

DOI: 10.24835/1607-0763-2018-4-40-49

Субтракционная КТ-ангиопульмонография в диагностике хронической тромбоэмболической легочной гипертензии

Веселова Т.Н.¹, Демченкова А.Ю.^{1*}, Мартынюк Т.В.¹,
Данилов Н.М.¹, Терновой С.К.^{1,2}, Чазова И.Е.¹

¹ ФГБУ «НМИЦ кардиологии» Минздрава России, Москва, Россия

² ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова (Сеченовский Университет) Минздрава России, Москва, Россия

Subtraction pulmonary angiography in diagnosis of chronic thromboembolic pulmonary hypertension

Veselova T.N.¹, Demchenkova A.Yu.^{1*}, Martynyuk T.V.¹,
Danilov N.M.¹, Ternovoy S.K.^{1,2}, Chazova I.E.¹

¹ National Medical Research Center of Cardiology, Moscow, Russia

² I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russia

Цель исследования: оценить состояние сосудистого русла и перфузии легких у больных хронической тромбоэмболической легочной гипертензией (ХТЭЛГ) методом субтракционной компьютерной томографии (КТ).

Материал и методы. В период с ноября 2015 г. по май 2018 г. было обследовано 65 пациентов с диагнозом ХТЭЛГ. Все пациенты были обследованы на компьютерном томографе Aquilion ONE 640 VISION Edition (Toshiba Medical Systems) с 320 рядами детекторов, толщина томографического среза 0,5 мм. Оценка перфузионных нарушений выполнялась с помощью нового программного обеспечения, которое позволяет совмещать контрастные и бесконтрастные изображения методом субтракции. Анализировались параметры состояния parenchyma, кровоснабжения и перфузии легких с расчетом индексов обструкции и перфузионных нарушений. Индекс обструкции был сопоставлен с индексом перфузионных нарушений, тестом 6-минутной ходьбы (Т6МХ) и средним давлением в легочной артерии (ср. ДЛА) по данным катетеризации правых отделов сердца.

Результаты. Между индексом обструкции и индексом перфузионных нарушений у больных ХТЭЛГ была обнаружена статистически значимая корреляция ($r = 0,605$; $p = 0,000001$). Взаимосвязей между сосудисто-перфузионными показателями (индексом обструкции и индексом перфузионных нарушений), ср.ДЛА и пройденной дистанцией в Т6МХ выявлено не было.

Заключение. Использование субтракционной КТ-ангиопульмонографии позволяет оценить выражен-

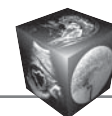
ность сосудистого поражения и перфузионных нарушений в рамках одного исследования, а также определить эффективность лечения у пациентов с ХТЭЛГ.

Ключевые слова: хроническая тромбоэмболическая легочная гипертензия, КТ-ангиопульмонография, индекс перфузионных нарушений, индекс обструкции.

Ссылка для цитирования: Веселова Т.Н., Демченкова А.Ю., Мартынюк Т.В., Данилов Н.М., Терновой С.К., Чазова И.Е. Субтракционная КТ-ангиопульмонография в диагностике хронической тромбоэмболической легочной гипертензии. *Медицинская визуализация*. 2018; 22 (4): 40–49. DOI: 10.24835/1607-0763-2018-4-40-49.

Purpose. To assess the state of the vascular bed and perfusion of the lungs in patients with chronic thromboembolic pulmonary hypertension (CTEPH) by the method of subtraction computed tomography (CT).

Materials and methods. Between November 2015 and May 2018, 65 patients with diagnosis of CTEPH were examined. All patients were examined on a computer tomograph Aquilion ONE 640 VISION Edition (Toshiba Medical Systems) with 320 rows of detectors, slice thickness – 0.5 mm. Assessment of perfusion disorders was carried out using new software, which allows combining contrast and non-contrast images by subtraction. Were analyzed parameters of the parenchyma, blood supply and perfusion status with the calculation of indices of obstruction and perfusion disorders. The obstruction index was compared with the index of



perfusion abnormalities, a 6-minute walk test, and mean pulmonary artery pressure according to the right heart catheterization data.

Results. The significant correlation was found between the obstruction index and the index of perfusion disorders in patients with СТЕPH ($r = 0.605$; $p = 0.000001$). Interrelations between vascular-perfusion indices (an obstruction index and an index of perfusion disorders), mean pulmonary artery pressure and distance in a 6-minute walk test were not revealed.

Conclusion. Subtraction CT pulmonary angiography allows to assess the severity of vascular lesion and perfusion disorders within a single study, also determine the effectiveness of treatment in patients with СТЕPH.

Key words: chronic thromboembolic pulmonary hypertension, CT pulmonary angiography, index of perfusion disorders, obstruction index.

Recommended citation: Veselova T.N., Demchenkova A.Yu., Martynyuk T.V., Danilov N.M., Ternovoy S.K., Chazova I.E. Subtraction pulmonary angiography in diagnosis of chronic thromboembolic pulmonary hypertension. *Medical Visualization*. 2018; 22 (4): 40–49. DOI: 10.24835/1607-0763-2018-4-40-49.

Введение

Легочная гипертензия (ЛГ) – патологическое состояние, характеризующееся повышением легочного сосудистого сопротивления (ЛСС) и давления в легочной артерии (ЛА), что приводит к развитию правожелудочковой недостаточности [1].

Единственной потенциально излечимой формой ЛГ является хроническая тромбоэмболическая легочная гипертензия (ХТЭЛГ). В основе патогенеза ХТЭЛГ лежит хроническая обструкция ветвей ЛА после перенесенной острой тромбоэмболии с частотой развития от 0,1 до 9,1% [2].

Тромбэндартерэктомия (ТЭЭ) является методом выбора при проксимальном поражении сосудистого русла. Проведение ТЭЭ при наличии патологических изменений в средних и мелких ветвях ЛА часто невозможно. Методом лечения больных ЛГ с дистальным поражением сосудов являются консервативная терапия и транслюминальная баллонная ангиопластика ЛА (БАП ЛА) [3].

Инвазивная ангиопульмонография (АПГ) играет основную роль в выборе тактики лечения, однако не менее важной задачей является оценка перфузии легких.

Частичная или полная обструкция ветвей ЛА приводит к формированию дефектов перфузии, что является важным критерием диагностики ХТЭЛГ. Вентиляционно-перфузионная сцинтиграфия легких (ВПСЛ) по-прежнему остается референтным методом оценки перфузии легочной ткани, инвазивная АПГ – “золотым стандартом” в оценке состояния сосудистого русла. На сегодняшний день компьютерная томография (КТ) нашла свое применение не только в оценке состояния сосудистого русла и паренхимы легких, но и оценке перфузии легочной ткани.

Цель исследования

Оценка состояния перфузии и сосудистого русла легких методом субтракционной КТ, сопоставление степени обструкции перфузионных нарушений с данными инвазивной АПГ и клиническими показателями у пациентов с ХТЭЛГ.

Материал и методы

В период с ноября 2015 г. по май 2018 г. было обследовано 65 пациентов с диагнозом ХТЭЛГ. Всем пациентам проводилось комплексное клинико-инструментальное обследование, включающее лабораторные (клинический, биохимический, коагулологический анализы крови, количественная оценка Д-димера) и инструментальные методы исследования (тест 6-минутной ходьбы (Т6МХ), рентгенография грудной клетки, электрокардиография, эхокардиография, спирометрия, дуплексное сканирование вен нижних конечностей, субтракционная КТ, ВПСЛ, инвазивная АПГ с катетеризацией правых отделов сердца). Клиническая характеристика пациентов представлена в табл. 1.

50 пациентам была выполнена инвазивная АПГ и катетеризация правых отделов сердца

Таблица 1. Клиническая характеристика пациентов с ХТЭЛГ

Показатели	Группа больных ХТЭЛГ (n = 65)
Возраст, годы (M ± SD)	51,8 ± 12,5
Пол, м/ж, n (%)	28/37 (43/57)
Функциональный класс ЛГ: I/II/III/IV, n (%)	1/9/45/10 (1,5/13,9/69,2/15,4)
Тест 6-минутной ходьбы, м (M ± SD)	359,85 ± 112,2
Индекс по Боргу, баллы (M ± SD)	4,3 ± 1,81
Рост, см (M ± SD)	167,68 ± 7,77
Масса тела, кг (M ± SD)	82,29 ± 14,9
Индекс массы тела (M ± SD)	29,4 ± 6,46

Примечание. Функциональный класс ЛГ установлен в соответствии с принятыми рекомендациями по диагностике и лечению ЛГ.

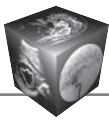


Таблица 2. Параметры гемодинамики больных ХТЭЛГ по данным катетеризации правых отделов сердца (M ± SD)

Показатели	Группа больных ХТЭЛГ (n = 50)
СДЛА, мм рт.ст.	86,26 ± 20,8
ср.ДЛА, мм рт.ст.	48,1 ± 11,9
ДДЛА, мм рт.ст.	28,5 ± 9,9
ПП Дср., мм рт.ст.	6,7 ± 4,5
ПЖ СД, мм рт.ст.	85,5 ± 20,6
ДЗЛА, мм рт.ст.	6,1 ± 2,6
S _a O ₂ , %	92,4 ± 4,3
S _v O ₂ , %	58,4 ± 8,6
СВ, л/мин	3,9 ± 1,0
СИ, л/мин/м ²	2,0 ± 0,6
УО, мл	54,1 ± 18,2
ЛСС, дин · с/см ⁻⁵	952,8 ± 418,9
ОЛСС, дин · с/м ² /см ⁻⁵	1819,9 ± 804,4

Примечание. СДЛА – систолическое давление в легочной артерии, ср.ДЛА – среднее давление в легочной артерии, ДДЛА – диастолическое давление в легочной артерии, ПП Дср. – среднее давление в правом предсердии, ПЖ СД – систолическое давление в правом желудочке, ДЗЛА – давление заклинивания легочной артерии, S_aO₂ – сатурация кислорода в артериальной крови, S_vO₂ – сатурация кислорода в смешенной венозной крови, СВ – сердечный выброс, СИ – сердечный индекс, УО – ударный объем, ЛСС – легочное сосудистое сопротивление, ОЛСС – общее легочное сосудистое сопротивление.

(КПОС) с измерением гемодинамических параметров (табл. 2). 15 пациентам проведение инвазивного исследования было невозможно в связи с тяжестью состояния и высоким риском развития осложнений в ходе КПОС. Т6МХ проведен 60 пациентам, 5 пациентам в силу тяжести состояния Т6МХ не был выполнен.

Все пациенты были обследованы на компьютерном томографе Aquilion ONE 640 VISION Edition (Toshiba Medical Systems) с 320 рядами детекторов с использованием протокола Lung subtraction. Ток и напряжение на рентгеновской трубке составляли 50–100 мА и 100–120 кВ соответственно. Толщина томографического среза 0,5 мм. Исследование выполнялось в положении пациента лежа на спине, в направлении от головы к ногам, при задержке дыхания на максимальной глубине вдоха в нативную и артериальную фазы при соблюдении одинаковых параметров начала и окончания сканирования. Неионный контрастный препарат (70–80 мл) вводился внутривенно со скоростью 5 мл/с. Артериальная фаза исследования выполнялась автоматически при достижении пикового значения рентгеновской плотности (250 ед.Н)

в просвете ЛА. Средняя эффективная доза лучевой нагрузки составила 8–10 мЗв.

Визуальный анализ включал: оценку состояния просвета легочных сосудов, а именно, локализацию и степень тромботического поражения, наличие линейных дефектов контрастирования в виде мембран и перетяжек, извитости, периферических коллатералей; оценку состояния легочной паренхимы, в частности симптома “мозаичной перфузии” и постинфарктных изменений. Симптом “мозаичная перфузия” – чередование участков повышенной и пониженной плотности легочной паренхимы, при этом в областях с пониженной плотностью диаметр легочных сосудов меньше, чем в областях с повышенной плотностью.

В соответствии с принятыми рекомендациями по диагностике и лечению данного заболевания к косвенным КТ-признакам ЛГ относились: расширение ЛА (более 2,9 см, отношение диаметра ЛА к восходящему отделу аорты более 1) и ее ветвей; расширение правых отделов сердца (отношение диаметра правого желудочка к левому желудочку больше 1); гипертрофия миокарда правого желудочка (более 0,4 см) [4–6].

Количественная оценка осуществлялась с помощью перфузионных карт с полуавтоматическим расчетом индексов обструкции и перфузионных нарушений.

С помощью нового программного обеспечения SURESubtraction Lung, позволяющего проводить анализ перфузионных нарушений легких путем совмещения контрастных и бесконтрастных изображений методом субтракции, осуществлялись построение перфузионных карт и оценка дефекта перфузии (рис. 1) [7].

Расчет индекса обструкции выполнялся согласно формуле, описанной S. Qanadli и соавт.:

$$\text{КТ индекс обструкции} = \Sigma (n \times d) / 40 \times 100,$$

где n – количество сегментарных ветвей (минимум 1, максимум 20), d – степень обструкции [8–10]. Степень обструкции варьировала от 0 до 2 баллов, где 0 баллов – отсутствие обструкции, 1 балл – частичная обструкция, 2 балла – субтотальная или тотальная обструкция. При этом артериальное русло каждого легкого представлено 10 сегментарными артериями (3 в верхних долях, 2 в средней доле и язычковой, 5 в нижних долях).

Расчет индекса перфузионных нарушений выполнялся по формуле, описанной E. Chaе и соавт.:

$$\begin{aligned} \text{КТ индекс перфузионных нарушений} &= \\ &= \Sigma (n \times d) / 40 \times 100, \end{aligned}$$

где n – количество сегментов (3 в верхних долях, 2 в средней доле и язычковой, 5 в нижних долях),

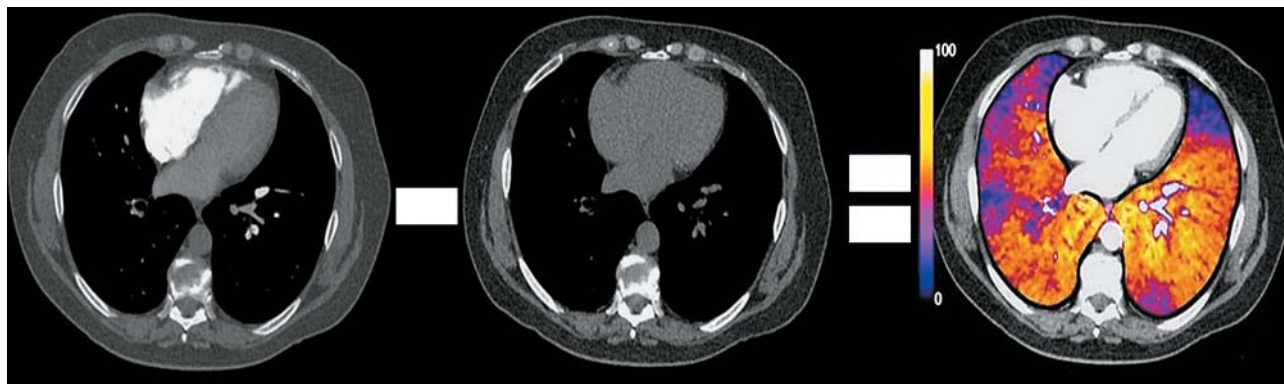
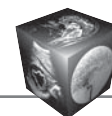


Рис. 1. Схема получения перфузионных карт. Совмещение контрастных и бесконтрастных КТ-изображений методом субтракции.

d – степень перфузионных нарушений также варьировала от 0 до 2 баллов (0 баллов – нормальная перфузия, 1 балл – умеренное снижение перфузии, 2 балла – выраженное снижение перфузии или отсутствие перфузии) [8]. Баллы присуждались в зависимости от цветовой маркировки легочной ткани, которая соответствовала: нормальному (от желтого до красного), снижению (от фиолетового до темно-синего) контрастированию или отсутствию контрастирования (от темно-синего до черного) паренхимы легких в единицах

Хаунсфилда. Параметры визуальной и полуколичественной оценки состояния паренхимы и сосудов легких по данным КТ представлены в табл. 3.

Результаты

В ходе исследования у 65 пациентов в ветвях ЛА определялись как крупные, так и мелкие дефекты контрастирования, из них у 45 (69%) пациентов были выявлены двусторонние зоны выраженного снижения или отсутствия перфузии, у 20 (31%) пациентов – зоны умеренного снижения перфузии

Таблица 3. КТ-характеристики состояния паренхимы и сосудов легких у больных ХТЭЛГ (n = 65)

КТ-характеристики состояния сосудов и паренхимы легких	Больные ХТЭЛГ, n (%)
Визуальные параметры:	
расширение ЛА и ее ветвей	62 (95)
расширение правых отделов сердца	65 (100)
гипертрофия миокарда правого желудочка	55 (85)
тромботические массы	65 (100)
мембраны	38 (58,5)
перетяжки	27 (41,5)
извитость	17 (26,2)
периферические коллатерали	43 (66,2)
симптом “мозаичная перфузия”	53 (81,5)
обеднение сосудистого рисунка	65 (100)
фиброзные/постинфарктные изменения паренхимы легких	54 (83,1)/34 (52,3)
Количественные параметры:	
отсутствие обструкции (степень обструкции 0 баллов)	5 (8)
частичная обструкция (степень обструкции 1 балл)	10 (15)
субтотальная или тотальная обструкция (степень обструкции 2 балла)	50 (77)
нормальная перфузия (степень перфузионных нарушений 0 баллов)	–
умеренное снижение перфузии (степень перфузионных нарушений 1 балл)	20 (31)
выраженное снижение перфузии или отсутствие перфузии (степень перфузионных нарушений 2 балла)	45 (69)

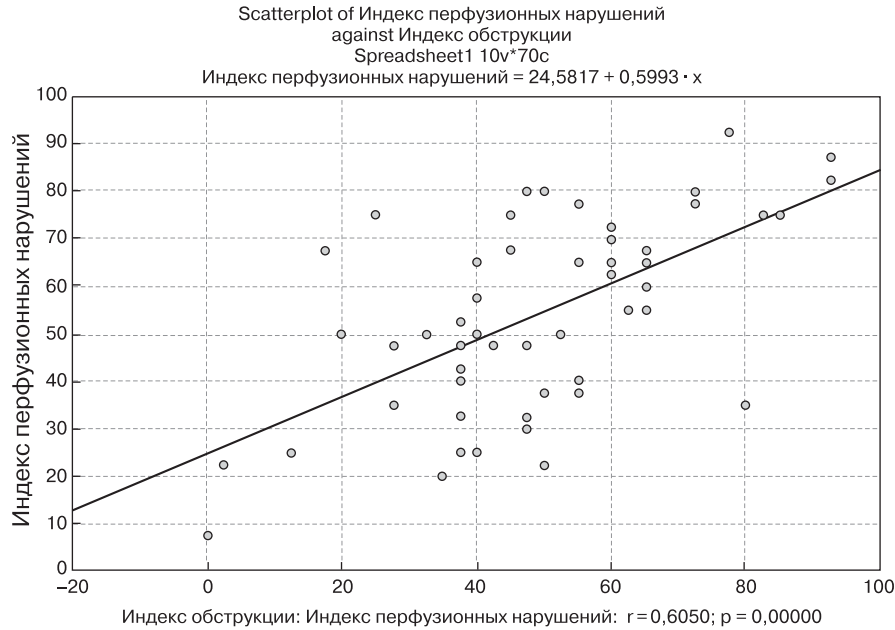
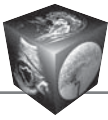


Рис. 2. График корреляции между индексом обструкции и индексом перфузионных нарушений ($r = 0,605$; $p = 0,000001$).

в соответствующих тромботическому поражению областях. У 5 пациентов тромботические массы в крупных ветвях ЛА не визуализировались, однако были выявлены мелкие тромбы и линейные дефекты контрастирования в виде мембран и перегибов в сегментарных и субсегментарных ветвях, что сопровождалось снижением перфузии. Средние значения индекса обструкции и индекса перфузионных нарушений составили $46,08 \pm 20,5$ и $52,2 \pm 20,06\%$ соответственно.

Между индексом обструкции и индексом перфузионных нарушений была выявлена статистически значимая корреляция ($r = 0,605$; $p = 0,000001$), отражающая зависимость перфузионных нарушений легких от степени тромботического поражения ЛА (рис. 2).

Взаимосвязей между ср.ДЛА и сосудисто-перфузионными показателями (индексом обструкции и индексом перфузионных нарушений), а также между сосудисто-перфузионными показателями и дистанцией в Т6МХ выявлено не было.

При сравнении данных КТ-АПГ и инвазивной АПГ локализация дефектов контрастирования и степень обструкции совпали в 92 и 89% случаев соответственно.

Для демонстрации возможности метода субтракционной КТ-АПГ в алгоритме обследования и оценке результатов лечения пациентов с ХТЭЛГ представляем клинический случай динамического

наблюдения пациентки с подтвержденным диагнозом ХТЭЛГ, которой было проведено 6 сеансов БАП, КТ выполнена до и после лечения (рис. 3).

Пациентка Н., 41 год, была госпитализирована в НИИ клинической кардиологии им. А.Л. Мясникова в декабре 2015 г. с жалобами на резкое нарастание одышки при умеренных физических нагрузках в течение последних месяцев, общую слабость. Из анамнеза известно, что в марте 2015 г. больная была госпитализирована по месту жительства, где в ходе обследования был выявлен тромбоз глубоких вен левой нижней конечности и заподозрена тромбоэмболия легочной артерии (ТЭЛА), в связи с чем была назначена антикоагулянтная терапия.

В ходе первой госпитализации по данным комплексного обследования был впервые поставлен диагноз ХТЭЛГ, функциональный класс III, легочное сердце: относительная недостаточность трикуспидального клапана II степени. По данным инвазивной АПГ с КПОС в ветвях ЛА были выявлены двусторонние дефекты наполнения (1 долевая и 4 сегментарных ветви), гемодинамически значимые стенозы (5 сегментарных ветвей) и окклюзии (5 сегментарных ветвей), определялось повышение ср.ДЛА до 50 мм рт.ст..

По данным субтракционной КТ-АПГ выявлен двусторонний тромбоз сегментарных и субсегментарных ветвей ЛА, что совпало с данными

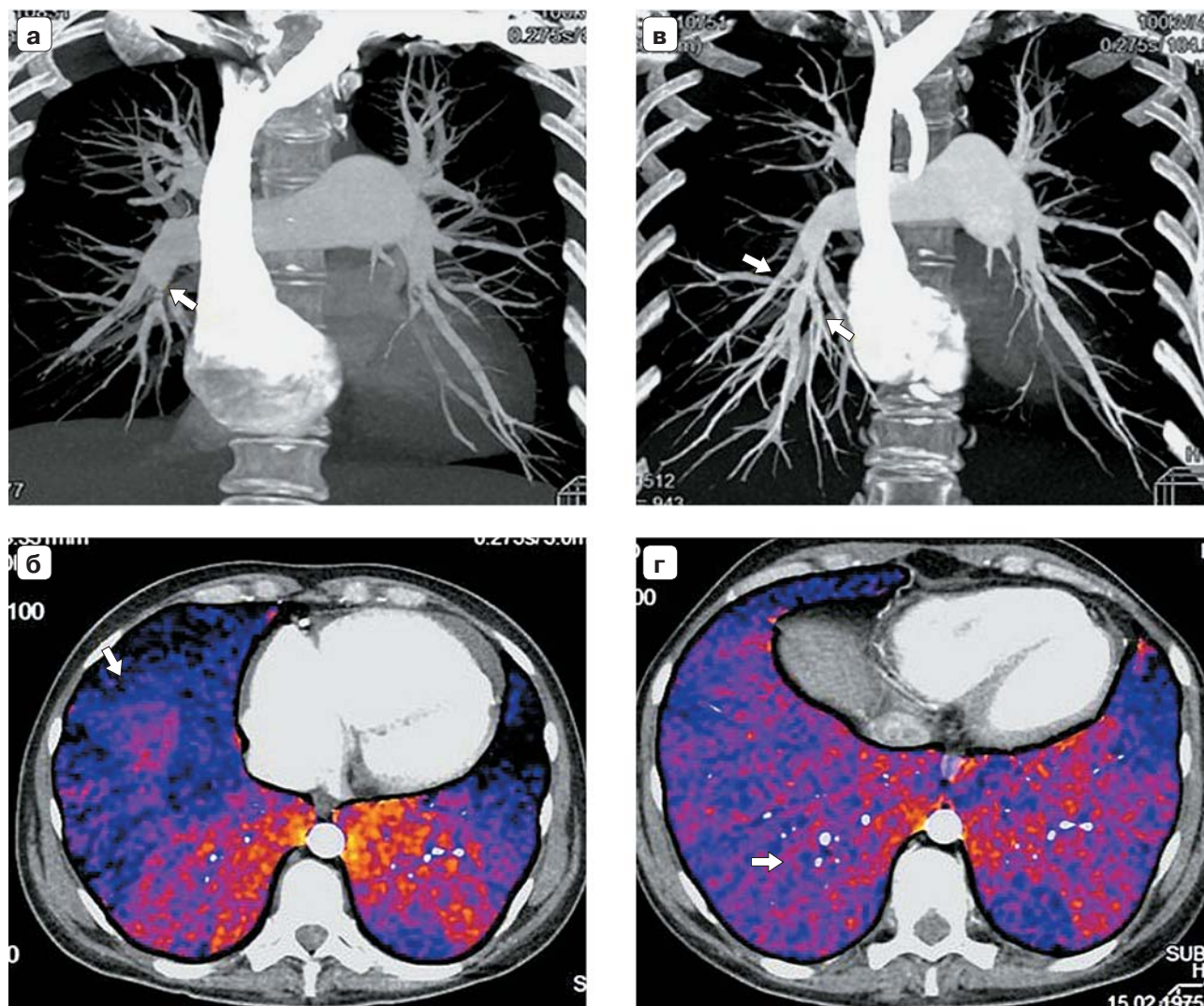
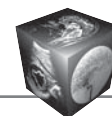


Рис. 3. КТ-АПГ больной Н. до (а, б) и после (в, г) проведения баллонной ангиопластики легочных артерий. а, б – до проведения баллонной ангиопластики легочных артерий в нижнедолевых сегментарных ветвях правого легкого определялись тромботические массы, контрастирование субсегментарных ветвей было резко снижено (а, стрелка), на перфузионной карте в соответствующей тромботическому поражению области отмечалось выраженное снижение перфузии (б, стрелка); в, г – после проведения баллонной ангиопластики легочных артерий отмечалось значительное улучшение контрастирования сегментарных и субсегментарных ветвей (в, стрелки), а также улучшение перфузии (г, стрелка) нижней доли правого легкого.

инвазивного исследования, признаки ЛГ: расширение правых отделов сердца, ствола ЛА и ее ветвей. При построении перфузионных карт в соответствующих тромботическому поражению областях визуализировались участки снижения перфузии, более выраженные в нижней доле правого легкого (общий индекс перфузионных нарушений составил 77,5%).

Учитывая отсутствие клинического эффекта от консервативной терапии (индапамид 1,5 мг/сут, эноксапарин натрия 100 мг/сут, силденафил 60 мг/сут, спиронолактон 100 мг/сут, ивабрадин

15 мг/сут) и дистальный тип поражения, было принято решение о проведении эндоваскулярного лечения. После 6 сеансов БАП было выполнено повторное КТ-исследование. При контрольном исследовании (КТ и инвазивная АПГ) отмечалось значительное улучшение кровоснабжения и перфузии нижней доли правого легкого, уменьшение диаметра ствола ЛА (рис. 3, 4), что сопровождалось снижением ср.ДЛА с 50 до 27 мм рт.ст., уменьшением выраженности одышки, увеличением дистанции в Т6МХ с 235 до 624 м с улучшением функционального статуса с III до II–III.

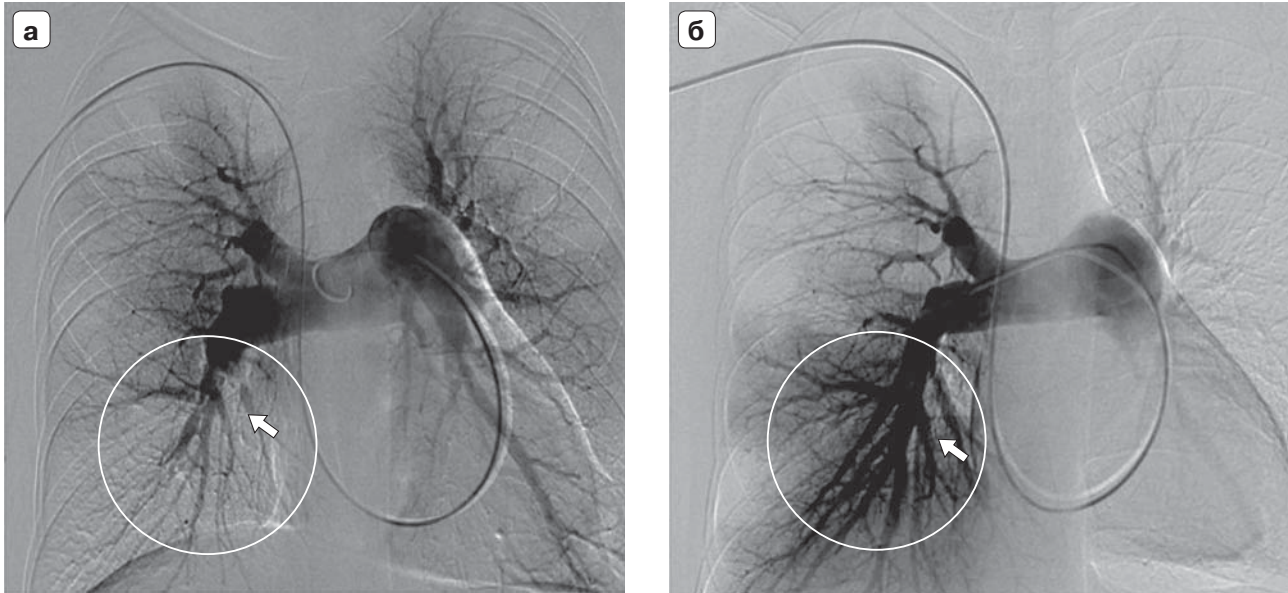
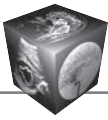


Рис. 4. Инвазивная АПГ больной Н. до (а) и после (б) проведения баллонной ангиопластики легочных артерий. а – до проведения баллонной ангиопластики легочных артерий в устьях нижнедолевых сегментарных ветвей правого легкого были выявлены субтотальные стенозы, в просвете этих ветвей определялись дефекты наполнения (стрелка); б – после проведения баллонной ангиопластики легочных артерий наблюдалось значительное улучшение кровоснабжения нижней доли правого легкого (стрелка).

Обсуждение

На протяжении последних 25 лет КТ-АПГ входит в стандартный алгоритм обследования больных с подозрением на острую ТЭЛА, а с появлением высокоскоростных компьютерных томографов стала методом выбора для этой категории больных [11–13].

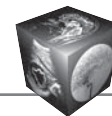
В большинстве случаев при острой ТЭЛА тромботические массы визуализируются в крупных и средних ветвях, что не вызывает сложности визуальной оценки состояния их просвета. Наибольшие трудности возникают при поражении мелких ветвей ЛА, в частности у больных ХТЭЛГ при отсутствии в анамнезе данных о перенесенной ТЭЛА и прогрессирующем нарастании симптомов ЛГ. Таким образом, комплексный подход к диагностике данной категории больных с помощью современных методов визуализации является актуальным и не вызывает сомнения.

С появлением двухэнергетической компьютерной томографии (ДЭКТ) стала возможна не только оценка состояния просвета сосудов и паренхимы легких, но и оценка легочной перфузии, что играет важную роль при дистальном поражении. В основе принципа работы ДЭКТ лежит разница поглощения тканями рентгеновского излучения при различном напряжении на рентгеновской трубке [14, 15]. В настоящее время появилась возможность оценки легочного кровотока с помощью метода КТ-субтракции [7].

Сегодня в зарубежной литературе опубликовано большое количество работ по изучению роли КТ в оценке перфузионных нарушений легких [8, 16, 17]. Имеются единичные отечественные публикации, посвященные оценке состояния просвета ЛА и перфузии легочной ткани методом ДЭКТ у пациентов с ХТЭЛГ до и после ТЭЭ [18–20].

Известно, что обструкция сосудистого русла легких способствует повышению ЛСС, что приводит к развитию ЛГ, поэтому степень обструкции сосудистого русла и состояние перфузии легких играют важную роль в оценке эффективности терапии и отдаленного прогноза.

В настоящей работе мы впервые применили метод субтракционной КТ для оценки перфузии легочной ткани при ХТЭЛГ. У всех пациентов на перфузионных картах визуализировались дефекты перфузии. Логично предположить, что чем выше степень тромботической обструкции легочных сосудов, тем хуже кровоснабжение легочной паренхимы. При проведении корреляционного анализа нами была обнаружена взаимосвязь между степенью тромботического поражения ветвей ЛА и выраженностью перфузионных нарушений ($r = 0,605$; $p = 0,000001$). Среди 1220 сегментов соответствие между перфузионными нарушениями и сосудистой обструкцией было выявлено в 1020 сегментах (у 51 пациента). У 10 пациентов степень выраженности перфузионных нарушений не соответствовала степени обструкции, что,



вероятно, связано с нарушением перфузии легочной ткани на уровне мелких ветвей ЛА, наличием развитой сети периферических коллатералей.

Нами была выявлена прямая корреляционная связь между индексом обструкции и индексом перфузии, что согласуется с работой E.J. Chae и соавт. [8], в которой также была обнаружена взаимосвязь между данными индексами, но у пациентов с острой ТЭЛА ($r = 0,56$; $p < 0,05$). Авторы работы пришли к выводу, что перфузионные карты, полученные с помощью ДЭКТ, и предложенный индекс перфузионных нарушений могут быть полезными для объективной оценки тяжести острой ТЭЛА.

С помощью корреляционного анализа нам не удалось обнаружить достоверных взаимосвязей между индексом обструкции и индексом перфузионных нарушений с ср.ДЛА и дистанцией в ТБМХ, что можно объяснить сложными механизмами патогенеза ЛГ, а также недостаточным количеством больных для проведения такого анализа. Стоит отметить, что ограничениями метода явились полосовидные артефакты от сердечных сокращений, контрастного препарата в подключичной вене, верхней полой вене, правых отделах сердца, а также артефакты от несовпадения границ исследования в нативную и артериальную фазы, которые могли привести к ошибочной интерпретации полученных данных. Таким образом, полученные нами результаты указывают на необходимость проведения дальнейших исследований.

Важно подчеркнуть, что комплексная оценка состояния сосудов и перфузии легких методом субтракционной КТ-АПГ позволяет выявлять obstructивное поражение дистального русла, мелкие тромбы, линейные дефекты контрастирования в виде мембран и перетяжек, а также объективно оценивать эффективность лечения, что подтверждает представленное нами клиническое наблюдение.

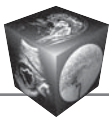
Заключение

Несмотря на то что субтракционная КТ-АПГ находится на раннем этапе научных исследований и требует дальнейшего изучения, данный метод имеет значимый диагностический потенциал в выборе оптимальной стратегии лечения и оценке эффективности лечения у пациентов с ХТЭЛГ.

Сочетание КТ-АПГ с оценкой перфузии легочной ткани (в рамках одного исследования) позволяет оценить не только наличие тромботического поражения, но и выявить перфузионные нарушения, что особенно важно при наличии изменений в дистальных отделах сосудистого русла легких.

Список литературы

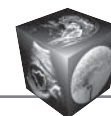
1. McLaughlin V.V., Archer S.L., Badesch D.B., Barst R.J., Farber H.W., Lindner J.R., Mathier M.A., McGoon M.D., Park M.H., Rosenson R.S., Rubin L.J., Tapson V.F., Varga J. American College of Cardiology Foundation Task Force on Expert Consensus Documents; American Heart Association; American College of Chest Physicians; American Thoracic Society, Inc; Pulmonary Hypertension Association. ACCF/AHA 2009 Expert Consensus Document on Pulmonary Hypertension. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2009; 53 (17): 1573–1619. DOI: 10.1016/j.jacc.2009.01.004.
2. Чазова И.Е., Мартынюк Т.В., Акчурин Р.С., Чернявский А.М., Мершин К.В., Данилов Н.М., Матчин Ю.Г., Драненко Н.Ю., Захарова М.А., Иофин А.И., Косолапова В.И., Калимуллина Г.Х., Лукьянчикова В.Ф., Филиппов Е.В. Клинические рекомендации по диагностике и лечению хронической тромбоэмболической легочной гипертензии. *Евразийский кардиологический журнал.* 2016; 2: 8–27.
3. Данилов Н.М., Матчин Ю.Г., Мартынюк Т.В., Федотенков И.С., Чазова И.Е. Транслюминальная баллонная ангиопластика легочных артерий у больных с неоперабельной хронической тромбоэмболической легочной гипертензией (первый опыт в России). *Consilium Medicum.* 2015; 10: 61–66.
4. Galiè N., Humbert M., Vachiery J.L., Gibbs S., Lang I., Torbicki A., Simonneau G., Peacock A., Vonk Noordegraaf A., Beghetti M., Ghofrani A., Gomez Sanchez M.A., Hansmann G., Klepetko W., Lancellotti P., Matucci M., McDonagh T., Pierard L.A., Trindade P.T., Zompatori M., Hoeper M. ESC Scientific Document Group. 2015 ESC/ERS Guidelines for the diagnosis and treatment of pulmonary hypertension. *Eur. Heart J.* 2015; 37 (1): 67–119. DOI: 10.1093/eurheartj/ehv317.
5. Lewis G., Hoey E.T.D., Reynolds J.H., Ganeshan A., Ment J. Multi-detector CT assessment in pulmonary hypertension: techniques, systematic approach to interpretation and key findings. *Quantitative Imaging Med. Surg.* 2015; 5 (3): 423–432. DOI: 10.3978/j.issn.2223-4292.2015.01.05.
6. Grosse C., Grosse A. CT Findings in Diseases Associated with Pulmonary Hypertension: A Current Review. *RadioGraphics.* 2010; 30 (7): 1753–1777. DOI: 10.1148/rg.307105710.
7. 2016. Available at: <http://Iodine Mapping of the Lung Using Subtraction Imaging for Pulmonary Embolism: Technique and Initial Clinical Experience LL-CHE4249, in RSNA 2013: Chicago. Accessed September 12, 2016>.
8. Chae E., Seo J.B., Jang Y.M., Krauss B., Lee C.W., Lee H.J., Song K.S. Dual-Energy CT for Assessment of the Severity of Acute Pulmonary Embolism: Pulmonary Perfusion Defect Score Compared With CT Angiographic Obstruction Score and Right Ventricular/Left Ventricular Diameter Ratio. *Am. J. Roentgenol.* 2010; 194 (3): 604–610. DOI: 10.2214/ajr.09.2681.
9. Yu T., Yuan M., Zhang Q., Shi H., Wang D. Evaluation of computed tomography obstruction index in guiding therapeutic decisions and monitoring percutaneous catheter fragmentation in massive pulmonary embolism. *J. Biomed. Res.* 2011; 25 (6): 431–437. DOI: 10.1016/s1674-8301(11)60057-2.
10. Qanadli S., El Hajjam M., Vieillard-Baron A., Joseph Th., Mesurolle B., Oliva V., Barré O., Bruckert F., Dubourg O.,



- Lacombe P. New CT Index to Quantify Arterial Obstruction in Pulmonary Embolism. *Am. J. Roentgenol.* 2001; 176 (6): 1415–1420. DOI: 10.2214/ajr.176.6.1761415.
- Reichelt A., Hoepfer M., Galanski M., Keberle M. Chronic thromboembolic pulmonary hypertension: Evaluation with 64-detector row CT versus digital subtraction angiography. *Eur. J. Radiol.* 2009; 71 (1): 49–54. DOI: 10.1016/j.ejrad.2008.03.016.
 - Терновой С.К., Королева И.М. Алгоритмы обследования пациентов с подозрением на тромбоэмболию легочной артерии. *Медицинская визуализация.* 2003; 4: 6–9.
 - Синицын В.Е., Гагарина Н.В., Веселова Т.Н., Терновой С.К. Роль компьютерной ангиопульмонографии в современной диагностике тромбоэмболии легочной артерии. *Терапевтический архив.* 2003; 4 (75): 25–29.
 - Lu G., Wu S., Yeh B., Zhang L. Dual-energy computed tomography in pulmonary embolism. *Br. J. Radiol.* 2010; 83 (992): 707–718. DOI: 10.1259/bjr/16337436.
 - Lu G., Zhao Y., Zhang L., Schoepf U. Dual-Energy CT of the Lung. *Am. J. Roentgenol.* 2012; 199 (Suppl. 5): S40–S53. DOI: 10.2214/ajr.12.9112.
 - Meinel F., Graef A., Thierfelder K., Armbruster M., Schild C., Neurohr C., Reiser M.F., Johnson T.R. Automated Quantification of Pulmonary Perfused Blood Volume by Dual-Energy CTPA in Chronic Thromboembolic Pulmonary Hypertension. *RöFo – Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen und der bildgebenden Verfahren.* 2013; 186 (02): 151–156. DOI: 10.1055/s-0033-1350412.
 - Thieme S., Ashoori N., Bamberg F., Sommer W.H., Johnson T.R., Leuchte H., Becker A., Maxien D., Helck A.D., Behr J., Reiser M.F., Nikolaou K. Severity assessment of pulmonary embolism using dual energy CT – correlation of a pulmonary perfusion defect score with clinical and morphological parameters of blood oxygenation and right ventricular failure. *Eur. Radiol.* 2011; 22 (2): 269–278. DOI: 10.1007/s00330-011-2267-3.
 - Мершина Е.А., Синицын В.Е., Фролова Ю.В., Благорова О.В., Дземешкевич С.Л., Глазкова М.А. Диагностика и оценка результатов лечения хронической тромбоэмболической легочной гипертензии (ХТЭЛГ) с помощью двухэнергетической МСКТ. *Российский электронный журнал лучевой диагностики.* 2013; 3 (3): 52–56.
 - Юдин К.А., Масина О.В., Китавина С.И., Агапов В.В. Возможности МСКТ-ангиопульмонографии в диагностике ТЭЛА. *Российский электронный журнал лучевой диагностики.* 2012; 2 (2): 39–42.
 - Королева И.М. Спиральная и мультиспиральная компьютерная томография в диагностике тромбоэмболии легочной артерии. *Медицинская визуализация.* 2003; 2: 50–54.
 - Chazova I.E., Martynyuk T.V., Akchurin R.S., Chernyavskiy A.M., Mershin K.V., Danilov N.M., Matchin Yu.G., Dranenko N.Yu., Zacharova M.A., Iofin A.I., Kosolapova V.I., Kalimullina G.H., Lukyanchikova V.F., Filippov E.V. Clinical guidelines for the diagnosis and treatment of chronic thromboembolic pulmonary hypertension. *Eurasian Heart J.* 2016; 2: 8–27. (In Russian)
 - Danilov N.M., Matchin Yu.G., Martynyuk T.V., Fedotenko I.S., Chazova I.E. Transluminal balloon angioplasty of pulmonary arteries in patients with inoperable chronic thromboembolic pulmonary hypertension (first experience in Russia). *Consilium Medicum.* 2015; 10: 61–66. (In Russian)
 - Galiè N., Humbert M., Vachiery J.L., Gibbs S., Lang I., Torbicki A., Simonneau G., Peacock A., Vonk Noordegraaf A., Beghetti M., Ghofrani A., Gomez Sanchez M.A., Hansmann G., Klepetko W., Lancellotti P., Matucci M., McDonagh T., Pierard L.A., Trindade P.T., Zompatori M., Hoepfer M. ESC Scientific Document Group. 2015 ESC/ERS Guidelines for the diagnosis and treatment of pulmonary hypertension. *Eur. Heart J.* 2015; 37 (1): 67–119. DOI: 10.1093/eurheartj/ehv317.
 - Lewis G., Hoey E.T.D., Reynolds J.H., Ganeshan A., Ment J. Multi-detector CT assessment in pulmonary hypertension: techniques, systematic approach to interpretation and key findings. *Quantitative Imaging Med. Surg.* 2015; 5 (3): 423–432. DOI: 10.3978/j.issn.2223-4292.2015.01.05.
 - Grosse C., Grosse A. CT Findings in Diseases Associated with Pulmonary Hypertension: A Current Review. *RadioGraphics.* 2010; 30 (7): 1753–1777. DOI: 10.1148/rg.307105710.
 2016. Available at: <http://lodine> Mapping of the Lung Using Subtraction Imaging for Pulmonary Embolism: Technique and Initial Clinical Experience LL-CHE4249, in RSNA 2013: Chicago. Accessed September 12, 2016.
 - Chae E., Seo J.B., Jang Y.M., Krauss B., Lee C.W., Lee H.J., Song K.S. Dual-Energy CT for Assessment of the Severity of Acute Pulmonary Embolism: Pulmonary Perfusion Defect Score Compared With CT Angiographic Obstruction Score and Right Ventricular/Left Ventricular Diameter Ratio. *Am. J. Roentgenol.* 2010; 194 (3): 604–610. DOI: 10.2214/ajr.09.2681.
 - Yu T., Yuan M., Zhang Q., Shi H., Wang D. Evaluation of computed tomography obstruction index in guiding therapeutic decisions and monitoring percutaneous catheter fragmentation in massive pulmonary embolism. *J. Biomed. Res.* 2011; 25 (6): 431–437. DOI: 10.1016/s1674-8301(11)60057-2.
 - Qanadli S., El Hajjam M., Vieillard-Baron A., Joseph Th., Mesurolle B., Oliva V., Barré O., Bruckert F., Dubourg O., Lacombe P. New CT Index to Quantify Arterial Obstruction in Pulmonary Embolism. *Am. J. Roentgenol.* 2001; 176 (6): 1415–1420. DOI: 10.2214/ajr.176.6.1761415.
 - Reichelt A., Hoepfer M., Galanski M., Keberle M. Chronic thromboembolic pulmonary hypertension: Evaluation with 64-detector row CT versus digital subtraction angiography. *Eur. J. Radiol.* 2009; 71 (1): 49–54. DOI: 10.1016/j.ejrad.2008.03.016.
 - Ternovoy S.K., Koroleva I.M. Examinations algorithms of patients suspected on pulmonary embolism. *Medical Visualization.* 2003; 4: 6–9. (In Russian)
 - Sinitsyn V.E., Gagarina N.V., Veselova T.N., Ternovoi S.K. Role of computed angiopulmonography in current

References

- McLaughlin V.V., Archer S.L., Badesch D.B., Barst R.J., Farber H.W., Lindner J.R., Mathier M.A., McGoon M.D., Park M.H., Rosenson R.S., Ruben L.J., Tapson V.F., Varga J. American College of Cardiology Foundation Task Force on Expert Consensus Documents; American Heart Association; American College of Chest Physicians; American Thoracic Society, Inc; Pulmonary Hypertension Association. ACCF/AHA 2009 Expert Consensus Document on Pulmonary Hypertension. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2009; 53 (17): 1573–1619. DOI: 10.1016/j.jacc.2009.01.004.



- diagnosis of pulmonary artery thromboembolism. *Terapevticheskij Arkhiv*. 2003; 4 (75): 25–29. (In Russian)
14. Lu G., Wu S., Yeh B., Zhang L. Dual-energy computed tomography in pulmonary embolism. *Br. J. Radiol.* 2010; 83 (992): 707–718. DOI: 10.1259/bjr/16337436.
 15. Lu G., Zhao Y., Zhang L., Schoepf U. Dual-Energy CT of the Lung. *Am. J. Roentgenol.* 2012; 199 (Suppl. 5): S40–S53. DOI: 10.2214/ajr.12.9112.
 16. Meinel F., Graef A., Thierfelder K., Armbruster M., Schild C., Neurohr C., Reiser M.F., Johnson T.R. Automated Quantification of Pulmonary Perfused Blood Volume by Dual-Energy CTPA in Chronic Thromboembolic Pulmonary Hypertension. *RöFo – Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen und der bildgebenden Verfahren*. 2013; 186 (02): 151–156. DOI: 10.1055/s-0033-1350412.
 17. Thieme S., Ashoori N., Bamberg F., Sommer W.H., Johnson T.R., Leuchte H., Becker A., Maxien D., Helck A.D., Behr J., Reiser M.F., Nikolaou K. Severity assessment of pulmonary embolism using dual energy CT – correlation of a pulmonary perfusion defect score with clinical and morphological parameters of blood oxygenation and right ventricular failure. *Eur. Radiol.* 2011; 22 (2): 269–278. DOI: 10.1007/s00330-011-2267-3.
 18. Mershina E.A., Sinitsyn V.E., Frolova Yu.V., Blagova O.V., Dzemeshkevich S.L., Glazkova M.A. Dual-energy MDCT in diagnosis and follow-up of chronic thromboembolic pulmonary hypertension (CTEPH). *REJR*. 2013; 3 (3): 52–56. (In Russian)
 19. Udin K.A., Masina O.V., Kitavina S.I., Agapov V.V. MSCT pulmonary angiography in pulmonary embolism diagnosis. *REJR*. 2012; 2 (2): 39–42. (In Russian)
 20. Koroleva I.M. Spiral and multispiral CT diagnosis of thromboembolism of pulmonary artery. *Medical Visualization*. 2003; 2: 50–54. (In Russian)

Для корреспонденции*: Демченкова Анна Юрьевна – 121552 Москва, ул. 3-я Черепковская, д. 15а, Москва, Россия. Тел.: +7-495-414-64-97. E-mail: demchenkovaanna89@gmail.com

Веселова Татьяна Николаевна – доктор мед. наук, старший научный сотрудник отдела томографии ФГБУ “НМИЦ кардиологии” Минздрава России, Москва.

Демченкова Анна Юрьевна – аспирант отдела томографии ФГБУ “НМИЦ кардиологии” Минздрава России, Москва.

Мартынюк Тамила Витальевна – доктор мед. наук, ведущий научный сотрудник отдела гипертонии, руководитель отдела легочной гипертонии и заболеваний сердца ФГБУ “НМИЦ кардиологии” Минздрава России, Москва.

Данилов Николай Михайлович – канд. мед. наук, старший научный сотрудник отдела гипертонии ФГБУ “НМИЦ кардиологии” Минздрава России, Москва.

Терновой Сергей Константинович – академик РАН, доктор мед. наук, профессор, руководитель отдела томографии ФГБУ “НМИЦ кардиологии” Минздрава России; заведующий кафедрой лучевой диагностики и терапии ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России, Москва.

Чазова Ирина Евгеньевна – академик РАН, доктор мед. наук, профессор, заместитель генерального директора, директор Института клинической кардиологии им. А.Л. Мясникова, руководитель отдела гипертонии ФГБУ “НМИЦ кардиологии” Минздрава России, Москва.

Contact*: Anna Yu. Demchenkova – 121552, 3-th Cherepkovskya, 15a, Moscow, Russia. Phone: +7-495-414-64-97. E-mail: demchenkovaanna89@gmail.com

Tatyana N. Veselova – doct. of med. sci., Professor, senior researcher at tomography department of the National Medical Research Center of Cardiology, Moscow.

Anna Yu. Demchenkova – postgraduate student at tomography department of the National Medical Research Center of Cardiology, Moscow.

Tamila V. Martynyuk – doct. of med. sci., leading Researcher at hypertension department, head of the department of pulmonary hypertension and heart diseases of the National Medical Research Center of Cardiology, Moscow.

Nicolay M. Danilov – cand. of med. sci., Senior Researcher at hypertension department of the National Medical Research Center of Cardiology, Moscow.

Sergey K. Ternovoy – academician of the RAS, doct. of med. sci., Professor, principal researcher of the tomography department of the National Medical Research Center of Cardiology; Head of the Department of Imaging and Radiation Therapy of the Sechenov University, Moscow.

Irina E. Chazova – academician of the RAS, doct. of med. sci., Professor, Deputy General Director, head of the hypertension department of the National Medical Research Center of Cardiology, Moscow.

Поступила в редакцию 27.07.2018.
Принята к печати 20.09.2018.

Received on 27.07.2018.
Accepted for publication on 20.09.2018.