ветвей легочных артерий (сегментарных и субсегментарных ветвей). В 2 случаях на фоне “матового стекла”





**Таблица 2.** Сравнительная характеристика вероятностных шкал Geneva и Wells в стратификации выявления ТЭЛА  
**Table 2.** Comparative characteristic of probabilistic scales Geneva and Wells in stratification of detection of pulmonary embolism

| Вероятность<br>Probability                | Показатели / Indexes                             |   |  |   |
|---|--|---|--|---|
|   | шкала Geneva<br>Geneva scale                     |   | шкала Wells<br>Wells scale                       |   |
|   | количество<br>пациентов<br>amount<br>of patients | прогностическая<br>способность<br>положительных<br>результатов, %<br>prognostic ability<br>of positive<br>conclusion, % | количество<br>пациентов<br>amount<br>of patients | прогностическая<br>способность<br>положительных<br>результатов, %<br>prognostic ability<br>of positive<br>conclusion, % |
| Высокая вероятность<br>High               | 27   | 88,89%  | 30   | 93,3%   |
| Промежуточная вероятность<br>Intermediate | 103  | 14,88%  | 78   | 15,38%  |

**Таблица 3.** Показатели чувствительности и специфичности для традиционной КТА и КТА с построением перфузионных йодных карт

**Table 3.** Values of sensitivity and specificity for traditional CT angiopulmonography and CT angiopulmonography with the build-up of perfusion iodine maps

| Методы<br>Methods   | Показатели / Indexes                 |   |                                   |   |                      |
|---|--------------------------------------|---|-----------------------------------|---|----------------------|
|   | чувстви-<br>тельность<br>sensitivity | доверительный<br>интервал (95%)<br>confidence<br>interval | специ-<br>фичность<br>specificity | доверительный<br>интервал (95%)<br>confidence inter-<br>val | точность<br>accuracy |
| Традиционная КТА<br>Classic<br>CT-angiopulmonography  | 92,9%                                | 85,1–92,9%  | 100%                              | 95,6–100%   | 97,4%                |
| КТА с построением<br>перфузионных карт<br>и их оценкой<br>CT with build-up<br>of perfusion maps | 100%                                 | 93,5–100%   | 100%                              | 96,3–100%   | 100%                 |

дефекты перфузии не определялись, что подтвердило бронхогенный характер изменений при отсутствии изменений микроциркуляции паренхимы.

**Оценка специфичности и чувствительности.** Оценка прогностической способности положительных результатов вероятностных шкал оценивалась по формуле прогностической ценности для шкал Geneva и Wells (табл. 2). Таким образом, стратификация пациентов высокой вероятности развития ТЭЛА оправдывает свое применение относительно двух рассмотренных шкал с большей прогностической способностью шкалы Wells. Промежуточная степень вероятности ТЭЛА включала наибольшую группу пациентов и нуждается в дополнительных углубленных исследованиях.

КТА является методом выбора в диагностике ТЭЛА в связи с ее высокой специфичностью до 96% и чувствительностью до 83% [9], что означает высокую способность метода исключить ТЭЛА. Вместе с тем ее способность к выявлению заболевания несколько ниже, и в ряде случаев ТЭЛА остается не диагностированной. Аналогичные результаты были получены в данном исследовании, где в 3 (7%) случаях ТЭЛА была не выявлена при традиционной КТА, но была установлена с использованием КТА с оценкой перфузии. Чувствительность КТА без использования перфузионных йодных карт составила 92,8% (табл. 3).

Число ложноположительных результатов при диагностике методом КТ без построения йодных перфузионных карт составило 0 (0%), ложноотри-



цательных – 3 (3%). Число ложноположительных и ложноотрицательных результатов при диагностике методом КТ с построением перфузионных карт и их оценкой – 0. Показатель AUC (площадь под ROC-кривой) является дополнительным свидетельством того, что метод КТ с построением перфузионных карт (AUC = 100%) обладает лучшей прогностической силой, чем метод КТ без построения йодных перфузионных карт (AUC = 96,4%). Показатель AUC является дополнительным свидетельством того, что метод КТ с построением перфузионных карт (AUC = 100%) обладает лучшей прогностической силой, чем метод КТ без построения йодных перфузионных карт (AUC = 96,4%). Диагностическая точность традиционной КТА составила 97,7%, что на 2,3% меньше точности ДЭКТ. Применение предложенного метода диагностики поможет снизить долю не диагностируемых случаев ТЭЛА.

### Обсуждение

Высокое прогностическое значение оценочных шкал в стратификации риска вероятности развития ТЭЛА определяется лишь при относительно высокой предварительной вероятности наличия этого заболевания [1, 9]. Наибольшие сложности представляет собой группа промежуточного риска в силу большого количества неподтвержденной ТЭЛА по данным КТА [10, 11]. Наиболее многочисленная группа пациентов с промежуточной степенью риска в большей степени определялась неоднозначной оценкой жалоб и физикального осмотра нижних конечностей. Таким образом, из представленных нами данных в первую очередь следует, что оценочные шкалы требуют пересмотра и дополнений относительно пациентов с промежуточной вероятностью ТЭЛА. Следует отметить, что основной причиной ТЭЛА в группе промежуточного риска составлял тромбоз вен нижних конечностей, выявленных при ультразвуковом исследовании, выполненном после проведения КТА, что указывает на целесообразность обязательного ультразвукового исследования после проведения КТА и согласуется с данными литературы [11].

Нарушение перфузии легочной паренхимы, кроме того, может быть прогностическим признаком в оценке вероятности ранней смерти пациентов, возможных исходов, что, в частности, отмечалось в работах [12, 13], а также информативно для обоснования выбора метода дальнейшего лечения. Кроме того, оценка перфузии может иметь значение в стратификации риска тяжести пациентов с умеренной и низкой вероятностью ТЭЛА и ее ветвей, на что также указывалось [14].

Следует отметить, что при тромбоэмболии сегментарных и субсегментарных ветвей степень окклюзии сосудистого русла не настолько велика, чтобы развилось острое легочное сердце, а расстройства гемодинамики в малом круге незначительны. Однако недооценка так называемых малых форм эмболии в клинической практике недопустима, ибо это есть пусковой момент к развитию сложных регионарных дисфункций легких, ведущих к хроническому течению заболевания [14], что, собственно, и обосновывают наши результаты. Поэтому как можно более широкое применение ДЭКТ и/или субтракционной КТ-пульмографии в группах с промежуточной вероятностью ТЭЛА выглядит не только оправданным, но и, как следует из наших данных, исключительно целесообразным в дополнение и расширение к безусловному использованию этих методов у пациентов с необходимостью хирургической экстракции тромбов легочной артерии и ее ветвей [16].

### Заключение

Применение в практической рентгенологии ангиопульмонографии при ДЭКТ и высокоразрешающей КТ с методом субтракции с оценкой перфузии легких повышает эффективность диагностики ТЭЛА в основном за счет выявления поражения сегментарных ветвей. Оценка йодных перфузионных карт характеризует степень и распространенность поражения микроциркуляторного русла легких. Оценка выраженности декомпенсации правых камер сердца дополняет тяжесть течения и стратификацию неблагоприятного исхода ТЭЛА.

### Участие авторов

Оганесян А.А. – проведение исследования, статистическая обработка данных, анализ и интерпретация полученных данных, сбор и обработка данных, написание текста, подготовка и редактирование текста.

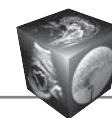
Синицын В.Е. – концепция и дизайн исследования, анализ и интерпретация полученных данных, утверждение окончательного варианта статьи.

Мершина Е.А. – утверждение окончательного варианта статьи, анализ и интерпретация полученных данных.

Першина Е.С. – участие в научном дизайне, подготовка и редактирование текста, анализ и интерпретация полученных данных.

### Authors' participation

Oganesyan A.A. – conducting research, statistical analysis, analysis and interpretation of the obtained data, collection and analysis of data, writing text, text preparation and editing.



Sinitsyn V.E. – concept and design of the study, analysis and interpretation of the obtained data, approval of the final version of the article.

Merzhina E.A. – approval of the final version of the article, analysis and interpretation of the obtained data.

Pershina E.S. – participation in scientific design, preparation and creation of the published work, analysis and interpretation of the obtained data.

## Список литературы

1. Верткин А.Л., Грицанчук А.М. Тромбоэмболия: эпидемия, о которой все молчат. *Архивъ внутренней медицины*. 2014; 1: 1–5.
2. Goldhaber S.Z., Visani L., De Rosa M. Acute pulmonary embolism: clinical outcomes in the International Cooperative Pulmonary Embolism Registry (ICOPER). *Lancet*. 1999; 353 (9162): 1386–1388. [http://doi.org/10.1016/s0140-6736\(98\)07534-5](http://doi.org/10.1016/s0140-6736(98)07534-5)
3. Kucher N., Rossi E., De Rosa M., Goldhaber S.Z. Massive pulmonary embolism. *Circulation*. 2006; 113: 577–582.
4. Bajc M., Neilly J.B., Miniati M. et al. EANM guidelines for ventilation/perfusion scintigraphy: Part 1. Pulmonary imaging with ventilation/perfusion single photon emission tomography. *Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging*. 2009; 36 (8): 1356–1370.
5. Тюрин И.Е. Тромбоэмболия легочной артерии: возможности лучевой диагностики. *Практическая пульмонология*. 2005; 4: 20–27.
6. Heit J.A. Venous thromboembolism epidemiology: implications for prevention and management. *Semin. Thromb. Hemost.* 2002; 3: 1–12.
7. Doğan H., Roos A., Geleijns J. et al. The role of computed tomography in the diagnosis of acute and chronic pulmonary embolism. *Diagn. Intervent. Radiol.* 2015; 21: 308–315.
8. Carrier M., Righini M., Wells P.S. et al. Subsegmental pulmonary embolism diagnosed by computed tomography: incidence and clinical implications. A systematic review and meta-analysis of the management outcome studies. *J. Thromb. Haemost.* 2010; 8 (8): 1716–1722.
9. Рекомендации ESC по диагностике и лечению острой легочной эмболии, разработанные в сотрудничестве с Европейским респираторным обществом (ERS), 2019. Рабочая группа по диагностике и ведению острой эмболии легочной артерии Европейского общества кардиологов (ESC). *Российский кардиологический журнал*. 2020; 25 (8): 3848. <http://doi.org/10.15829/1560-4071-2020-3848>
10. Hoey E., Mirsadraee S., Pepke-Zaba J. et al. Dual-energy CT angiography for assessment of regional pulmonary perfusion in patients with chronic thromboembolic pulmonary hypertension: initial experience. *Am. J. Roentgenol.* 2011, 196 (3): 524–532.
11. Zhang L., Lu G., Meinel F. et al. Computed tomography of acute pulmonary embolism: state of the art. *Eur. Radiol.* 2015; 25: 2547–2557.
12. Meinel F., Nance J., Schoepf U. et al. Predictive value of computed tomography in acute pulmonary embolism: systematic review and meta-analysis. *Am. J. Med.* 2015; 128:747–759.
13. Ермолаев В.Л., Столин А.В., Шурыгина Е.П., Хромцова О.М., Барац Е.С., Возможности традиционного комплексного подхода к диагностике и лечению тром-

боземболии легочной артерии. *Уральский медицинский журнал*. 2010; 7: 62–69.

14. Мершина Е.А., Сеницын В.Е. Роль методов лучевой диагностики при постановке диагноза хронической тромбоэмболической легочной гипертензии. *Атеротромбоз*. 2016; 1: 16–25.
15. Юдин А.Л., Учеваткин А.А., Афанасьева Н.И., Юматова Е.А., Кулагин А.Л. Роль мультidetекторной компьютерной томографии в диагностике венозной тромбоэмболии. *Российский медицинский журнал*. 2015; 21 (1): 40–47.
16. Мершина Е.А., Сеницын В.Е., Плотникова М.Л., Фролова Ю.Ф., Мершин К.В. Применение двухэнергетической компьютерно-томографической ангиопульмонографии у пациентов с хронической тромбоэмболической легочной гипертензией до и после тромбэндартерэктомии из легочной артерии. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2013, 2 (13): 27–31.
17. Wiener R.E., Schwartz L.M., Woloshin S. When a test is too good: how CT pulmonary angiograms find pulmonary emboli that do not need to be found. *Br. Med. J.* 2013; 3: 347.
18. Qanadli S.D., Hajjam M.El., Vieillard-Baron A. et al. New CT index to quantify arterial obstruction in pulmonary embolism: comparison with angiographic index and echocardiography. *Am. J. Roentgenol.* 2001; 176 (6): 1415–1420.
19. Lyra M., Gavrilelli M., Lyra V. et al. Lungs SPECT image processing for Volume and Perfusion Index estimation. Conference Paper, November 2008, publication/224355449. <http://doi.org/10.1109/BIBE.2008.4696800>

## References

1. Vertkin A.L., Gritcanchuk A.M. Tromboembolism: an epidemic that everyone is silent about. *Archives of Internal Medicine*. 2014; 1: 1–5. (In Russian)
2. Goldhaber S.Z., Visani L., De Rosa M. Acute pulmonary embolism: clinical outcomes in the International Cooperative Pulmonary Embolism Registry (ICOPER). *Lancet*. 1999; 353 (9162): 1386–1388. [http://doi.org/10.1016/s0140-6736\(98\)07534-5](http://doi.org/10.1016/s0140-6736(98)07534-5)
3. Kucher N., Rossi E., De Rosa M., Goldhaber S.Z. Massive pulmonary embolism. *Circulation*. 2006; 113: 577–582.
4. Bajc M., Neilly J.B., Miniati M. et al. EANM guidelines for ventilation/perfusion scintigraphy: Part 1. Pulmonary imaging with ventilation/perfusion single photon emission tomography. *Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging*. 2009; 36 (8): 1356–1370.
5. Tyrin I.E. Pulmonary embolism: radiology's capability. *Practical Pulmonology*. 2005; 4: 20–27. (In Russian)
6. Heit J.A. Venous thromboembolism epidemiology: implications for prevention and management. *Semin. Thromb. Hemost.* 2002; 3: 1–12.
7. Doğan H., Roos A., Geleijns J. et al. The role of computed tomography in the diagnosis of acute and chronic pulmonary embolism. *Diagn. Intervent. Radiol.* 2015; 21: 308–315.
8. Carrier M., Righini M., Wells P.S. et al. Subsegmental pulmonary embolism diagnosed by computed tomography: incidence and clinical implications. A systematic review and meta-analysis of the management outcome studies. *J. Thromb. Haemost.* 2010; 8 (8): 1716–1722.
9. ESC Guidelines for the diagnosis and management of acute pulmonary embolism developed in collaboration with the European Respiratory Society (ERS), 2019.





- The Task Force for the diagnosis and management of acute pulmonary embolism of the European Society of Cardiology (ESC). *Russian Journal of Cardiology*. 2020; 25 (8): 3848. <http://doi.org/10.15829/1560-4071-2020-3848> (In Russian)
10. Hoey E., Mirsadraee S., Pepke-Zaba J. et al. Dual-energy CT angiography for assessment of regional pulmonary perfusion in patients with chronic thromboembolic pulmonary hypertension: initial experience. *Am. J. Roentgenol.* 2011, 196 (3): 524–532.
  11. Zhang L., Lu G., Meinel F. et al. Computed tomography of acute pulmonary embolism: state of the art. *Eur. Radiol.* 2015; 25: 2547–2557.
  12. Meinel F., Nance J., Schoepf U. et al. Predictive value of computed tomography in acute pulmonary embolism: systematic review and meta-analysis. *Am. J. Med.* 2015; 128:747–759.
  13. Ermolaev V., Stolin A., Shurygina E., Khromtcova O., Barac E., Capability of traditional complex approach to diagnose and therapy pulmonary thromboembolism. *Medical Journal of Ural.* 2010; 7: 62–69. (In Russian)
  14. Mershina E.A., Sinitsyn V.E. The role of radiology in diagnostic the chronic thromboembolic pulmonary hypertension. *Atherothrombosis.* 2016; 1: 16–25. (In Russian)
  15. Yudin A.L., Uchevatkin. A.A., Afanasyev N.I., Yumatova E.A., Kulagin A.L. The role of multidetector computer tomography in diagnostic venous thromboembolism. *Russian Medical Journal.* 2015; 21 (1): 40–47. (In Russian)
  16. Mershina E.A., Sinitsyn V.E., Plotnikova M.L., Frolova Y.V., Mershin K.V. Using dual energy computer tomography before and after thrombectomy of pulmonary artery for patients with chronic thromboembolic pulmonary hypertension. *Russian Journal of Radiology.* 2013, 2 (13): 27–31. (In Russian)
  17. Wiener R.E., Schwartz L.M., Woloshin S. When a test is too good: how CT pulmonary angiograms find pulmonary emboli that do not need to be found. *Br. Med. J.* 2013; 3: 347.
  18. Qanadli S.D., Hajjam M.El., Vieillard-Baron A. et al. New CT index to quantify arterial obstruction in pulmonary embolism: comparison with angiographic index and echocardiography. *Am. J. Roentgenol.* 2001; 176 (6): 1415–1420.
  19. Lyra M., Gavrilelli M., Lyra V. et al. Lungs SPECT image processing for Volume and Perfusion Index estimation. Conference Paper, November 2008, publication/224355449. <http://doi.org/10.1109/BIBE.2008.4696800>

**Для корреспонденции\***: Оганесян Анаит Арамовна – тел.: +7-938-422-93-91. E-mail: talilen@mail.ru

**Оганесян Анаит Арамовна** – аспирант кафедры лучевой диагностики и терапии РМАНПО, врач-рентгенолог ГКБ №1 им. Н.И. Пирогова ДЗ города Москвы, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-1896-023X>

**Синицын Валентин Евгеньевич** – доктор мед. наук, профессор, заведующий отделом лучевой диагностики МНОЦ МГУ им. М.В. Ломоносова; заведующий кафедрой лучевой диагностики и лучевой терапии факультета фундаментальной медицины МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-5649-2193>. Scopus ID 7102735724

**Мершина Елена Александровна** – канд. мед. наук, доцент кафедры лучевой диагностики и лучевой терапии МГУ им. М.В. Ломоносова, заведующая отделением рентгенодиагностики с кабинетами МРТ и КТ МНОЦ МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-1266-4926>

**Першина Екатерина Сергеевна** – канд. мед. наук, руководитель Центра лучевой диагностики ГКБ №1 им. Н.И. Пирогова ДЗ города Москвы, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-3952-6865>

**Contact\***: Anait A. Oganesyanyan – phone: +7-938-422-93-91. E-mail: talilen@mail.ru

**Anait A. Oganesyanyan** – resident of the Russian Medical Academy of Postgraduate Education; radiologist of N.I. Pirogov First City Clinical Hospital (City Hospital No1), Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-1896-023X>

**Valentin E. Sinitsyn** – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of Radiology department, Medical Research and Educational Center, Lomonosov Moscow State University, Chief of Radiology and Radiotherapy Chair, Faculty of Fundamental Medicine Lomonosov Moscow State University, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-5649-2193>. Scopus ID 7102735724

**Elena A. Mershina** – Cand. of Sci. (Med.), assistant professor of Radiology and Radiotherapy Chair, Faculty of Fundamental Medicine Lomonosov Moscow State University; Head of Radiology department, Medical Research and Educational Center, Lomonosov Moscow State University, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-1266-4926>

**Ekaterina S. Pershina** – The Head of the Centre of Radiology of N.I. Pirogov First City Clinical Hospital (City Hospital No1), Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-3952-6865>