

УДК 616-073.75:616.24

Авторы заявили об отсутствии конфликта интересов

DOI: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2019-10-1-62-68>

ПЕРФУЗИОННАЯ КОМПЬЮТЕРНАЯ ТОМОГРАФИЯ В УТОЧНЕНИИ ПРИРОДЫ ОЧАГОВОЙ ПАТОЛОГИИ ЛЕГКИХ*

¹И. Д. Лагкуева, ¹Н. И. Сергеев, ¹П. М. Котляров, ¹Т. Р. Измаилов, ²В. В. Падалко,
¹В. А. Солодкий

¹Российский научный центр рентгенорадиологии, Москва, Россия

²Первый Московский государственный медицинский университет им. И. М. Сеченова, Москва, Россия

© Коллектив авторов, 2019 г.

Изучение возможностей перфузионной компьютерной томографии (ПКТ) в определении природы очаговых образований легких при отсутствии морфологической верификации, сомнительности данных нативной КТ — актуальная задача торакальной радиологии. Целью исследования было уточнение методики и возможностей ПКТ в определении природы очаговых образований легких. Проанализированы данные ПКТ 29 пациентов с доброкачественными и злокачественными изменениями в легких на 128-срезовом компьютерном томографе с обработкой данных на рабочей станции. Заключение: низкодозный протокол сканирования при ПКТ легких позволяет получать достоверные данные по ангиогенезу очаговых образований легких. При получении перфузионной карты очага ROI выставляется на область наиболее высокого кровотока. При достаточных данных ПКТ о природе и распространенности патологии легких от проведения КТ с контрастным усилением возможно отказаться. Средние показатели PS, TTP являются основными и ведущими факторами определения природы очага в легких. Качественный и количественный анализ данных ПКТ позволяет достоверно определить природу очагов в легких.

Ключевые слова: перфузионная компьютерная томография, легкие, очаговое образование

PERFUSION COMPUTED TOMOGRAPHY IN REFINEMENT NATURE AND FOCAL LUNG DISEASE

¹I. D. Lagkueva, ¹N. I. Sergeev, ¹P. M. Kotlyarov, ¹T. R. Izmailov, ²V. V. Padalko, ¹V. A. Solodkiy

¹Russian Scientific Center of Roentgenoradiology, Moscow, Russia

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

Introduction: The study of the possibilities of perfusion computed tomography (PCT) in determining the nature of focal lung formations in the absence of morphological verification, doubtfulness of the data of native CT — the actual problem of thoracic radiology. *The aim of the study* was to Refine the methodology and capabilities of PCT in determining the nature of formations of the lungs. *Material and methods of research:* The data of PCT of 29 patients with benign and malignant changes in the lungs on 128 slice computed tomography with data processing at the workstation were analyzed. *Conclusion:* Low-dose scanning Protocol for lung PCT allows to obtain reliable data on the angiogenesis of focal lung formations. Upon receipt of the perfusion map, the ROI is placed on the area of the highest blood flow. With sufficient PCT data on the nature and prevalence of lung disease from CT with contrast enhancement may refuse. Average PS, TTP are the main and leading factors in determining the nature of the lesion in the lungs. Qualitative and quantitative analysis of PCT data allows to speak reliably about the nature of foci in the lungs.

Key words: perfusion computed tomography, lung, focal formations

Для цитирования: Лагкуева И.Д., Сергеев Н.И., Котляров П.М., Измаилов Т. Р., Падалко В.В., Солодкий В.А.

Перфузионная компьютерная томография в уточнении природы очаговой патологии легких // Лучевая диагностика и терапия. 2019. № 1. С. 62–68, DOI: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2019-10-1-62-68>.

Введение. Мультиспиральная компьютерная томография (МСКТ) — «золотой стандарт» в пер- вичной и дифференциальной диагностике патологии легких. Однако МСКТ, дополненная болюсным

* Работа выполнялась в рамках научной тематики отдела новых технологий и семиотики лучевой диагностики заболеваний органов и систем ФГБУ «Российский научный центр рентгенорадиологии» Минздрава России и договора о научном сотрудничестве между ФГБУ «Российский научный центр рентгенорадиологии» Минздрава России и ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И. М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский Университет).

контрастным усилением, не всегда позволяет ответить на поставленные вопросы о природе выявленных очаговых изменений в легких [1–6]. Внедрение скрининговых проектов раннего выявления рака легкого увеличило количество так называемых случайных находок в легких, порой ставящих врача рентгенолога в затруднительное положение ввиду отсутствия патогномоничных признаков, указывающих на природу выявленных изменений [7, 8]. С развитием КТ-технологий появилась методика перфузионной КТ (ПКТ), позволяющая оценивать распределение и прохождение контрастированной крови в различных тканях организма, в том числе в очаговых образованиях легких. Полученные данные, представленные такими параметрами, как объем и скорость кровотока, проницаемость сосудистой стенки, время максимальной концентрации и др., дают представление об ангиогенезе образования и позволяют косвенно судить о метаболической активности ткани [9]. Согласно данным литературы, с помощью ПКТ можно с высокой долей вероятности определить природу очагов в легких размерами свыше 1 см, интерпретированных как неопределенные при стандартной МСКТ [10–12].

Данная методика до настоящего времени не нашла широкого применения в клинической практике, отсутствуют стандартизованные протоколы проведения исследования, рекомендации по постпроцессинговой обработке и трактовке ее результатов.

Цель исследования: уточнение методики проведения и возможностей перфузионной компьютерной томографии в определении природы очаговых образований легких.

Материалы и методы. Перфузионная КТ выполнена 29 пациентам с верифицированными доброкачественными и злокачественными изменениями в легких. Исследования выполнялись на 128-срезовом компьютерном томографе фирмы «General Electric», модель «Optima CT660». Постпроцессинговая обработка данных исследования проводилась на рабочей станции Advantage Workstation (GE).

У 16 (55%) пациентов был диагностирован рак легкого (у 4 из них по типу «матового стекла»), у 4 (14%) пациентов — метастатическое поражение различного происхождения, у 5 (17%) — гамартома, у 4 (14%) — рубцовые изменения. Размеры очагов варьировали от 1 до 4 см. Диагноз верифицирован при пункционной биопсии, анализе операционного материала у 23 (79%) пациентов; 6 (21%) пациентов находятся в процессе динамического мониторинга. Для получения достоверных параметров перфузии, а также для полного расправления воздуходержащих пространств пациенты задерживали дыхание на высоте вдоха на время сканирования. В случае невозможности задержки дыхания на необходимый период времени, у пациентов тренировали нечастое, одинаковой амплитуды дыхание. Периферическая вена пациента пунктировалась

до начала исследования (чаще локтевая или вена кисти). В исследовании использовался контрастный препарат «Ультравист 370» и «Йомерон», которые вводились со скоростью 4,0–4,5 мл/с по схеме «short sharp bolus», в объеме 45 мл, после чего сразу же вводилось 30 мл изотонического раствора натрия хлорида с аналогичной скоростью (4,0–4,5 мл/с). Общий объем введенного раствора составлял 75 мл. Данный подход необходим для поддержания постоянной концентрации внутрисосудистого контрастного вещества и сохранения градиента концентрации между внутри- и внесосудистыми пространствами на высоком уровне. Эти условия необходимы для улучшения отношения сигнал/шум и оптимизации анализа данных. При «высоком» расположении интересующего очага во избежание феномена наведенного контрастирования мы выбирали вену на противоположной от очага стороне.

Сканирование начиналось с выполнения нативной фазы с использованием обычного протокола — 120 кВ, 350 мА, ее продолжительность составляла в среднем 4–5 с. Затем определялась область проведения перфузии, протяженность которой может варьировать от 8 до 16 см. Использовались в основном 16 см зона интереса, позволявшая более полно оценивать очаговые изменения, изменения в прилежащих отделах и окружающих анатомических структурах.

Для уменьшения дозы рентгеновского излучения при ПКТ целесообразно использовать значения низкого напряжения (80–100 кВ) и силы тока (120–200 мА). Как показал анализ наших данных, выполнение низкодозного протокола ПКТ с напряжением 80 кВ и силой тока 120 мА дает оптимальное соотношение качество исследования/снижение дозы (доза облучения снижалась до 30%). Протокол ПКТ при очаговой патологии легких представлен в табл. 1.

Таблица 1

Протокол перфузионной компьютерной томографии при очаговой патологии легких

Фаза исследования (количество повторений)	Время сканирования, с	Контрастное усиление
Нативная фаза ×1	4–5	—
Выбор области перфузии (8–16 см)		
Перфузия (основная фаза) ×25	43	4,0–4,5 мл/с
Перфузия (добавочные фазы) ×5	75	—
Задержка для снижения концентрации КВ 15 минут		
МСКТ с усилением (по показаниям)	60	2,5–3 мл/с

После выделения зоны сканирования с консоли одновременно выполнялись команды на старт болюсной инъекции и перфузионного сканирования, которое начиналось с 3-секундной задержкой. Первая (основная) фаза перфузии состояла из 25 сканирований, включающих 13 движений

стола в краниокаудальном направлении и 12 движений в обратном направлении по 1,52 секунды каждое. Общее время выполнения данного этапа равнялось 43 секундам. Далее выполнялись 5 добавочных перфузионных фаз через каждые 12 секунд, каждая из которых состояла из одного сканирования в режиме «вперед-назад». Таким образом, общее время перфузионного сканирования составляло около 130 секунд. Решение о дополнении ПКТ МСКТ с болюсным усилением принималось после анализа данных нативной КТ и ПКТ — при достаточности данных ПКТ о природе и распространенности патологического процесса в легких МСКТ с усилением не выполнялась.

В табл. 2 приведены суммарные значения лучевой нагрузки при выполнении комплексного КТ-исследования легких при очаговой патологии, включая перфузионную КТ. Из таблицы видно, при выполнении ПКТ объемом 8 см общая дозовая нагрузка на пациента равнялась 17 мЗв, а при выполнении 16 см — 21 мЗв. В то же время при получении достоверных данных о природе очагового образования легкого, распространенности процесса по данным ПКТ, отказа от проведения МСКТ с болюсным контрастным усилением эффективная доза на пациента при зоне интереса 16 см уменьшалась до 13 мЗв; при 8 см — до 9 мЗв.

Таблица 2

Значения дозовой нагрузки при выполнении ПКТ

Фаза исследования	Дозовая нагрузка, мЗв	Итого
Нативная фаза	5	
Перфузия (8 см)	4	17 мЗв (8 см)
Перфузия (16 см)	8	21 мЗв (16 см)
КТ с болюсным контрастным усилением	8	

Постпроцессинговая обработка — заключительный этап перфузии, состоящий из получения качественных и количественных данных. Для получения относительных величин плотность/время ROI #1 размещалась на грудной отдел аорты нативных данных ПКТ, а ROI #2 — на очаг перфузионной карты. Полученные значения обрабатывались с помощью специализированных математических алгоритмов, заложенных в рабочую станцию. Оптимально ставить метку небольшого размера (в пределах 10–15 мм²), что позволяет уменьшить неоднородность зоны интереса, выражаемое показателем стандартное отклонение от средних значений. Как показал анализ, ROI #2 необходимо выставлять в участках наибольшего кровотока в очаге, определяемого на основании цветных карт: цвет участка с наибольшим кровотоком соответствует или приближается по насыщенности к цвету аорты на карте. Для оценки параметров перфузии в зоне патологических изменений качество визуального изображения очага не имеет существен-

ного значения — собственно тонкая макроструктура его исследуется при нативной МСКТ. Меняя положение ROI #2 в очаге, а также его размеры, параметры перфузии также могли колебаться в значительных пределах, что вероятно обусловлено неоднородностью зон ангиогенеза при раке легкого и метастатическом поражении обусловленные процессами распада и новообразования патологических тканей. Необходимо избегать попадания ROI на легочные сосуды в случае их расположения в толще очага; включение их в область интереса дает завышенные показатели перфузии.

В наших исследованиях для оценки параметров ПКТ применялся метод деконволюции, использующий артериальные и тканевые кривые времени для расчета функции остаточного импульса для ткани. Остаточный импульс представляет собой теоретическую тканевую кривую, которая получается из прямого артериального входа, предполагая, что концентрация контрастного вещества в ткани линейно зависит от входной артериальной концентрации, когда поток крови (BF) является постоянным. После учета коррекции потока высота этой кривой отражает перфузию ткани, а площадь под кривой будет определять относительный объем крови. Среднее время прохождения (MTT) может быть определено из площади под кривой, деленной на высоту кривой, в соответствии с центральным объемом (BV=BF×MTT). Метод деконволюции предполагает, что контрастный препарат не диффундирует, так как утечка в межклеточное пространство медленна относительно времени прохождения контрастного вещества и при условии, что диффузия равна нулю, приводит лишь к небольшим погрешностям в большинстве органов [13, 14].

Для оценки проницаемости капилляров используется модель распределенных параметров, которая по существу является расширенной моделью деконволюции. Этот подход позволяет методу обеспечивать значения проницаемости и перфузии, но требует более длительного периода сбора данных для определения характеристик оттока внесосудистого контрастного препарата [15].

Качественный анализ состоял из анализа перфузионных карт, автоматически выстраиваемых программой для каждого параметра перфузии: а) (BV мл/100 г) — общий объем крови, проходящей через сосуды в выбранной зоне; б) (BF, мл/100/г/мин) — скорость прохождения определенного объема крови через заданный объем ткани за единицу времени; в) (MTT), с) — среднее время прохождения крови через весь объем опухоли; г) (PS, мл/100/г/мин) — проницаемость сосудов; д) (TTP, с) — время достижения пиковой концентрации контрастного вещества.

Статистический анализ параметров кровотока ПКТ был выполнен с помощью специализированного программного обеспечения IBM SPSS Statistics 20 и Stata 12.0. (Stata Corp, USA). Анализ парамет-

ров кровотока в очагах по данным ПКТ проводился по t-критерию Стьюдента для двух независимых выборок — групп со злокачественными и доброкачественными изменениями. Результаты выражались в виде средних значений и стандартных отклонений, при этом оценка исследуемого параметра, которая, по крайней мере, в два раза превосходит свою стандартную ошибку ($t\text{-value} > 2,0$), рассматривалась как статистически значимая ($p < 0,05$).

Результаты и их обсуждение. Как показал анализ данных ПКТ 29 пациентов, кровотоки в очаге регистрировался у 21 (72%) человека — у 16 больных с опухолью легкого и метастазами, у 4 пациентов с гамартомой и у одного пациента с рубцовыми изменениями. У 8 (27%) пациентов патологические изменения легких на перфузионных картах не отображались (4 пациента с раком по типу «матового стекла», 3 — с рубцовыми изменениями, один — с гамартомой). При качественном анализе кривой концентрация/время, при раке легкого, метастатическом поражении ее форма зависела от варианта кровоснабжения очага. Злокачественные процессы имели определенную вариабельность значений и в целом характеризовались повышенными параметрами перфузии, отражающими суть патологического неопластического процесса: наличием высокого артериального пика, быстрым снижением концентрации контрастного препарата в венозную и последующие фазы, высокими количественными показателями перфузии (рис. 1).

При доброкачественном генезе изменений наблюдалось две группы пациентов с наличием перфузионной карты (5 человек) и отсутствием перфузионной карты очага (4 человека). Кривые перфузии при доброкачественном генезе отличались от таковых при злокачественном очаге невысоким пиком (15–30% от максимальных значений в аорте) с последующей пологой кривой выведения; отсутствием или низкими количественными показателями (рис. 2). Отсутствие цветовой карты очага у 4 пациентов с верифицированной аденокарциномой, отображавшейся при КТ в виде «матового стекла», вероятно, обусловлено морфологическими особенностями роста опухоли. Возможно, по мере роста, появления солидного компонента будет нарастать ангиогенез в данном типе рака легкого.

Как показал сравнительный анализ данных ПКТ и МСКТ с болюсным контрастным усилением, последнюю можно было не проводить у 14 (48%) из 29 пациентов. Это были пациенты с одиночными (или несколькими) очагами, увеличенными лимфоузлами, которые полностью попадали в зону ПКТ. Комплексного анализа данных макроструктуры изменений в легких по данным нативной КТ и ангиогенеза зоны интереса по результатам ПКТ было достаточно для определения природы и распространенности процесса, планирования лечебных мероприятий.

Нами проведен статистический анализ t-критерия по параметрам кровотока в исследуемой группе

пациентов ($n=25$ — из анализа исключено 4 пациента с раком легкого по типу «матового стекла») с доброкачественными и злокачественными процессами. Из полученных данных видно, что выявлены достоверные различия по анализу кровотока по проницаемости (PS) в средних значениях ($p=0,038$), в максимальных и минимальных числах ($p=0,017$; $p=0,011$), а также в среднем отклонении ($p=0,018$). При анализе времени достижения пиковой концентрации контрастного вещества (ТТР), также отмечены достоверные показатели в минимальных, максимальных, средних и среднем отклонении значений ($p=0,008$; $p=0,002$; $p=0,008$; $p=0,008$). Стоит отметить, что статистической обработке результатов объема кровотока (BV) в выбранном очаге получены значимые различия в средних значениях ($p=0,022$); в минимальных, максимальных и среднем отклонении различий не выявлено ($p=0,074$; $p=0,69$; $p=0,06$). Показатель скорость кровотока в области интереса (BF) в минимальных отклонениях значений оказался статистически незначимым ($p=0,201$), в максимальном, среднем и среднем отклонениях результаты получились достоверными ($p=0,004$; $p=0,018$; $p=0,015$). Результаты времени максимальной концентрации контрастного вещества в очаге (T-max) были недостоверными в минимальных числах ($p=0,152$), а в среднем, максимальном и среднем отклонениях выявлены достоверные различия ($p=0,002$; $p=0,004$; $p=0,004$). Таким образом, средние показатели проницаемости сосудистой стенки (PS), времени достижения пиковой концентрации контрастного вещества (ТТР) как при злокачественных, так и при доброкачественных процессах в легких являются основными и ведущими факторами при оценке ПКТ.

Проведенное исследование показало, что признаком злокачественности очаговых образований в легких по данным ПКТ было наличие очагового образования на перфузионной карте с признаками высоких показателей ангиогенеза по данным кривой плотность/время, средних показателей пиковой концентрации контрастного вещества и проницаемости сосудистой стенки. Качественные и количественные характеристики перфузии при раке, метастатическом поражении легких, гамартомах и рубцовых изменениях в совокупности с оценкой макроструктуры с высокой степенью точности позволяют предположить природу очаговых изменений в легких, что совпадает с результатами данных ряда авторов [8, 10, 11]. ROI в зоне интереса необходимо выставлять в участках наибольшего кровотока (цвет участка с наибольшим кровотоком соответствует (или приближается по насыщенности). Полученные данные не совпадают с рекомендациями ряда авторов выставлять ROI на весь объем опухоли [16, 17]. Результаты исследования не подтвердили данные ряда работ об эффективности ПКТ в определении природы очаговых образований легких по типу «матового стекла» Как показал сравнительный анализ дан-

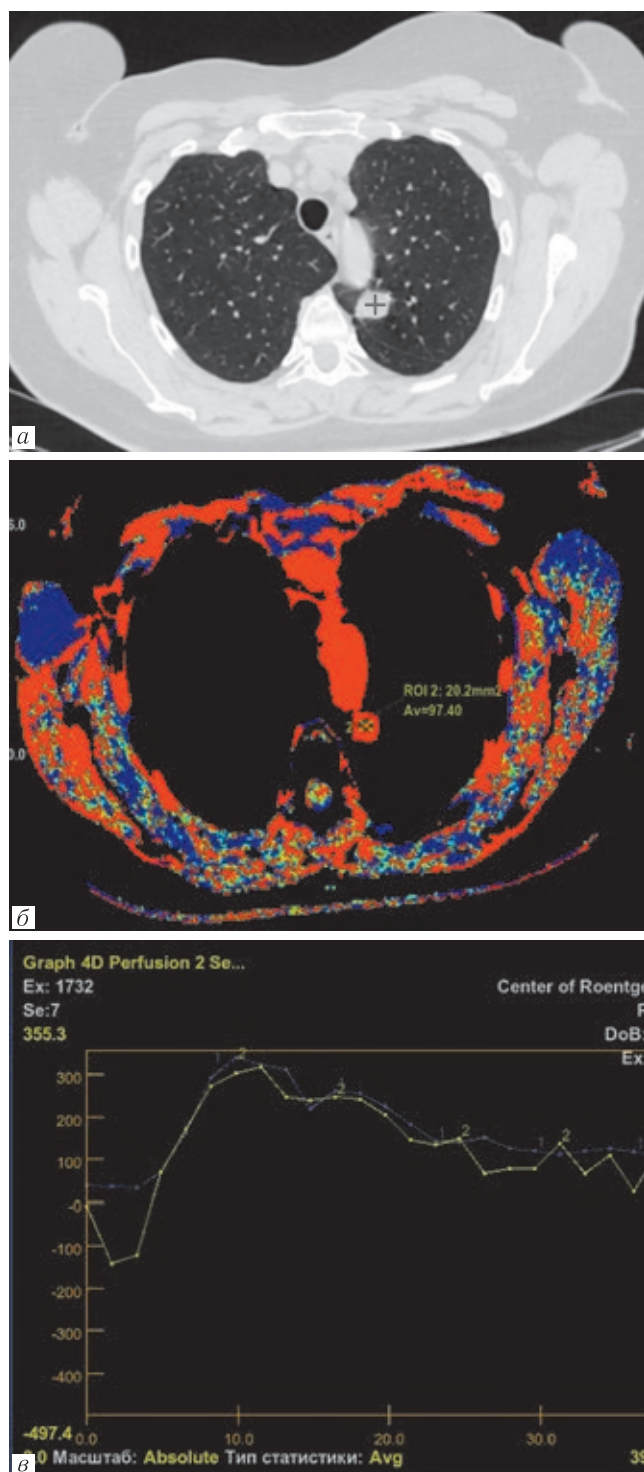


Рис. 1. Периферический рак левого легкого: *а* — МСКТ: определяется очаговое образование в левом легком; *б* — перфузионная карта демонстрирует высокий кровоток в очаге; *в* — кривые пиковой концентрации плотность/время в аорте (ROI #1) и анализируемом очаге (ROI #2) имеют сопоставимые значения; *г* — высокие количественные показатели перфузии в анализируемом очаге: $BV_{ср}=97,4$ мл/100 г; $TTP_{ср}=7,62$ с

ных ПКТ и МСКТ с болюсным контрастным усилением, последнюю можно было не проводить почти у половины обследуемых пациентов. По нашему мнению, данный методический подход к проведению КТ легких позволяет существенно снизить лучевую нагрузку на пациентов. Наши данные об адекватности низкодозного протокола проведения ПКТ для определения природы изменений в легких совпадают с результатами других исследователей [18, 19].

Заключение. Низкодозный протокол сканирования при ПКТ легких позволяет получать достоверные данные по ангиогенезу очаговых образований легких. При получении перфузионной карты очага ROI выставляется на область наиболее высокого кровотока. Средние показатели PS, TTP являются основными и ведущими факторами в определении природы очагов в легких. Качественный и количественный анализ данных перфузии позволял досто-

ROI 2

CT - Blood Volume

Se 7, Im 11

L36.3 P33.2 I66.0

Площадь : 20.2 mm2

Мин : 73.30

Макс : 116.2

Средн. : 97.40

Стд откл. : 10.19

CT - Average

Se 7, Im 11

L36.3 P33.2 I66.0

Площадь : 20.2 mm2

Мин : 101.1

Макс : 154.5

Средн. : 130.8

Стд откл. : 11.14

CT - Base

Se 7, Im 11

L36.3 P33.2 I66.0

Площадь : 20.2 mm2

Мин : 0.00

Макс : 0.00

Средн. : 0.00

Стд откл. : 0.00

CT - Time To Peak

Se 7, Im 11

L36.3 P33.2 I66.0

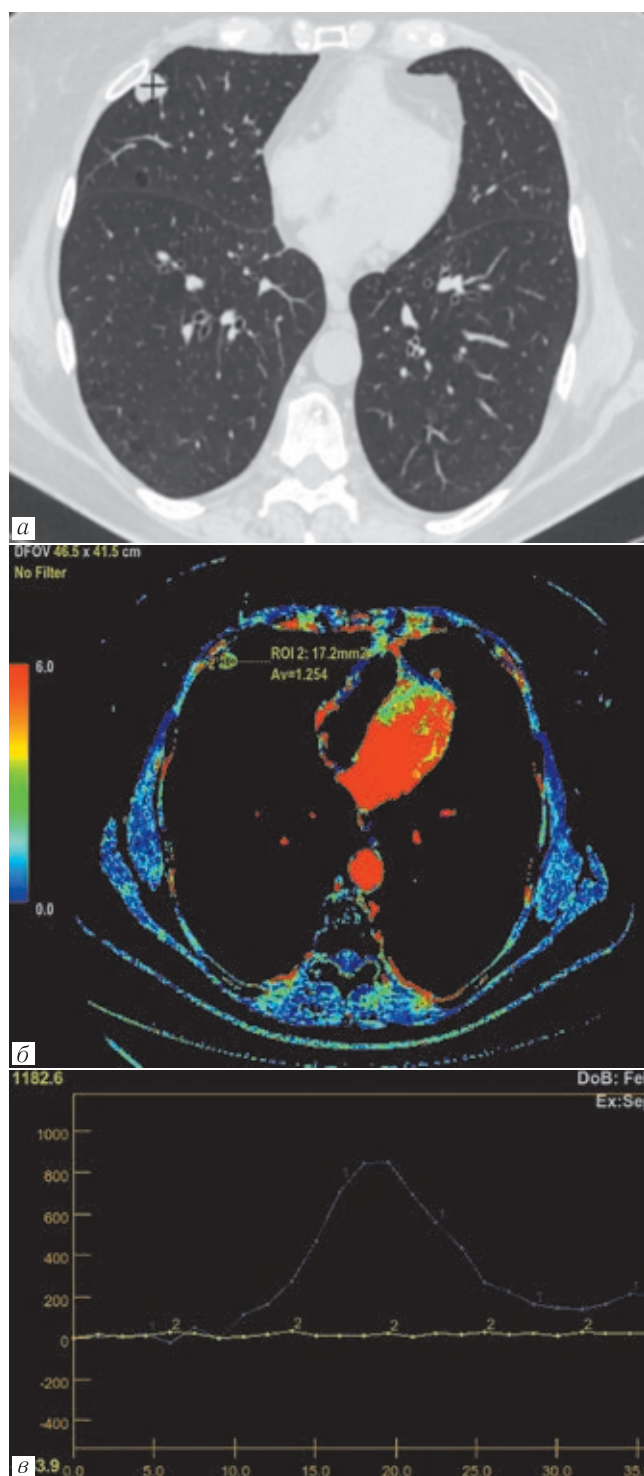
Площадь : 20.2 mm2

Мин : 7.000

Макс : 8.000

Средн. : 7.672

Стд откл. : 0.297



ROI 2

CT - Blood Volume

Se 7, Im 10

R89.6A81.5/192.0

Площадь : 8.4 mm2

Мин : 0.00

Макс : 3.800

Средн : 1.983

Стд откл. : 0.988

CT - Average

Se 7, Im 10

R89.6A81.5/192.0

Площадь : 8.4 mm2

Мин : 0.00

Макс : 24.40

Средн : 9.890

Стд откл. : 6.831

CT - Base

Se 7, Im 10

R89.6A81.5/192.0

Площадь : 8.4 mm2

Мин : 0.00

Макс : 23.10

Средн : 3.126

Стд откл. : 5.727

CT - Time To Peak

Se 7, Im 10

R89.6A81.5/192.0

Площадь : 8.4 mm2

Мин : 3.100

Макс : 26.10

Средн : 15.86

Стд откл. : 8.465

Рис. 2. Гамартохондрома правого легкого: *а* — МСКТ: определяется небольших размеров очаговое образование в 4-м сегменте правого легкого; *б* — перфузионные карты регистрируют незначительный кровоток в образовании; *в* — кривые плотность/время в аорте (ROI #1), в очаге (ROI #2) имеют значительную разницу; *г* — низкие количественные показатели перфузии в анализируемом очаге: $BV_{ср}=1,983$ мл/100 г; $TP_{ср}=15,86$ с

верно высказаться о природе очагов в легких. При достаточных данных ПКТ о природе и распростра-

ненности патологии легких от проведения КТ с контрастным усилением возможно отказаться.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Котляров П.М. Мультисрезовая КТ — новый этап развития лучевой диагностики заболеваний легких // *Медицинская визуализация*. 2011. № 4. С. 14–20. [Kotlyarov P.M.

- Mul'tisrezovaya KT — novyj etap razvitiya luchevoj diagnostiki zabolevanij legkih. *Medicinskaya vizualizaciya*, 2011, No. 4, pp. 14–20 (In Russ.).

2. Котляров П.М., Сергеев Н.И. Лучевые методы исследования в дифференциальной диагностике паразитарных и опухолевых поражений легких // *Сибирский онкологический журнал*. 2016. № 15 (4). С. 33–39. [Kotlyarov P.M., Sergeev N.I. Luchevye metody issledovaniya v differencial'noj diagnostike parazitarnykh i opukholevykh porazheniy legkih. *Sibirskij onkologicheskij zhurnal*, 2016, No. 15 (4), pp. 33–39 (In Russ.)]. DOI: 10.21294/1814-4861-2016-15-4-33-39.
3. Baert A. L., Knauth M., Sartor K. et al. *Diagnostic Imaging. Computed Tomography of the Lung A Pattern Approach*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007. 200 p.
4. Swensen S.J., Viggiano R.W., Midthun D.E. et al. Improvement of the lung nodule in CT: multicenter study // *Radiology*. 2000. Vol. 214. P. 73–80.
5. Толкачева Г.С., Кармазановский Г.Г., Вишневский А.А. Что дает внутривенное болюсное контрастное усиление для КТ (СКТ) дифференциальной диагностики малых периферических образований легких? // *Медицинская визуализация*. 2000. Июль–сентябрь. С. 36–40. [Tolkacheva G.S., Karmazanovskij G.G., Vishnevskij A.A. CHto daet vnutrivvennoe bolyusnoe kontrastnoe usilenie dlya KT (SKT) differencial'noj diagnostiki malyh perifericheskikh obrazovaniy legkih? *Medicinskaya vizualizaciya*, 2000, Iyul'–sentyabr', pp. 36–40 (In Russ.)].
6. Котляров П.М., Шимановский Н.Л. МСКТ грудной клетки с болюсным контрастированием — новые возможности диагностики заболеваний легких // *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2013. № 2. С. 8–15. [Kotlyarov P.M., Shimanovskij N.L. MSKT grudnoj kletki s bolyusnym kontrastirovaniem — novye vozmozhnosti diagnostiki zabolevaniy legkih. *Vestnik rentgenologii i radiologii*, 2013, No. 2, pp. 8–15 (In Russ.)].
7. Котляров П.М. Постпроцессинговая обработка данных мультиспиральной компьютерной томографии в уточненной диагностике патологических изменений при диффузных заболеваниях легких // *Пульмонология*. 2017. № 4. С. 472–477. [Kotlyarov P.M. Postprocessingovaya obrabotka dannyh mul'tispiral'noj komp'yuternoj tomografii v utocnennomj diagnostike patologicheskikh izmenenij pri diffuznykh zabolevaniyah legkih. *Pul'monologiya*, 2017, No. 4, pp. 472–477 (In Russ.)].
8. Yee Ting Sim, Fat Wui Poon. Imaging of solitary pulmonary nodule—a clinical review // *Quant Imaging Med. Surg*. 2013. Dec; No. 3 (6). P. 316–326. DOI: 10.3978/j.issn.2223-4292.2013.12.08.
9. Rumboldt Z., Al-Okayli R., Devakis J. Perfusion CT for head and neck tumors: a pilot study // *Am. J. Neuroradiol*. 2005. Vol. 26. P. 1178–1185.
10. Zhang M., Kono M. Single pulmonary nodules: evaluation of blood flow characteristics with dynamic CT // *Radiology*. 1997. Vol. 205. P. 471–478.
11. Mazzei M.A., Cioffi Squitieri N., Guerrini S. Quantitative CT perfusion measurements in characterization of solitary pulmonary nodules: new insights and limitations // *Recenti Prog. Med*. 2013. Jul–Aug, No. 104 (7–8). P. 430–437. doi: 10.1701/1315.14591.
12. Petralia G., Bonello L., Viotti S., Preda L., d'Andrea G., Bellomi M.: CT perfusion in oncology: how I do it // *Cancer Imaging*. 2010. No. 10. P. 8–19.
13. Miles K.A., Charnsangavej C., Lee F., Fishman E., Horton K., Lee T.-Y. Application of CT in the investigation of angiogenesis in oncology // *Acad. Radiol*. 2000. No. 7. P. 840–850. doi:10.1016/S1076-6332(00)80632-7.
14. Kambadakone A.R., Sahani D.V. Body perfusion CT: technique, clinical applications, and advances // *Radiol. Clin. North Am*. 2009. Vol. 47. P. 161–178. doi:10.1016/j.rcl.2008.11.003. PMID:19195541.
15. Coche E. Achievements and prospects in the field of visualization of lung cancer using multi-point computed tomography // *Expert Rev Anticancer Ther*. 2012. No. 12. P. 1313–1326.
16. Ma E., Ren A., Gao B. et al. ROI for outlining an entire tumor is a reliable approach for quantification of lung cancer tumor vascular parameters using CT perfusion // *Onco Targets Ther*. 2016. Vol. 27 (9). P. 2377–2384. doi: 10.2147/OTT.S98060.
17. Wang Q., Zhang Zh., Shan F. Intra-observer and inter observer agreements for the measurement of dual-input whole tumor computed tomography perfusion in patients with lung cancer: Influences of the size and inner air density of tumors // *Thorac. Cancer*. 2017. Vol 8 (5). P. 427–435. doi: 10.1111/1759-7714.12458
18. Lv Y., Jin Y., Xu D. Assessment of 64-slice spiral computed tomography with perfusion weighted imaging in the early diagnosis of ground-glass opacity lung cancer // *J. BUON*. 2016. Vol. 21 (4). P. 954–957.
19. Sun Y., Yang M., Mao D., Lv F., Yin Y., Li M., Hua Y. Low-dose volume perfusion computed tomography (VPCT) for diagnosis of solitary pulmonary nodules // *Eur. J. Radiol*. 2016. Vol. 85 (6). P. 1208–1218. doi: 10.1016/j.ejrad.2016.03.026.

Поступила в редакцию / Received by the Editor: 21.02.2019 г.

Контакт: Котляров Петр Михайлович, marnad@list.ru

Сведения об авторах:

Лагкуева Ирина Джабраиловна — младший научный сотрудник научно-исследовательского отдела новых технологий и семиотики лучевой диагностики заболеваний органов и систем ФГБУ «Российский научный центр рентгенологии» Минздрава России; 117997, ГСП-7, Москва, Профсоюзная ул., д. 86; e-mail: ilagkueva@mail.ru;

Сергеев Николай Иванович — доктор медицинских наук, ведущий научный сотрудник научно-исследовательского отдела новых технологий и семиотики лучевой диагностики заболеваний органов и систем ФГБУ «Российский научный центр рентгенологии» Минздрава России; 117997, ГСП-7, Москва, Профсоюзная ул., д. 86; e-mail: sergeevnickolay@yandex.ru;

Котляров Петр Михайлович — доктор медицинских наук, профессор, заведующий научно-исследовательским отделом новых технологий и семиотики лучевой диагностики заболеваний органов и систем ФГБУ «Российский научный центр рентгенологии» Минздрава России; 117997, ГСП-7, Москва, Профсоюзная ул., д. 86; e-mail: marnad@list.ru;

Измайлов Тимур Раисович — доктор медицинских наук, заведующий отделением дневного стационара ФГБУ «Российский научный центр рентгенологии» Минздрава России; 117997, ГСП-7, Москва, Профсоюзная ул., д. 86; e-mail: T-izm@mail.ru;

Падалко Владимир Васильевич — кандидат медицинских наук, доцент кафедры патофизиологии, ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И. М. Сеченова» Минздрава России; 119991, Москва, Трубецкая ул., д. 8, стр. 2; e-mail: rektorat@sechenov.ru;

Солодкий Владимир Алексеевич — академик РАН, профессор, директор ФГБУ «Российский научный центр рентгенологии» Минздрава России; 117997, ГСП-7, Москва, Профсоюзная ул., д. 86; e-mail: direktor@rncr.ru.