

ISSN 1607-419X  
ISSN 2411-8524 (Online)  
УДК 616.073-12-008.331

## Использование компьютерной томографии в оценке степени тяжести пациентов с хронической тромбоэмболической легочной гипертензией

К. А. Пищулов, М. А. Симакова,  
Д. В. Карпова, О. М. Моисеева

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр имени В. А. Алмазова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

### Контактная информация:

Пищулов Константин Анатольевич,  
ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова»  
Минздрава России,  
ул. Аккуратова, д. 2, Санкт-Петербург,  
Россия, 197341.  
Тел.: 8(812)702-68-16.  
E-mail: Pishchulov\_KA@almazovcentre.ru

Статья поступила в редакцию  
31.03.21 и принята к печати 08.04.21.

### Резюме

**Цель исследования** — изучение возможности применения компьютерной томографии для оценки степени тяжести пациентов с хронической тромбоэмболической легочной гипертензией (ХТЭЛГ). **Материалы и методы.** В исследование включен 41 пациент с верифицированным диагнозом ХТЭЛГ. Многосрезовая компьютерно-томографическая ангиография (МСКТ-АПГ) проводилась как по стандартному протоколу, так и в режиме двухэнергетического сканирования. В зависимости от уровня тромботического поражения легочной артерии пациенты были разделены на 2 группы: пациенты с проксимальным и пациенты с дистальным типом поражения легочной артерии. **Результаты.** Такие расчетные показатели, как индекс Кванадли и индекс Score, демонстрировали значимую отрицательную взаимосвязь со значением сердечного выброса (СВ) ( $r = -0,591$ ,  $p < 0,05$ ;  $r = -0,531$ ,  $p < 0,001$  соответственно), сатурации смешанной венозной крови ( $SvO_2$ ) ( $r = -0,457$ ,  $p = 0,065$ ;  $r = -0,595$ ,  $p < 0,001$  соответственно). Для индекса Score установлены отрицательные взаимосвязи как со значением СВ ( $r = -0,531$ ,  $p < 0,001$ ), показателем  $SvO_2$  ( $r = -0,595$ ,  $p < 0,001$ ), так и со значением N-терминального фрагмента мозгового натрийуретического пропептида NTproBNP ( $r = -0,537$ ,  $p = 0,003$ ). Корреляции сохраняются при анализе внутри сравниваемых групп. При этом в группе с проксимальным типом поражения выявлены статистически значимые взаимосвязи индекса Кванадли со средним давлением в легочной артерии ( $r = 0,825$ ,  $p = 0,012$ ). У 39% ( $n = 16$ ) пациентов встречалась аневризма легочной артерии, при этом у пациентов с дистальным типом поражения была показана положительная взаимосвязь наличия аневризмы легочной артерии с функциональным классом ХТЭЛГ ( $r = 0,526$ ,  $p = 0,007$ ). **Заключение.** Такие расчетные показатели МСКТ-АПГ, как индекс Кванадли и индекс Score, представляются перспективными для оценки степени тяжести пациентов с ХТЭЛГ.

**Ключевые слова:** легочная гипертензия, хроническая тромбоэмболическая легочная гипертензия, легочная тромбэндартерэктомия, баллонная ангиопластика легочной артерии, компьютерная томография, ангиопульмонография

Для цитирования: Пищулов К. А., Симакова М. А., Карпова Д. В., Моисеева О. М. Использование компьютерной томографии в оценке степени тяжести пациентов с хронической тромбоэмболической легочной гипертензией. Артериальная гипертензия. 2021;27(3):333–340. doi:10.18705/1607-419X-2021-27-3-333-340

## Computed tomography in assessing the severity of patients with chronic thromboembolic pulmonary hypertension

K. A. Pishchulov, M. A. Simakova,  
D. V. Karpova, O. M. Moiseeva  
Almazov National Medical Research Centre,  
St Petersburg, Russia

**Corresponding author:**  
Konstantin A. Pishchulov,  
Almazov National Medical  
Research Centre,  
2 Akkuratov street, St Petersburg,  
197347 Russia.  
Phone: 8(812)702-68-16.  
E-mail: Pishchulov\_KA@almazovcentre.ru

Received 3 March 2021;  
accepted 8 April 2021.

### Abstract

**Objective.** To evaluate the role of computed tomography in the assessment of chronic thromboembolic pulmonary hypertension (CTEPH) severity. **Design and methods.** We included 41 patients. Chest dual-energy CT-computed tomographic angiography was performed according to the standard protocol and in some cases Dual Energy mode was used. The patients were divided into 2 groups: with proximal and distal types of pulmonary artery lesions. **Results.** Quanadli index and Score index showed a significant negative correlation with the value of cardiac output (CO) ( $r = -0,591$ ,  $p < 0,05$ ;  $r = -0,531$ ,  $p < 0,001$ , respectively), mixed venous blood saturation (SvO<sub>2</sub>) ( $r = -0,457$ ,  $p = 0,065$ ;  $r = -0,595$ ,  $p < 0,001$ , respectively). For the Score index, significant negative correlations were established with both the CO value:  $r = -0,531$ ,  $p < 0,001$ , the SvO<sub>2</sub>  $r = -0,595$ ,  $p < 0,001$ , and with the N-terminal pro-B type natriuretic peptide (NTproBNP) value ( $r = -0,537$ ,  $p = 0,003$ ). Correlations are also found in the analysis within the compared groups. The Quanadli index correlated with the mean pressure in the pulmonary artery in the group with the proximal type of lesion ( $r = 0,825$ ,  $p = 0,012$ ). Pulmonary artery aneurysms were detected in 39% ( $n = 16$ ) patients. There was a positive correlation between the presence of a pulmonary artery aneurysm and the functional class of CTEPH ( $r = 0,526$ ,  $p = 0,007$ ) in patients with the distal lesion. **Conclusions.** Quanadli and Score indices are promising tools for CTEPH severity assessment.

**Key words:** pulmonary hypertension, chronic thromboembolic pulmonary hypertension, pulmonary endarterectomy, balloon pulmonary angioplasty, computed tomography, angiopulmonography

*For citation: Pishchulov KA, Simakova MA, Karpova DV, Moiseeva OM. Computed tomography in assessing the severity of patients with chronic thromboembolic pulmonary hypertension. Arterial'naya Gipertenziya = Arterial Hypertension. 2021;27(3):333-340. doi:10.18705/1607-419X-2021-27-3-333-340*

### Введение

Хроническая тромбоэмболическая легочная гипертензия (ХТЭЛГ) — вариант прекапиллярной легочной гипертензии, для которой характерно повышение среднего давления в легочной артерии  $\geq 25$  мм рт. ст. в сочетании с давлением заклинивания легочной артерии  $\leq 15$  мм рт. ст. и легочным сосудистым сопротивлением  $> 3$  ед. Вуда. ХТЭЛГ, как наиболее неблагоприятный в отношении про-

гноза для жизни больного вариант посттромбоэмболического синдрома, является редким осложнением острой тромбоэмболии легочной артерии. Так, по различным источникам, частота трансформации в ХТЭЛГ у пациентов с верифицированным эпизодом тромбоэмболии легочной артерии составляет от 0,57% до 8,8%, в среднем составляя 3,4% [1–4]. Ключевым моментом в ведении пациента с ХТЭЛГ является оценка операбельности, выполняемой

в условиях экспертного центра легочной гипертензии на основании сопоставления данных мультисрезовой компьютерной ангиопульмонографии (МСКТ-АПГ) и инвазивной ангиографии в сочетании с оценкой тяжести гемодинамических нарушений и коморбидного фона больного. При этом одним из ключевых критериев отбора является возможность радикального удаления посттромботического материала из ветвей легочной артерии, определяющаяся уровнем поражения и опытом кардиохирургической команды [5]. Таким образом, МСКТ-АПГ является ключевым неинвазивным методом дифференциальной диагностики между разными формами легочной гипертензии и оценки операбельности больного с ХТЭЛГ. КТ-признаки трансформации острого тромботического поражения легких в хроническое могут быть классифицированы на сосудистые, паренхиматозные и перфузионные изменения. К паренхиматозным изменениям относят признаки «мозаичной перфузии» и постинфарктные изменения. Сосудистые изменения включают прямые признаки ХТЭЛГ, описывающие структуру и уровень расположения посттромботического субстрата, а также признаки наличия легочной гипертензии в виде расширения ствола и главных ветвей легочной артерии, расширения и гипертрофии правого желудочка с изменением его геометрии и смещением межжелудочковой перегородки в сторону левого желудочка. Так, по данным А. Grosse и соавторов (2018), у неоперабельных больных с ХТЭЛГ увеличение показателя соотношения диаметра правого желудочка к левому желудочку ассоциировано с неблагоприятным исходом [6]. К перфузионным изменениям относят признаки, связанные с обеспечением системного (коллатерального) кровоснабжения посредством расширенных бронхиальных и межреберных артерий [7]. Согласно результатам работы М. Heinrich и соавторов (2005), наличие расширенных бронхиальных артерий являлось независимым предиктором благоприятного прогноза у пациентов с выполненной легочной тромбэндартэктомией [8]. Более детальные данные о состоянии перфузии легочной ткани можно получить при выполнении компьютерной томографии (КТ) в режиме Dual Energy с построением перфузионных йодных карт, основанных на распределении йодсодержащего контрастного препарата в легочной паренхиме. **Целью исследования** стало изучение возможности КТ в оценке степени тяжести пациентов с ХТЭЛГ.

### Материалы и методы

В исследовании принял участие 41 пациент с ХТЭЛГ, проходивший лечение в ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России с 2016 по

2020 год: 20 мужчин (возраст  $48,5 \pm 17,2$  года) и 21 женщина (возраст  $54,9 \pm 14,7$  года). Диагноз ХТЭЛГ верифицирован согласно клиническим рекомендациям по диагностике и ведению пациентов с легочной гипертензией Европейского общества кардиологов от 2015 года [9]. Оценка операбельности больных и выбор метода лечения осуществлялись мультидисциплинарной командой с участием кардиолога, кардиохирурга, интервенционного хирурга и врача-рентгенолога. Всеми пациентами до включения в исследование подписано информированное согласие. Исследования проводили на компьютерном томографе Somatom Definition (Siemens) в режиме двухэнергетического сканирования (DualEnergy) после внутривенного болюсного контрастирования. Контрастный препарат вводили со скоростью 5 мл/с в объеме 100 мл. Сканирование грудной клетки начинали после дополнительной задержки 11 секунд с момента срабатывания триггера. Диаметр главной легочной артерии измеряли в средней трети перпендикулярно оси сосуда. Диаметр легочной артерии более 40 мм классифицировали как аневризму легочной артерии [10]. Отношение правого к левому желудочку было измерено как отношение коротких осей желудочков в четырехкамерной позиции. Индекс Кванадли рассчитывался по формуле  $\Sigma(n \cdot d)/40 \times 100$ , где  $n$  — количество сегментарных ветвей, отходящих дистально (минимум 1; максимум 20) и  $d$  — степень обструкции (минимум 0; максимум 2). Значения  $n$  варьировали от минимума 1 (заблокирован один сегмент) до максимума 20 (обструкция правой и левой легочных артерий) [11]. Score индекс был рассчитан по формуле:  $\text{Score} = U/B + \text{Ø mPA} + \text{MP} + \text{TR}$ , где  $U/B$  — одностороннее или двустороннее поражение,  $\text{Ø mPA}$  — диаметр легочной артерии на уровне ствола,  $\text{MP}$  — степень мозаичной перфузии и  $\text{TR}$  — трикуспидальная регургитация [12]. Каждый параметр оценивался по балльной шкале, далее количество баллов складывалось. Степень мозаичной перфузии оценивалась визуально и классифицировалась как легкая, если она присутствовала в менее чем 10% легочной ткани, средняя — при вовлечении от 10% до 30% легочной паренхимы и тяжелая — при поражении более 30%. Трикуспидальная регургитация была разделена на четыре степени в зависимости от степени рефлюкса контрастного вещества в нижнюю полую вену и вены печени [13]. Остаточный периферический кровоток рассчитывался как процент неокклюзированных ветвей легочной артерии от их общего количества. Время до старта рассчитывалось от начала введения контрастного препарата до момента накопления целевой концентрации контраста в легочной артерии. Пациенты были разделены на

2 группы: в первую группу (n = 15) были включены пациенты с проксимальным типом поражения (распространение посттромботического поражения на ствол, главные и долевые ветви легочной артерии), во вторую группу (n = 26) — пациенты с дистальным типом поражения (распространение посттромботического поражения на сегментарные и субсегментарные ветви легочной артерии). Эхокардиографическое исследование проводилось на аппарате VIVID 7 Dimension (General Electric, США), оценка правых камер сердца проводилась в соответствии с рекомендациями по эхокардиографии от 2015 года [14]. Оценка гемодинамики малого круга кровообращения оценивалась в ходе катетеризации правых камер сердца с использованием термодилуционного баллонного катетера 7F Swan-Ganz путем измерения давления в правом предсердии, систолического, диастолического и среднего давления в легочной артерии; давления заклинивания легочных капилляров и сердечного выброса (СВ). Легочное сосудистое сопротивление, ударный объем и сердечный индекс рассчитывались по стандартным формулам. Уровень N-терминального фрагмента мозгового натрий-

уретического пропептида (NT-proBNP) определяли в сыворотке крови электрохемилюминесцентным методом с помощью стандартного набора Elecsys (Roche Diagnostic GmbH, Германия). Для оценки физической работоспособности выполнялся тест с 6-минутной ходьбой согласно рекомендациям Американского торакального общества [15].

Результаты выполненного обследования обрабатывались с помощью статистической программы IBM SPSS Statistics 26. Все значения представлены как медиана и квартили Q25-Q75. Сравнение количественных параметров в исследуемых группах осуществлялось с использованием критерия Манна-Уитни. Сопоставление изучаемых показателей при разных способах классификации и оценки в динамике (парные выборки) выполнялось с помощью критерия знаков, критерия Вилкоксона, критерия Фридмана. Для оценки связей между показателями КТ и другими показателями был применен коэффициент ранговой корреляции Спирмена. Критерием статистической значимости результатов считали общепринятую в медицине величину  $p < 0,05$ .

Таблица 1

## КЛИНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБСЛЕДОВАННОЙ ГРУППЫ ПАЦИЕНТОВ

Показатель	Группа 1 (проксимальный тип) n = 15	Группа 2 (дистальный тип) n = 26	p-значение
Возраст, годы	53 [38; 70]	51 [36; 66]	0,578
Женский пол, %	53 %	50 %	0,966
I/II/III/IV ФК	0 % / 40 % / 60 % / 0 %	4 % / 28 % / 64 % / 4 %	0,768
Дистанция в Т6МХ, м	321 [168; 423]	324 [255; 395]	0,972
NT-proBNP, пг/мл	917 [226; 1294]	1447 [288; 2488]	0,611
ДЛА среднее, мм рт. ст.	52 [35; 67]	50 [42; 60]	0,574
ЦВД, мм рт. ст.	14 [48; 13]	15 [10; 20]	0,934
SvO <sub>2</sub> , %	58,5 [41,1; 66,1]	61,3 [45,4; 60,4]	0,613
СВ	3,9 [3,2; 4,8]	4,1 [3,4; 4,9]	0,856
СИ	2,08 [1,72; 2,46]	1,87 [1,59; 2,29]	0,267
TAPSE, мм	16,69 [14,5; 17,5]	15,05 [12,75; 18]	0,434
РСДЛА	96 [79; 113]	85 [70; 101]	0,186
S ПП, см <sup>2</sup>	32 [29; 40]	29 [23; 37]	0,83
ПЖбаз, мм	49 [43; 55]	48 [43; 54]	0,567
ТР, 1/2/3/4-я степень	14 % / 36 % / 43 % / 7 %	9 % / 30 % / 39 % / 22 %	0,434

**Примечание:** ФК — функциональный класс; Т6МХ — тест с 6-минутной ходьбой; NT-proBNP — N-терминальный фрагмент мозгового натрийуретического пропептида; ДЛА — давление в легочной артерии; ЦВД — центральное венозное давление; СВ — сердечный выброс; СИ — сердечный индекс; TAPSE — амплитуда движения латеральной части фиброзного кольца трикуспидального клапана; РСДЛА — расчетное систолическое давление в легочной артерии; S ПП — площадь правого предсердия; ПЖбаз — размер правого желудочка на уровне базальных сегментов в 4ch проекции; ТР — степень трикуспидальной регургитации. Данные представлены в виде медианы, 25-й и 75-й квартилей распределения.

## ДАННЫЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ В ИССЛЕДУЕМЫХ ГРУППАХ

Показатель	Группа 1 (проксимальный тип) n = 15	Группа 2 (дистальный тип) n = 26	p-значение
Количество пораженных сегментарных артерий справа	8,4 [7,1; 10,0]	7,3 [6,8; 9,1]	0,035
Количество пораженных сегментарных артерий слева	7,5 [5,1; 10,1]	6,3 [5,2; 8,3]	0,054
Индекс Кванадли	54,7 [50,1; 59,4]	47,5 [45,1; 55,3]	0,238
Остаточный периферический кровоток, %	65 [50; 75]	76 [64; 91]	0,047
Отношение ПЖ/ЛЖ	1,33 [1,11; 1,61]	1,37 [1,12; 1,71]	0,907
Аневризма легочной артерии, %	47%	35%	0,368
ЛА/Ао	1,2 [1,1; 1,4]	1,18 [1,0; 1,3]	0,455
Индекс Score	9,4 [8,1; 10,0]	8,3 [6,5; 10,3]	0,618
Контраст в венах печени, 1/2/3/4-я степень	13% / 30% / 27% / 13%	27% / 12% / 19% / 42%	0,721
Расширение бронхиальных артерий, %	86%	80%	0,323
Периваскулярное матовое стекло, 1/2/3/4-я степень	17% / 33% / 33% / 17%	24% / 38% / 29% / 10%	0,535
Мозаичная перфузия, 1/2/3/4-я степень	13% / 47% / 27% / 13%	19% / 35% / 31% / 15%	0,743
Субплевральный фиброз, %	93%	87%	0,765
Время до старта, сек	10 [9; 12]	13 [9; 16]	0,374

**Примечание:** ПЖ/ЛЖ — отношение размеров правого и левого желудочков на уровне базальных сегментов в 4ch проекции; ЛА/Ао — отношение диаметра ствола легочной артерии к диаметру восходящей аорты. Данные представлены в виде медианы, 25-й и 75-й квартилей распределения.

**Результаты**

Из 41 пациента, включенного в исследование, 19 пациентов подверглись этапной процедуре баллонной ангиопластики легочной артерии, 18 пациентам выполнена легочная тромбэндартерэктомия, 4 больных были признаны неоперабельными, им проводилась только медикаментозная терапия. Исходные клинические данные пациентов представлены в таблице 1. О тяжести обследованной группы больных свидетельствуют показатели гемодинамики малого круга кровообращения и функционального статуса: среднее давление в легочной артерии составило 50,8 [41,8; 60,2] мм рт. ст., сердечный индекс 1,96 [1,61; 2,37] л/мин, 62,5% больных относились к III функциональному классу ХТЭЛГ. При этом у пациентов с разным типом морфологического поражения значимых отличий показателей гемодинамики и функционального статуса выявлено не было.

При анализе данных МСКТ-АПГ во всей обследованной группе такой косвенный признак ХТЭЛГ, как мозаичная перфузия, наблюдался у 83% пациентов, субплевральный фиброз — у 88% больных. У всех пациентов правый желудочек превалировал над левым: среднее значение показателя со-

отношения диаметра правого желудочка к левому желудочку составило 1,21 [1,1; 1,3], что дополнительно указывало на тяжесть обследованных больных. Расширение бронхиальных артерий отмечено в 88% случаев, расширение легочной артерии (более 29 мм) встречалось у 95% пациентов, тогда как критерии аневризмы легочной артерии выполнялись в 39% (n = 16). При этом в группе пациентов с дистальным типом поражения была показана положительная взаимосвязь наличия аневризмы легочной артерии с функциональным классом ХТЭЛГ ( $r = 0,526$ ,  $p = 0,007$ ).

Сравнение данных КТ в исследуемых группах представлено в таблице 2. Количество пораженных сегментарных артерий справа было статистически выше в группе с проксимальным типом поражения, чем с дистальным: 8,4 [7,1; 10,0] против 7,3 [6,8; 9,1] ( $p = 0,035$ ). При этом процент остаточной перфузии в группе с дистальным типом поражения был выше, при сравнении с пациентами с проксимальным поражением: 76 [64; 91]% против 65 [50; 75]% ( $p = 0,047$ ), что свидетельствует о большем гемодинамическом эффекте более проксимального типа поражения.

При анализе данных КТ и инвазивной оценки гемодинамики малого круга кровообращения установлены значимые связи ряда показателей. Так, индекс Кванадли, который позволяет количественно оценить степень обструкции русла легочной артерии, демонстрировал значимую отрицательную взаимосвязь с такими важными прогностическими показателями, как СВ ( $r = -0,591$ ,  $p < 0,05$ ), сатурация смешанной венозной крови ( $SvO_2$ ) ( $r = -0,457$ ,  $p = 0,065$ ). Для индекса Score, отражающего степень гемодинамических и морфологических изменений, установлены отрицательные взаимосвязи с СВ ( $r = -0,531$ ,  $p < 0,001$ ), с показателем  $SvO_2$  ( $r = -0,595$ ,  $p < 0,001$ ) и со значением уровня NTproBNP ( $r = -0,537$ ,  $p = 0,003$ ). Показана значимая отрицательная связь показателя времени до старта, косвенно отражающего систолическую функцию правого желудочка, с дистанцией, пройденной во время теста с 6-минутной ходьбой ( $r = -0,647$ ,  $p = 0,05$ ), с сатурацией смешанной венозной крови ( $r = -0,647$ ,  $p = 0,05$ ). Обозначенные корреляции сохраняются при анализе внутри сравниваемых групп. Дополнительно при анализе группы с проксимальным типом поражения выявлены статистически значимые взаимосвязи индекса Кванадли как с систолическим давлением в легочной артерии ( $r = 0,667$ ,  $p = 0,041$ ), так и со средним давлением в легочной артерии ( $r = 0,825$ ,  $p = 0,012$ ). У 11 пациентов были построены карты распределения йода в паренхиме с использованием двухэнергетического сканирования, в большинстве случаев наблюдалось соответствие зон а-/гипоперфузии с вовлеченными в патологический процесс сегментарными артериями. У трех пациентов (27%) выявлен дефект перфузии в зоне, где, по данным МСКТ-АПГ, проходимость сегментарных и субсегментарных ветвей легочной артерии не нарушена. Возможно, это объясняется поражением более мелких ветвей, недоступных при визуальной оценке, в силу ограничения разрешающей способности метода.

### Обсуждение

Оценка наличия косвенных признаков ХТЭЛГ представляется важной для диагностики различных классов легочной гипертензии, особенно в случае дифференциальной диагностики ХТЭЛГ и легочной артериальной гипертензии, осложненной проксимальным тромбозом легочной артерии [16]. Использование сканирования в режиме Dual Energy так называемой двухэнергетической компьютерной томографии (ДЭКТ) позволяет визуализировать распределение йода в паренхиме и оценить перфузию легких [17]. При этом количество и форма зон нарушения перфузии у пациентов с ХТЭЛГ значи-

тельно отличаются от таковых при идиопатической легочной артериальной гипертензии, что позволяет использовать этот подход как дополнительный инструмент для дифференциальной диагностики [18]. Построение йодных карт улучшает диагностику дистального варианта ХТЭЛГ, поскольку дефекты перфузии, формирующиеся вследствие поражения мелких ветвей (ветви 4-го и 5-го порядка), визуализируются даже при отсутствии тромботического поражения более дистальных отделов легочной артерии [19]. По данным ряда авторов, такой показатель, как количество перфузируемой крови в легких (PBV), может обеспечить дополнительную объективную оценку степени тяжести ХТЭЛГ [20, 21]. Сопоставимость метода ДЭКТ с вентиляционно-перфузионной сцинтиграфией продемонстрирована в ряде работ с различной степенью достоверности [22–25]. Факт неполного соответствия результатов сопоставления методов может объясняться отсутствием физиологической эквивалентности подходов: ДЭКТ оценивает перфузию легочной паренхимы как за счет малого круга кровообращения, так и за счет коллатерального кровотока, в то время как перфузионная сцинтиграфия детектирует непосредственно нарушения в системе легочной артерии. По этой причине требуются дальнейшие исследования возможностей ДЭКТ для рекомендации метода в качестве скринингового теста у пациентов с легочной гипертензией [26]. При этом стоит подчеркнуть, что в условиях малой доступности вентиляционно-перфузионной сцинтиграфии в РФ, применение ДЭКТ в условиях экспертного центра легочной гипертензии может использоваться в качестве скринингового теста для исключения ХТЭЛГ [27].

Важными аспектами ведения пациента с ХТЭЛГ являются оценка его тяжести и стратификация риска неблагоприятного исхода. Полученные нами взаимосвязи индекса Кванадли, характеризующего степень обструкции легочной артерии и более интегрального показателя тяжести поражения легких — индекса Score с такими факторами неблагоприятного исхода, как СВ, сатурация смешанной венозной крови и уровень NTproBNP, свидетельствуют о перспективности этих показателей в качестве дополнительных критериев тяжести пациента с оптимизацией сроков маршрутизации в экспертный центр ХТЭЛГ. При этом выявление взаимосвязей индекса Кванадли с инвазивными гемодинамическими показателями малого круга кровообращения только у пациентов с проксимальным типом поражения, вероятно, объясняется малой выборкой и требует дальнейшего изучения на более обширной группе. Обращает на себя внимание тот факт,

что в данной работе такой косвенный показатель тяжести поражения легочной артерии, как процент остаточной перфузии, не показал значимых связей ни с одним из показателей гемодинамики малого круга кровообращения. Вероятно, это объясняется односторонней оценкой с помощью этого параметра лишь степени обструкции сосуда без учета ее функциональной значимости. Представляется перспективным расчет остаточного периферического кровотока с использованием ДЭКТ и определения процента перфузируемого объема крови. Так, в работе N. Nallasamy с соавторами (2019) была показана диагностическая ценность таких функциональных показателей ДЭКТ, как общий коэффициент поглощения паренхимы (LungHU), процент перфузируемого объема крови (PBV), пиковое и максимальное поглощение главных легочных артерий (P<sub>Apeak</sub>, P<sub>Amax</sub>) при сравнительной оценке групп пациентов с тромбоэмболией легочной артерии и ХТЭЛГ [28].

Отдельно следует подчеркнуть важность своевременного выявления расширения легочной артерии у пациента с ХТЭЛГ, которая может приводить к сдавлению ствола левой коронарной артерии и вызывать клинику стенокардии, провоцировать желудочковые нарушения ритма высоких градаций, негативно влияя тем самым на прогноз пациентов [10]. Так, в ретроспективной работе китайских коллег, включавшей 140 больных с легочной артериальной гипертензией, ассоциированной с диффузными заболеваниями соединительной ткани и периодом наблюдения пять лет, расширение легочной артерии более 37,7 мм являлось независимым фактором риска неблагоприятного исхода ( $p < 0,00012$ ; относительный риск 3,97; 95% доверительный интервал: 1,96, 8,01) [29]. В нашем исследовании аневризмы встречались у 39% пациентов, при этом, по данным инвазивной коронарографии, выполненной всем больным в рамках оценки операбельности, не было выявлено гемодинамически значимых стенозов коронарных артерий.

### Заключение

Полученные данные демонстрируют возможность использования КТ как в качестве важнейшего инструмента первичной диагностики ХТЭЛГ с оценкой уровня и типа поражения, так и для оценки степени тяжести у пациентов данной категории. Представляется перспективным изучение возможностей ДЭКТ для дифференциальной диагностики и стратификации риска неблагоприятного исхода у пациентов, перенесших тромбоэмболию легочной артерии.

### Финансирование / Funding

Государственное задание 2021–2023 годов №№ 121031100305–9. / State task project 2021–2023 No № 121031100305–9.

### Конфликт интересов / Conflict of interest

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

### Список литературы / References

1. Barco S, Russo M, Vicaut E, Becattini C, Bertolotti L, Beyer-Westendorf J et al. Incomplete echocardiographic recovery at 6 months predicts long-term sequelae after intermediate-risk pulmonary embolism. A post-hoc analysis of the Pulmonary Embolism Thrombolysis (PEITHO) trial. *Clin Res Cardiol.* 2019;108(7):772–778. doi:10.1007/s00392-018-1405-1
2. Stevens H, Fang W, Clements W, Bloom J, McFadyen J, Tran H. Risk stratification of acute pulmonary embolism and determining the effect on chronic cardiopulmonary complications: The REACH Study. *TH Open.* 2020;4:e45–e50. doi:10.1055/s-0040-1708558
3. Klok FA, van Kralingen KW, van Dijk APJ, Heyning FH, Vliegen HW, Huisman MV. Prospective cardiopulmonary screening program to detect chronic thromboembolic pulmonary hypertension in patients after acute pulmonary embolism. *Haematologica* 2010;95(6):970–975. doi:10.3324/haematol.2009.018960
4. Simonneau G, Torbicki A, Dorfmueller P, Kim N. The pathophysiology of chronic thromboembolic pulmonary hypertension. *Eur Respir Rev.* 2017;26(143):160112. doi:10.1183/16000617.0112-2016
5. Легочная гипертензия. Руководство для врачей. С. Н. Авдеев, А. В. Волков, В. В. Гайнитдинова и др.; под ред. чл.-корр. РАН С. Н. Авдеева. 2-е изд., перераб. и доп. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2019. 608 с. [Pulmonary hypertension. Textbook. SN Avdeev, AV Volkov, VV Gainitdinova et al. Ed. by SN Avdeev. 2nd ed. M.: GEOTAR-Media, 2019. 608 p. In Russian].
6. Grosse A, Grosse C, Lang I. Evaluation of the CT imaging findings in patients newly diagnosed with chronic thromboembolic pulmonary hypertension. *PLoS One.* 2018;13:e0201468. doi:10.1371/journal.pone.0201468
7. Демченкова А. Ю., Веселова Т. Н., Мартынюк Т. В., Данилов Н. М., Мершин К. В., Терновой С. К. и др. Состояние сосудистого русла, паренхимы и перфузии легких при хронической тромбоэмболической легочной гипертензии по данным субтракционной компьютерной томографической ангиопульмонографии. *Кардиология.* 2018;58(5):48–56. <https://doi.org/10.18087/cardio.2018.5.10120>. doi:10.18087/cardio.2018.5.10120 [Demchenkova AYU, Veselova TN, Martynyuk TV, Danilov NM, Mershin KV, Ternovoy SK et al. The state of vascular bed, parenchyma and perfusion of lungs in chronic thromboembolic pulmonary hypertension according to data of subtraction pulmonary angiography. *Kardiologiiia.* 2018;58(5):48–56. doi:10.18087/cardio.2018.5.10120. In Russian].
8. Heinrich M, Uder M, Tscholl D, Grgic A, Kramann B, Schäfers HJ. CT scan findings in chronic thromboembolic pulmonary hypertension: predictors of hemodynamic improvement after pulmonary thromboendarterectomy. *Chest.* 2005;127(5):1606–1613. doi:10.1378/chest.127.5.1606
9. Galie N, Humbert M, Vachiery JL, Gibbs S, Lang I, Torbicki A et al. 2015 ESC/ERS Guidelines for the diagnosis and treatment of pulmonary hypertension. The joint task force for the diagnosis and treatment of pulmonary hypertension of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Respiratory Society (ERS). *Eur Heart J.* 2016;37(1):67–111. doi:10.1183/13993003.01032–2015
10. Galie N, Saia F, Palazzini M, Manes A, Russo V, Bacchi Reggiani ML et al. Left main coronary artery compression in

patients with pulmonary arterial hypertension and angina. *J Am Coll Cardiol.* 2017;69(23):2808–2817. doi:10.1016/j.jacc.2017.03.597

11. Qanadli SD, El Hajjam M, Vieillard-Baron A, Joseph T, Mesurolle B, Oliva VL et al. New CT index to quantify arterial obstruction in pulmonary embolism: comparison with angiographic index and echocardiography. *AJR Am J Roentgenol.* 2001;176(6):1415–1420. doi:10.2214/ajr.176.6.1761415

12. Leone MB, Giannotta M, Palazzini M, Cefarelli M, Martin Suárez S, Gotti E et al. A new CT-score as index of hemodynamic changes in patients with chronic thromboembolic pulmonary hypertension. *Radiol Med.* 2017;122(7):495–504. doi:10.1007/s11547-017-0750-x

13. Groves AM, Win T, Charman SC, Wisbey C, Pepke-Zaba J, Coulden RA et al. Semi-quantitative assessment of tricuspid regurgitation on contrast-enhanced multidetector CT. *Clin Radiol.* 2004;59(8):715–719. doi:10.1016/j.crad.2004.02.007

14. Lang RM, Badano LP, Mor-Avi V, Afilalo J, Armstrong A, Ernande L et al. Recommendations for cardiac chamber quantification by echocardiography in adults: an update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *J Am Soc Echocardiogr.* 2015;28(1):1–39.e14. doi:10.1016/j.echo.2014.10.003

15. ATS statement: Guidelines for the six-minute walk test. *Am J Respir Crit Care Med.* 2002;166:111–117. doi:10.1164/ajrccm.166.1.at1102

16. Moser KM, Fedullo PF, Finkbeiner WE, Golden J. Do patients with primary pulmonary hypertension develop extensive central thrombi? *Circulation.* 1995;91(3):741–745. doi:10.1161/01.cir.91.3.741

17. Fuld MK, Halaweish AF, Haynes SE, Divekar AA, Guo J, Hoffman EA. Pulmonary perfused blood volume with dual-energy CT as surrogate for pulmonary perfusion assessed with dynamic multidetector CT. *Radiology.* 2013;267(3):747–756. doi:10.1148/radiol.12112789

18. Giordano J, Khung S, Duhamel A, Hossein-Foucher C, Bellèvre D, Lamblin N et al. Lung perfusion characteristics in pulmonary arterial hypertension (PAH) and peripheral forms of chronic thromboembolic pulmonary hypertension (pCTEPH): Dual-energy CT experience in 31 patients. *Eur Radiol.* 2016;27(4):1631–1639. doi:10.1007/s00330-016-4500-6

19. Le Faivre J, Duhamel A, Khung S, Faivre JB, Lamblin N, Remy J et al. Impact of CT perfusion imaging on the assessment of peripheral chronic pulmonary thromboembolism: clinical experience in 62 patients. *Eur Radiol.* 2016;26(11):4011–4020. doi:10.1007/s00330-016-4262-1

20. Takagi H, Ota H, Sugimura K, Otani K, Tominaga J, Aoki T et al. Dual-energy CT to estimate clinical severity of chronic thromboembolic pulmonary hypertension: Comparison with invasive right heart catheterization. *Eur J Radiol.* 2016;85(9):1574–1580. doi:10.1016/j.ejrad.2016.06.010

21. Meinel F, Graef A, Thierfelder K, Armbruster M, Schild C, Neurohr C et al. Automated quantification of pulmonary perfused blood volume by dual-energy CT in chronic thromboembolic pulmonary hypertension. *Rofo.* 2014;186(2):151–156. doi:10.1055/s-0033-1350412

22. Renapurkar RD, Bolen MA, Shrikanthan S, Bullen J, Karim W, Primak A et al. Comparative assessment of qualitative and quantitative perfusion with dual-energy CT and planar and SPECT-CT V/Q scanning in patients with chronic thromboembolic pulmonary hypertension. *Cardiovasc Diagn Ther.* 2018;8(4):414–422. doi:10.21037/cdt.2018.05.07

23. Nakazawa T, Watanabe Y, Hori Y, Kiso K, Higashi M, Itoh T et al. Lung perfused blood volume images with dual-energy computed tomography for chronic thromboembolic pulmonary hypertension. *J Comput Assist Tomogr.* 2011;35(5):590–595. doi:10.1097/rct.0b013e318224e227

24. Masy M, Giordano J, Petyt G, Hossein-Foucher C, Duhamel A, Kyheng M et al. Dual-Energy CT (DECT) lung perfusion in pulmonary hypertension: concordance rate with V/Q scintigraphy in diagnosing chronic thromboembolic pulmonary hypertension (CTEPH). *Eur Radiol.* 2018;28(12):5100–5110. doi:10.1007/s00330-018-5467-2

25. Dournes G, Verdier D, Montaudon M, Bullier E, Rivière A, Dromer C et al. Dual-energy CT perfusion and angiography in chronic thromboembolic pulmonary hypertension: diagnostic accuracy and concordance with radionuclide scintigraphy. *Eur Radiol.* 2014;24(1):42–51. doi:10.1007/s00330-018-5467-2

26. Delcroix M, Torbicki A, Gopalan D, Sitbon O, Klok FA, Lang I et al. ERS statement on chronic thromboembolic pulmonary hypertension. *Eur Respir J.* 2020;2002828. doi:10.1183/13993003.02828-2020

27. Hoey ETD, Mirsadraee S, Pepke-Zaba J, Jenkins DP, Gopalan D, Screaton NJ. 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. doi:10.2214/AJR.10.4842

28. Nallasamy N, Bullen J, Karim W, Heresi GA, Renapurkar RD. Evaluation of vascular parameters in patients with pulmonary thromboembolic disease using dual-energy computed tomography. *J Thorac Imaging.* 2019;34(6):367–372. doi:10.1161/01.cir.91.3.741

29. Li X, Zhang C, Sun X, Yang X, Zhang M, Wang Q et al. Prognostic factors of pulmonary hypertension associated with connective tissue disease: pulmonary artery size measured by chest CT. *Rheumatology (Oxford).* 2020;59(11):3221–3228. doi:10.1093/rheumatology/keaa100

#### Информация об авторах

Пищулов Константин Анатольевич — клинический ординатор кафедры внутренних болезней ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России, ORCID: 0000-0002-7817-3847, e-mail: Pishchulov\_KA@almazovcentre.ru;

Симакова Мария Александровна — кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории кардиомиопатий ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России, ORCID: 0000-0001-9478-1941, e-mail: Simakova\_MA@almazovcentre.ru;

Карпова Дарья Владимировна — заведующая отделением компьютерной томографии ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России, ORCID: 0000-0001-9528-9377, e-mail: Karpova\_DV@almazovcentre.ru;

Моисеева Ольга Михайловна — доктор медицинских наук, заведующая научно-исследовательским отделом некоронарогенных заболеваний сердца ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России, ORCID: 0000-0002-7817-3847, e-mail: Moiseeva\_OM@almazovcentre.ru.

#### Author information

Konstantin A. Pishchulov, MD, Resident, Department of Internal Diseases, Almazov National Medical Research Centre, ORCID: 0000-0002-7817-3847, e-mail: Pishchulov\_KA@almazovcentre.ru;

Maria A. Simakova, MD, PhD, Senior Researcher, Noncoronary Heart Disease Department, Almazov National Medical Research Centre, ORCID: 0000-0001-9478-1941, e-mail: Simakova\_MA@almazovcentre.ru;

Daria V. Karpova, MD, Head, Computed Tomography Department, Almazov National Medical Research Centre, ORCID: 0000-0001-9528-9377, e-mail: Karpova\_DV@almazovcentre.ru;

Olga M. Moiseeva, MD, PhD, DSc, Professor, Head, Noncoronary Heart Disease Department, Almazov National Medical Research Centre, ORCID: 0000-0002-7817-3847, e-mail: Moiseeva\_OM@almazovcentre.ru.