

ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1220>

Перфузионная компьютерная томография в диагностике заболеваний почек (обзор литературы)

© Ломоносова Е.В.^{1*}, Гольбиц А.Б.¹, Рубцова Н.А.¹,
Алексеев Б.Я.^{1, 2}, Каприн А.Д.^{1, 3}

¹ Московский научно-исследовательский онкологический институт им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ “НМИЦ радиологии” Минздрава России; 125284 Москва, 2-й Боткинский проезд, 3, Российская Федерация

² ФГБОУ ВО “Российский биотехнологический университет”; 125080 Москва, Волоколамское шоссе, д. 11, Российская Федерация

³ Медицинский институт ФГАОУ ВО “Российский университет дружбы народов” Минобрнауки России; 117198 Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6, Российская Федерация

Цель исследования: провести анализ литературных данных по использованию КТ-перфузии при заболеваниях почек и оценить дальнейшие перспективы применения методики в клинической практике.

Материал и методы. В электронных базах данных (PubMed, E-library, Web of Science, Google Scholar) был проведен поиск опубликованных исследований, оценивающих возможности применения КТ-перфузии при заболеваниях почек как неопластического, так и неопухолевого характера. В статье проанализированы результаты 40 наиболее релевантных работ российских и зарубежных исследователей, посвященных этой тематике.

Результаты. Согласно анализу полученных данных, перфузионная КТ является эффективным диагностическим инструментом в онкологии: методика позволяет неинвазивно оценить характер новообразования, в том числе дифференцировать доброкачественные узлы (ангиомиолипому с низким содержанием жира и онкоцитому) от рака почки, установить гистологический вариант почечно-клеточного рака и степень злокачественности опухоли по Fuhrman, охарактеризовать эффективность аблативных методик и системного лечения рака почки. Базируясь на корреляции данных КТ-перфузии почек и результатов различных методов определения функции органа, доказана возможность применения перфузионной КТ в качестве одного из прогностических факторов для определения тактики лечения больных с обструктивными уропатиями, аортomezентериальной компрессией, а также показан потенциал использования методики в трансплантологии как у пациентов после проведенной операции, так и при обследовании доноров.

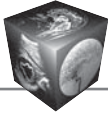
Заключение. Несмотря на то что роль КТ-перфузии почек в различных областях урологии и нефрологии достаточно изучена, некоторые важные аспекты вероятного применения этой методики остаются недооцененными. С учетом высоких показателей заболеваемости и значимого процента локализованных форм опухолей изучение роли КТ-перфузии в планировании и оценке результатов органосохраняющего лечения рака почки может открыть новые перспективы в оптимизации хирургической тактики.

Ключевые слова: перфузионная компьютерная томография, опухоль почки, резекция почки, сосудистые заболевания почек, обструктивная уропатия, количественная оценка функции почки

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Ломоносова Е.В., Гольбиц А.Б., Рубцова Н.А., Алексеев Б.Я., Каприн А.Д. Перфузионная компьютерная томография в диагностике заболеваний почек (обзор литературы). *Медицинская визуализация*. 2023; 27 (2): 85–98. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1220>

Поступила в редакцию: 19.06.2022. Принята к печати: 28.10.2022. Опубликовано online: 6.04.2023.



Application of perfusion computed tomography in renal diseases (review of literature)

© Elena V. Lomonosova^{1*}, Aleksandra B. Golbits¹, Natalia A. Rubtsova¹, Boris Ya. Alekseev^{1, 2}, Andrey D. Kaprin^{1, 3}

¹ Moscow Research Oncological Institute named after P.A. Herzen – branch of “National Medical Research Center of Radiology” Ministry of Healthcare of Russia; 3, 2nd Botkinskiy pr., Moscow 125284, Russian Federation

² Russian Biotechnological University; 11, Volokolamskoye shosse, Moscow 125080, Russian Federation

³ Medical institute of The Peoples' Friendship University of Russia; 6, Miklukho-Maklay str., Moscow 117198, Russian Federation

Purpose. To analyze the literature data on the use of CT perfusion in kidney diseases and to assess the future prospects of using the technique in clinical practice.

Materials and methods. In electronic databases (PubMed, E-library, Web of Science, Google Scholar), a search was conducted for published studies evaluating the possibilities of using CT perfusion in both neoplastic and non-neoplastic kidney diseases. The article analyzes the results of 40 most relevant works of Russian and foreign researchers devoted to this topic.

Results. According to the analysis of the data obtained, perfusion CT is an effective diagnostic tool in oncology: the technique allows noninvasively assessing the nature of the tumour, including differentiating benign nodes (fat-poor angiomyolipoma and oncocytoma) from renal cell carcinoma; to establish the histological variant of renal cell carcinoma and Fuhrman grade, to characterize the effectiveness of ablative techniques and systemic treatment of renal cell carcinoma. Based on the correlation of CT kidney perfusion data and the results of various methods for determining organ function, the possibility of using perfusion CT as one of the prognostic factors for determining the tactics of treatment of patients with obstructive uropathies, aortomesenteric compression, and also shows the potential of using the technique in transplantology both in patients after surgery and during the examination of donors.

Conclusions. Despite the fact that the role of CT kidney perfusion in various fields of urology and nephrology has been sufficiently studied, some important aspects of the likely application of this technique remain underestimated. Taking into account the high incidence rates and a significant percentage of localized forms of tumors, the study of the role of CT perfusion in planning and evaluating the results of nephron-sparing treatment of renal cell carcinoma may open up new prospects in optimizing surgical tactics.

Keywords: perfusion computed tomography, renal tumor, partial nephrectomy, vascular renal diseases, obstructive uropathy, estimated renal function

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

For citation: Lomonosova E.V., Golbits A.B., Rubtsova N.A., Alekseev B.Ya., Kaprin A.D. Application of perfusion computed tomography in renal diseases (review of literature). *Medical Visualization*. 2023; 27 (2): 85–98. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1220>

Received: 19.06.2022.

Accepted for publication: 28.10.2022.

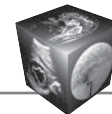
Published online: 6.04.2023.

Введение

Перфузионная компьютерная томография (ПКТ) – это неинвазивная технология, позволяющая качественно и количественно оценить состояние кровотока на уровне мелких сосудов (венул, артериол, микроциркуляторного русла).

Теоретическое обоснование возможности выполнения ПКТ, а также способ проведения исследования были предложены L. Axel еще в 1980 г., однако долгое время в связи с недостаточным уровнем развития диагностической техники метод не находил широкого применения в клинической практике [1]. С появлением в начале 90-х годов прошлого столетия мультиспиральных компьютерных томографов, обладающих достаточно высо-

ким временным разрешением, стало возможным и широкое распространение методики ПКТ, в основном при ишемических повреждениях головного мозга [2–8]. По мере совершенствования технологий сканирования, программного обеспечения и постпроцессинговой обработки данных ПКТ стала применяться не только в нейрорадиологии, но и в других областях диагностики. С момента внедрения в клиническую практику этой методики были исследованы особенности тканевой гемодинамики различных органов в норме и в условиях различных патологических состояний, в том числе при неопластических процессах [9–18]. В частности, в настоящее время ПКТ широко используется для характеристики патологии



почек [19–23]. ПКТ играет значительную роль в диагностике онкологических заболеваний почек, причем как для проведения дифференциальной диагностики новообразований, так и при динамическом наблюдении в случае проводимого консервативного или хирургического лечения [19, 20, 24–47]. Не меньшее значение ПКТ придается при характеристике неопухолевых патологий, например для определения функционального статуса почек при сосудистых нарушениях, обструктивных уропатиях и нефропатиях в рамках системных заболеваний, а также в диагностике отторжения аллотрансплантата и для характеристики острого ишемического повреждения почки и его исходов [19, 22–26, 48–55].

Столь широкий спектр применения ПКТ в диагностике патологических состояний почек связан с несколькими факторами. Хотя другие методы визуализации (ультразвуковое исследование (УЗИ), мультиспиральная компьютерная томография (МСКТ), магнитно-резонансная томография (МРТ), нефросцинтиграфия) также позволяют оценить перфузию тканей, ПКТ имеет более высокое пространственное и временное разрешение по сравнению с динамической нефросцинтиграфией и возможность количественного мультипараметрического анализа состояния паренхимы в сочетании с воспроизводимостью в отличие от УЗИ и стандартной МСКТ [19, 22, 24, 25]. Методика ПКТ дает возможность единовременной оценки особенностей почечного кровотока и структурных изменений паренхимы почек за счет совмещения компьютерных томограмм и перфузионных карт. Важным преимуществом КТ-перфузии является линейная зависимость между концентрацией йода в сосудистом русле и степенью накопления контрастного препарата паренхимой, что упрощает математические вычисления по сравнению с динамическим контрастированием при МРТ [10, 11, 20, 56–58]. К достоинствам ПКТ также можно отнести скорость исследования и ее доступность при оснащении учреждений здравоохранения соответствующим оборудованием.

Абсолютных противопоказаний к ПКТ не существует, а ограничения к применению методики могут быть связаны как с характеристиками оборудования и индивидуальными особенностями пациента, например, не позволяющими провести введение контрастного вещества (КВ) с необходимой скоростью, так и с лимитирующими факторами, характерными в целом для метода МСКТ.

Основные принципы ПКТ почек

Перфузия отражает количество крови, проходящей через единицу объема ткани за единицу

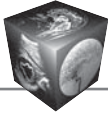
времени. Фундаментальным принципом ПКТ является оценка временных изменений плотностных характеристик ткани, выраженных в единицах Хаунсфилда, после внутривенного введения йодсодержащего КВ [10–12, 28–30]. Методика позволяет объективно характеризовать кровоснабжение на уровне микроциркуляторного русла за счет измерения степени накопления КВ отдельными участками исследуемого органа, варьирующей вследствие различного объема кровотока и, соответственно, количества поступающего в ткани КВ.

Для корректного выполнения ПКТ почек с постпроцессинговой обработкой данных и, соответственно, верной оценкой микроциркуляторного русла необходимо соблюдение ряда условий.

Во-первых, требуется внутривенное введение небольшого количества КВ (оптимально 40–60 мл в зависимости от протокола сканирования) с концентрацией йода 370–400 мг/мл с достаточно высокой скоростью (4 мл/с и более) с последующим введением физиологического раствора, что в совокупности обеспечивает более выраженное контрастное усиление тканей, способствует созданию относительно постоянной концентрации КВ в сосудистом русле, а также позволяет уменьшить контрастный градиент между интра- и экстравакулярным пространством [10, 12, 56].

Во-вторых, для получения перфузионных изображений необходимо многократное повторное сканирование одной и той же области (зоны интереса), проводимое до, во время и после введения КВ с коротким временем повтора каждой серии, что обеспечивает динамическую оценку КТ-плотности исследуемых тканей, отражающую концентрацию йодсодержащего КВ и, соответственно, его диффузию из сосудистого русла в интерстициальное пространство в течение достаточно небольших временных интервалов [12, 33, 57].

В-третьих, вследствие того, что методика чувствительна к шуму динамической нерезкости, возникающему из-за сочетания ряда обстоятельств, а именно подвижности почки при дыхательных движениях и достаточно длительного времени сканирования, что делает невозможным его проведение с задержкой дыхания, желательным максимально уменьшить смещение органа как в краниокаудальном, так и дорсовентральном направлении. Минимизация динамических артефактов достигается за счет неглубокого дыхания пациента (без увеличения частоты дыхательных движений) во время проведения исследования, а также фиксацией мягким поясом на уровне мезогастрия. Кроме того, в некоторых вариантах программного обеспечения имеются опции для нивелирования артефактов от дыхания за счет



выравнивания всех полученных срезов по отношению к задаваемому исследователем референсному уровню [10, 33, 56, 58].

Методика ПКТ почек и постпроцессинговой обработки данных

Методика выполнения ПКТ почек включает в себя следующие основные этапы вне зависимости от используемого оборудования и программного обеспечения:

1. Нативное сканирование органов брюшной полости, выполняемое с толщиной среза 5 мм с целью снижения лучевой нагрузки на пациента.

По полученным КТ-изображениям определяют границы зоны исследования при ПКТ (рис. 1), протяженность которой варьирует в зависимости

от количества детекторов компьютерного томографа (например, для 64-срезового томографа размер целевой области составляет 40 мм, для 128-срезового – 80 мм и т.д.) [22, 23, 28, 58]. Если вследствие особенностей используемого оборудования невозможно получить перфузионные изображения почки в полном объеме, то в зависимости от цели сканирования следует выбрать оптимальную по локализации зону: например, при дифференциальной диагностике объемных образований почки – область, где размер опухоли максимален и структура гомогенна, при предоперационном планировании в случае органосохраняющего хирургического лечения – участок прилежащей к новообразованию паренхимы.

2. Динамическое сканирование выбранной зоны интереса с многократными “быстрыми” повто-

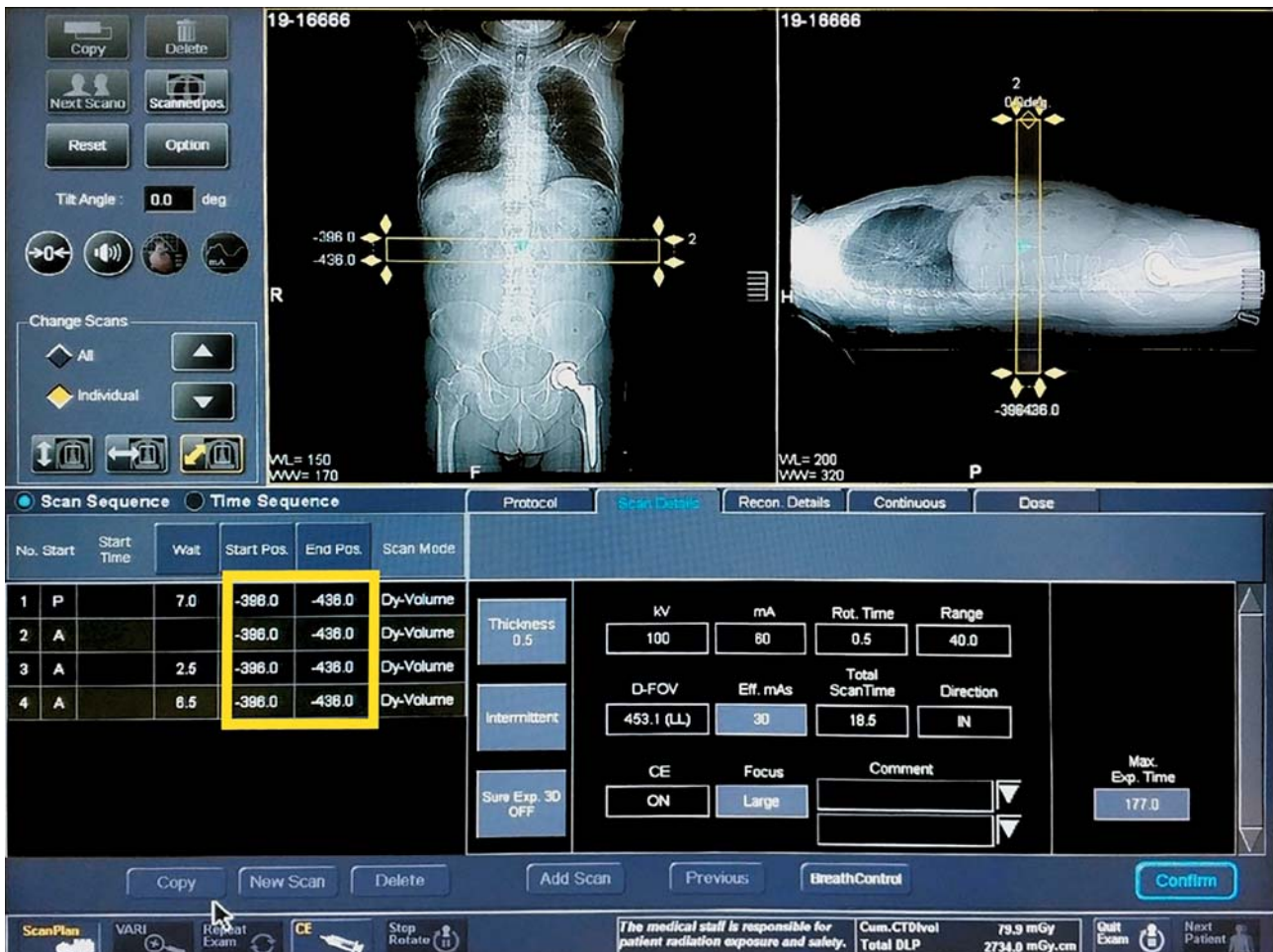


Рис. 1. Изображение экрана консоли компьютерного томографа Canon при планировании перфузионного сканирования на этапе определения зоны интереса (обозначена рамкой на топограммах), границы которой заданы интервалом срезов при нативном сканировании (выделены рамкой).

Fig. 1. The image of the console screen of the Canon CT scanner when planning perfusion scanning at the stage of determining the region of interest (indicated by a frame on topograms), the boundaries of which are set by the interval of slices during native scanning (indicated by a frame).

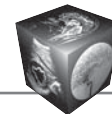


Таблица. Примеры протоколов сканирования для КТ-перфузии почек
Table. Examples of scanning protocols for CT kidney perfusion

Авторы Authors	Оборудование Equipment	Параметры сканирования для перфузионных серий Scanning parameters for perfusion series						Контрастный препарат Contrast agent		
		напряжение, кВ tube voltage, kV	сила тока, мА tube current, mA	матрица, пиксели matrix, pixels	время одного оборота трубки, с gantry rotation time, s	длительность сканиро- вания, с scan duration, s	концентрация йода, мг/мл iodine concentration, mg/ml	количество, мл quantity, ml	скорость введения, мл/с flow rate, ml/s	
F. Mazzei, M. Mazzei, N. Squitieri et al.	Discovery 750 HD, GE Healthcare	100	80	512 × 512	0,4	60	400	100	5	
E. Squillaci, G. Manenti, C. Ciccio et al.	LightSpeed VCT, GE Healthcare	100	70	512 × 512	0,5	65	370	80	4	
C. Chen, Q. Kang, B. Xu et al.	Aquilion One, Toshiba Medical Systems	120	300	512 × 512	0,5	79	370	30–40	5,5–6,5	
A. Vehabovic-Delic, M. Balic, C. Rossmann et al.	Aquilion One, Toshiba Medical Systems	100	100	512 × 512	0,5	80	370	40–60	6–8	
C. Reiner, R. Goetti, D. Eberli et al.	Somatom Definition Flash, Siemens Healthcare	100	100	512 × 512	0,5	40	370	50	5	
A. Heick, M. Wessely, M. Notohamiprodjo et al.	Somatom Definition AS+, Siemens Healthcare	80	120	512 × 512	0,5	42	400	30–40	5–6	

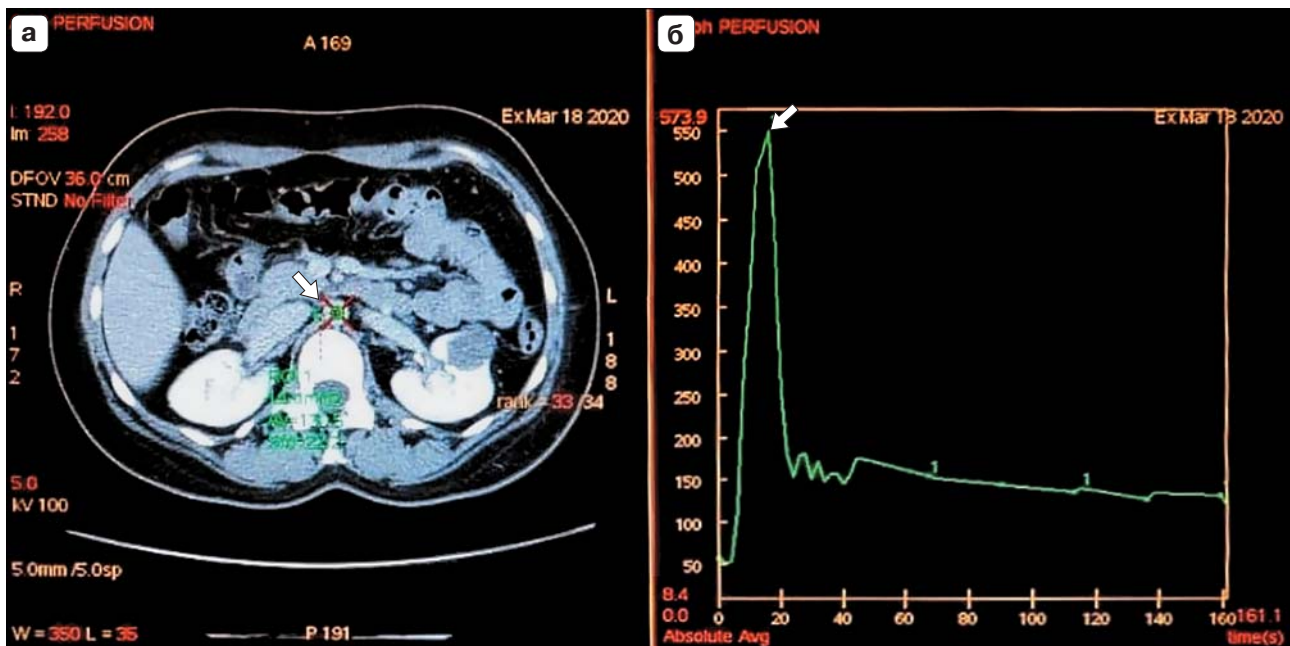


Рис. 2. Изображение экрана рабочей станции компьютерного томографа General Electrics на первом этапе постпроцессинговой обработки компьютерных томограмм. **а** – постконтрастная компьютерная томограмма брюшной полости в аксиальной проекции с выбором аорты (указана стрелкой) в качестве целевого сосуда; **б** – график зависимости плотности в исследуемой области (просвете целевого сосуда) от времени, прошедшего с момента введения КВ, демонстрирующий артериальный пик (указан стрелкой) после небольшого плато, что отражает корректное выполнение сканирования.

Fig. 2. Image of the screen of the General Electrics CT scanner workstation at the first stage of postprocessing of computer tomograms. **a** – post-contrast computed tomogram of the abdomen in axial projection demonstrated the choice of the aorta (indicated by a arrow) as a target vessel; **b** – a plot of the dependence of the density in the study area (the lumen of the target vessel) on the time that has elapsed since the introduction of KA, demonstrating an arterial peak (indicated by a arrow) after a small plateau, which reflects the correct execution of the scan.

рами (не менее 18) с формированием до- и постконтрастных серий на протяжении не менее 1 мин после болюсного контрастирования. На ранней стадии (до 45 с с момента начала введения КВ) для получения изображений адекватного качества требуется высокое временное разрешение (время повтора менее 2 с), так как контрастное усиление в этой фазе связано в основном с распределением КВ внутри сосудистого русла. После, в течение интерстициальной фазы, во время которой допустима большая длительность каждой серии (5–15 с), контрастный препарат переходит в экстраваскулярный компартмент с различной скоростью, зависящей от проницаемости сосудистой стенки [22, 23, 28, 58]. Общее время сканирования, интервал и длительность каждой серии в пределах второй фазы, а также количество и скорость введения КВ зависят от используемой модели анализа [27, 58]. Примеры протоколов, применяемых при перфузионных исследованиях почек, приведены в таблице.

После завершения сканирования выполняется постпроцессинговая обработка данных.

Выделяют несколько моделей, позволяющих произвести оценку доставки КВ в микроциркуляторное русло и интерстициальное пространство анализируемой зоны: однокамерный метод наклона прямой, двухкамерная кинетическая модель Патлака и деконволюционный метод. Они основаны на различных математических вариантах постпроцессинговой обработки и зависят от оборудования и программного обеспечения [27, 56].

Постпроцессинговая обработка данных в качестве первого этапа вне зависимости от применяемой кинетической модели включает в себя оценку артериального притока за счет установления ROI на афферентный сосуд диаметром более 4–5 мм, расположенный в пределах полученных диагностических изображений [11, 12, 20, 33, 56]. При проведении ПКТ почек возможно в качестве целевого сосуда использовать либо почечную артерию, либо в тех случаях, когда последняя находится вне зоны сканирования/имеет свободный просвет меньше рекомендуемого диаметра, брюшную аорту (рис. 2).

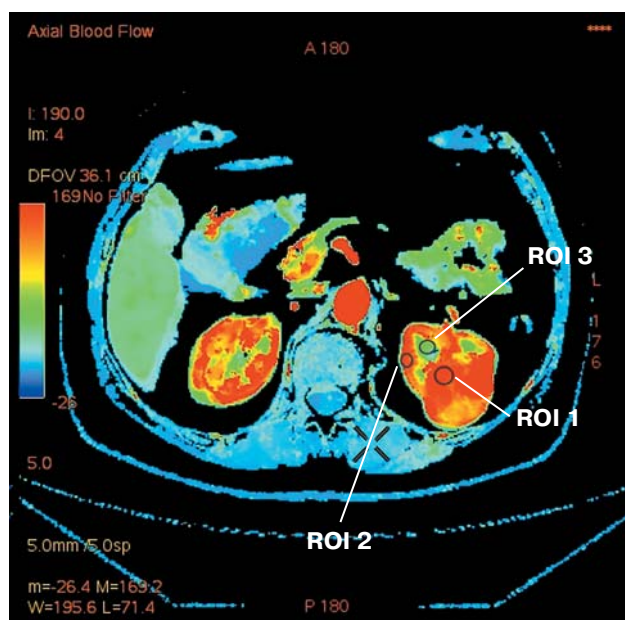
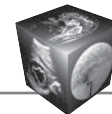


Рис. 3. Цветовая перфузионная карта показателя скорости кровотока (blood flow (BF)), полученная деконволюционным методом, у пациента с почечно-клеточным раком. Изображение демонстрирует установленные ROI: ROI 1 – гомогенный участок опухоли почки, ROI 2 – кортикальный слой паренхимы, ROI 3 – медуллярный слой паренхимы.

Fig. 3. Colour perfusion map of the blood flow (BF) obtained by deconvolution method in a patient with renal cell carcinoma. The image shows the established ROI: ROI 1 – homogeneous site of the renal tumor, ROI 2 – cortex, ROI 3 – medulla.

Следующим этапом постпроцессинговой обработки является построение цветowych карт, производящееся программным обеспечением за счет присвоения каждому пикселю полученных изображений определенного оттенка цвета, который отображает числовое значение параметра перфузии, рассчитанного для этого пикселя. Качественный анализ цветowych карт дает общее представление о распределении кровотока в пределах исследуемого объема ткани, кроме того, возможно наложение карт на собственно томографические изображения. Количественный анализ включает в себя интерпретацию числовых значений перфузионных параметров, рассчитанных с помощью специального программного обеспечения для зон в пределах назначенных ROI, обычно помещаемых на кортикальный и медуллярный слой паренхимы почек, опухолевый узел (рис. 3). Итоговое числовое значение представляет собой среднее арифметическое показателей перфузии для каждого вокселя в области интереса. Последнее обстоятельство приводит к необходимости помещения ROI в области с гомогенной

структурой для корректной оценки перфузионных параметров [9–11].

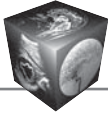
Клиническое применение в онкологии

Основой для применения ПКТ в онкологии является гипотеза, что изменения на уровне микроциркуляторного русла, происходящие в процессе неопластического процесса, такие как расширение просвета опухолевых сосудов, нарушение ангиоархитектоники с наличием артериовенозных шунтов, повышенная проницаемость сосудистой стенки, находят отражение в особенностях васкуляризации опухолевого узла и, соответственно, его перфузионных характеристиках по сравнению с неизменной тканью почки [12, 16, 28, 31]. Эта теория подтверждена результатами значительного числа наблюдений, свидетельствующими о наличии статистически значимой разницы между значениями перфузионных показателей кортикального слоя паренхимы почки и солидных образований, за исключением онкоцитомы [28–35]. Помимо этого, имеется ряд публикаций, посвященных сопоставлению плотности микрососудов (Microvessel Density (MVD)) – “золотого стандарта” определения васкуляризации ткани – и перфузионных показателей, и демонстрирующих наличие корреляции отдельных параметров (BF и BV) с MVD [12, 28].

Таким образом, ПКТ является неинвазивным методом, объективно отражающим изменения на уровне микрососудистого русла, и перфузионные данные потенциально могут быть использованы для проведения дифференциальной диагностики образований почек в качестве одного из способов оценки эффективности таргетной терапии и аблативных процедур, прогностического фактора безрецидивной выживаемости.

Дифференциальная диагностика образований почек

С учетом того, что наиболее важным для определения лечебной стратегии у пациентов с солидными образованиями почек является установление этиологии (добро-/злокачественной) процесса, был проведен ряд исследований, посвященных возможности использования ПКТ для решения этого вопроса. Как известно, наибольшие трудности возникают при необходимости проведения дифференциальной диагностики между почечно-клеточным раком (ПКР) и доброкачественными новообразованиями, такими как онкоцитома и ангиомиолипома (АМЛ) с низким содержанием жира, поскольку данные методов медицинской визуализации, стандартно применяемых при ха-



рактеристике образований почек, в большинстве случаев, особенно при небольших размерах очага, не позволяют достоверно отличить вышеуказанные патологические формации.

Несмотря на клиническую важность этой задачи, публикации, посвященные роли ПКТ в дифференциальной диагностике малигнизированных и немалигнизированных образований, в зарубежных и отечественных базах данных немногочисленны, но при этом достаточно информативны. Так, в работах С. Chen и соавт. были сопоставлены параметры перфузии BV, BF и PS между АМЛ с низким содержанием жира и ПКР основных гистологических типов (папиллярно-клеточный (пПКР), хромофобный (хрПКР), светлоклеточный (сПКР)) [28–30]. Анализ результатов исследований свидетельствует о возможности проведения дифференциальной диагностики между вышеуказанными образованиями за счет наличия разницы значений показателя BF во всех анализируемых группах, параметра BV при сравнении АМЛ с сПКР и пПКР. Согласно данным F. Mazzei и соавт., были выявлены статистически значимые ($p < 0,001$) различия в значении показателей скорости кровотока (BF), проницаемости (PS) и среднего времени прохождения крови по сосудам (MTT) между онкоцитомой и ПКР всех гистологических вариантов [31]. Принимая во внимание тот факт, что онкоцитомы зачастую характеризуется гиперваскулярным паттерном контрастирования, в этом исследовании был также проведен сравнительный анализ перфузионных параметров онкоцитомы и малигнизированных узлов с повышенным по сравнению с кортикальным слоем паренхимы накоплением KB, показавший наличие статистически достоверной разницы в значениях PS и MTT между двумя группами, при этом показатель проницаемости позиционировался как ключевой в дифференциальной диагностике образований злокачественной и доброкачественной природы [31]. По данным отечественной литературы, основным показателем, позволяющим определить природу новообразования и дифференцировать доброкачественные узлы (АМЛ, онкоцитому, лейомиому) от ПКР, является параметр MTT, значимость которого исследователи связывают с типичными для всех злокачественных процессов структурными особенностями новообразованных капилляров (большой диаметр капилляров, отсутствие вазоспазма ввиду нарушения строения стенки сосуда), не характерными для онкоцитомы и АМЛ, содержащих преимущественно неизмененные сосуды [35].

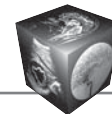
Помимо определения природы новообразований почек, не менее важными факторами, оказывающим влияние на выработку лечебной страте-

гии и имеющими прогностическое значение, является установление гистологического варианта ПКР и степени злокачественности опухоли по Fuhrman, что приобретает особую актуальность при невозможности выполнения биопсии. Данные ряда наблюдений, посвященных определению гистологического варианта ПКР с помощью оценки перфузионных параметров, свидетельствуют о статистически значимой разнице в значениях различных показателей [28–35]. В частности, результаты работы С. Chen и соавт. показывают присутствие разницы показателей скорости и объема кровотока при сопоставлении их значений в группах сПКР и пПКР и BV в паре сПКР-хПКР, в то время как данные F. Mazzei и соавт. демонстрируют значимый вклад 4 параметров (BV, BF, MTT, PS) при дифференциальной диагностике типов ПКР [28, 29, 31]. Анализ результатов немногочисленных исследований связи гистологической градации ПКР и данных ПКТ свидетельствует о наличии статистически достоверной обратной связи между значением показателя проницаемости (PS) и степени злокачественности опухоли по шкале Fuhrman [36–38].

Оценка эффективности системной терапии

Процесс неоплазии является одним из ключевых факторов в развитии и прогрессировании ПКР, поэтому многие лекарственные вещества, применяемые при системном лечении рака почки, направлены именно на подавление этого патологического каскада на различных этапах за счет ингибирования соответствующих ферментов [18]. В настоящий момент оценка эффективности лечения производится в основном за счет характеристики размеров опухолевых очагов в определенные временные интервалы, производимой по системе Response Evaluation Criteria in Solid Tumours (RECIST) v.1.1. без анализа васкуляризации. Интерпретация результатов по системе RECIST с учетом того, что действие таргетных препаратов не всегда находит отражение в изменении диаметра образований, может потенциально приводить к некорректной оценке применяемой схемы лечения.

Тот факт, что, по данным ряда исследователей, высокие значения показателя скорости кровотока (BF) и низкие значения объема кровотока (BV) являются неблагоприятным прогностическим фактором, ассоциированным с меньшим сроком безрецидивной и общей выживаемости, подчеркивает целесообразность использования ПКТ в оценке эффективности лечения рака почки [39–44]. В исследованиях A. Fan и соавт. и A. Vehabovic-



Delic и соавт., направленных на изучение раннего ответа ПКР на проводимое лечение ингибиторами неоангиогенеза, было отмечено значимое снижение BF опухолевой ткани на 8-й день (A. Fan и соавт.) и на 28-й день (A. Vehabovic-Delic и соавт.) после начала терапии без значимого изменения размеров образований в обоих случаях [42, 43]. Данные L. Fournier и соавт. демонстрируют выраженное снижение показателей объема и скорости кровотока без значимого изменения МТТ после первого цикла лечения, сопровождаемое уменьшением диаметра опухолевых узлов в степени, соответствующей стабилизации процесса по системе RECIST 1.1 (уменьшение в размерах менее чем на 30% от исходного уровня) [44]. Помимо этого, исследователи отмечают, что наиболее выраженное снижение васкуляризации, отражаемое в изменении значений показателей BV и BF более чем на 50%, наблюдалось у пациентов с изначально более высоким уровнем анализируемых параметров [39–41].

Оценка эффективности аблативных методик лечения

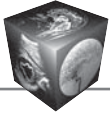
Аблативные методики, использующиеся в качестве альтернативы хирургического лечения у пациентов с небольшими опухолями почки и наличием противопоказаний к выполнению резекции, являются малоинвазивной и достаточно результативной процедурой. Определение эффективности лечения, особенно в ранние сроки, зачастую затруднено, так как критерии ответа, основанные на динамике изменения размеров узла, не вполне достоверно отражают происходящие изменения ввиду того, что существенной разницы в диаметре образования даже при успешно проведенной процедуре может и не быть зарегистрировано. Рутинно для характеристики опухоли после проведения аблативных процедур используют УЗИ, МСКТ или МРТ с внутривенным введением КВ, однако снижение степени васкуляризации, визуализируемое при томографических исследованиях, также не всегда в полном объеме отражает истинную картину, о чем свидетельствует высокая частота ложноположительных и ложноотрицательных результатов [46]. Поэтому в качестве альтернативного способа оценки эффективности лечения потенциально может быть использована ПКТ. Анализ результатов немногочисленных исследований свидетельствует о выраженном изменении перфузионных показателей (снижении BF, BV, PS, повышении МТТ) в участках деструкции опухолевой ткани по сравнению с данными до лечения, а при их отсутствии при анализе характеристик коркового слоя почки, что коррелирует с гистоло-

гической картиной. Однако в работах, посвященных роли ПКТ в оценке эффективности аблативных процедур, освещен относительно краткий период наблюдений (6–8 мес), проанализированы данные небольшой группы пациентов, что снижает ценность полученных результатов и требует дальнейших исследований для возможности введения ПКТ в рутинную практику [46, 47].

Клиническое применение при оценке функциональных изменений паренхимы и характеристике неопухолевых заболеваний

В настоящее время для оценки функционального статуса почек наиболее широко применяются данные динамической нефросцинтиграфии и значения показателя скорости клубочковой фильтрации (СКФ) на основе уровня креатинина сыворотки крови. Последний способ обладает такими достоинствами, как скорость выполнения и невысокая стоимость, но дает возможность оценить только совместную функцию почек без определения вклада каждой из них. В отличие от лабораторной диагностики, радиоизотопный метод исследования позволяет достоверно охарактеризовать фильтрационную и экскреторную функции каждой почки, но не дает представления о точном структурном состоянии органа, что требует проведения дополнительных исследований для уточнения особенностей патологического процесса. В то же время ПКТ, объективно отражающая состояние микроциркуляторного русла, на уровне которого и происходят процессы ультрафильтрации и реабсорбции, потенциально может служить объективным методом оценки почечной функции с одновременной структурной визуализацией зоны интереса. Точная оценка кровотока и тканевой перфузии почки, учитывая первостепенный вклад этих параметров в состояние функции почек, может служить полезным индикатором при стадировании заболевания и обладать потенциальной прогностической ценностью.

Возможность применения КТ-перфузии для характеристики функционального статуса почек была изучена рядом исследователей, анализировавших соответствие данных ПКТ и различных методов определения функции органа. Так, согласно данным M. El-Diasty и соавт., проводивших раздельную оценку функциональных возможностей почек с применением ПКТ и динамической нефросцинтиграфии с ^{99m}Tc -меркаптоацетилтриглицином (МАГЗ), были получены результаты, свидетельствующие о наличии корреляции между перфузионными показателями и количественными



параметрами ренограмм [22]. Результаты исследования S. Jeong и соавт. доказывают соответствие значений СКФ, рассчитанной по данным ПКТ и определенной на основе креатинина сыворотки крови по формулам Chronic Kidney Disease Epidemiology Collaboration (CKD-EPI) и Modification of Diet in Renal Disease (MDRD) [59]. По данным разных авторов, проводивших исследования на животных моделях, была отмечена связь параметров перфузии с макроскопическими и гистологическими особенностями паренхимы почек при ишемизации, а также соответствие характеристик кровотока, выявленных при оценке распределения флуоресцентных микросфер, с перфузионными данными [51, 55]. С учетом определяющего значения состояния микроциркуляторного русла для полноценного функционирования почки данные, показывающие корреляцию почечного кровотока на уровне мелких сосудов с перфузионными показателями, также следует считать косвенным доказательством применимости ПКТ для оценки функционального статуса почки.

В клинической практике наиболее широко ПКТ применяется при тех патологических состояниях, когда именно функциональный резерв почек является основным фактором, определяющим тактику лечения (обструктивные уропатии, нефропатии в рамках системных заболеваний, аномалии сосудистого русла), а также в трансплантологии для оценки аллотрансплантата и при обследовании потенциальных доноров [22, 23, 26, 48–50, 52–54]. При этом стоит отметить, что большинством исследователей в качестве индикаторного параметра, наиболее точно отражающего кровоснабжение почки, использовалась скорость кровотока (BF) коркового вещества в связи с тем, что 90–93% объема кровотока сосредоточены именно на уровне кортикального слоя паренхимы [51–54].

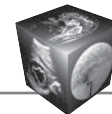
Большое внимание КТ-перфузии уделяется в диагностике обструктивных уропатий, что связано как с увеличением распространенности мочекаменной болезни, являющейся одной из основных причин гидронефроза, так и с возможностью помимо функционального статуса почки одновременно оценивать степень расширения структур чашечно-лоханочной системы (ЧЛС) и характеризовать размеры и плотность конкрементов при нативном КТ-сканировании. Одним из наиболее информативных исследований перфузии почек у больных с обструктивной уропатией является работа X.-R. Cai и соавт., в которой представлен анализ перфузионных параметров пациентов с односторонней обструкцией мочеточника [23]. Полученные данные свидетельствуют о статистически значимом снижении показателей BF и BV

и BF, BV и CI коркового и мозгового вещества пораженной почки по сравнению с контралатеральной у пациентов со средней и тяжелой степенью гидронефроза, а также повышение кортикального и медуллярного BF контралатеральной почки по сравнению с аналогичными показателями у здоровых людей. Однако в исследовании не проводился анализ соотношения перфузионных параметров с данными функциональных тестов, что делает результаты малоприменимыми в клинической практике.

Тема потенциального использования КТ-перфузии у больных с обструктивной уропатией получила развитие в исследованиях К.А. Александровой и соавт., по результатам которых была доказана возможность применения ПКТ в качестве одного из прогностических факторов для определения тактики лечения больных с расширением структур мочевыводящей системы (МВС), вызванным конкрементами, а именно необходимость дренирования МВС после проведения литотрипсии в зависимости от перфузионных параметров и степени расширения ЧЛС на дооперационном этапе [48–50].

Весьма перспективным считается и применение ПКТ в диагностике функционального состояния почек при сосудистых аномалиях. В частности, согласно исследованию J. Zhong и соавт., изучавших перфузию почек у пациентов с аортomezентриальной компрессией (синдром щелкунчика), была доказана связь между степенью сдавления левой почечной вены и перфузией почечной паренхимы, определенной на основе показателя BF кортикального слоя почки, и высказано предположение о том, что признаки аномально низкой перфузии в пораженной почке могут иметь прогностическое значение для потенциальной атрофии паренхимы и служить показанием к реваскуляризации [52]. Сопоставимые результаты были продемонстрированы в публикациях, посвященных особенностям перфузии почек при одностороннем стенозе почечной артерии и тромбозе почечных вен у пациентов с нефротическим синдромом [51, 54]. По данным D. Liu и соавт., исследовавших особенности почечного кровотока при диссекции аорты, была установлена зависимость BF коркового и мозгового вещества от ряда факторов, таких как отхождение почечной артерии от истинного или ложного просвета, наличие тромбоза в месте отхождения почечной артерии [53].

ПКТ также нашла свое применение в трансплантологии, причем как в оценке структурных и функциональных особенностей почки у потенциальных доноров, так и в исследованиях пациентов с трансплантированной почкой [22, 26]. В публи-



кации А. Helck и соавт., посвященной вопросам диагностики нарушения функции аллотрансплантата, получены результаты, свидетельствующие о возможности по данным ПКТ дифференцировать острый тубулярный некроз и острое отторжение трансплантата, что позволяет выбрать корректную тактику лечения без проведения биопсии [26].

Заключение

ПКТ почек является перспективным методом оценки функционального состояния органа и прогнозирования клинических и функциональных исходов при различных заболеваниях, а также может быть использована в качестве диагностического инструмента при анализе новообразований и оценке результатов хирургического и системного лечения опухолей почек. Несмотря на то что роль ПКТ почек в различных областях урологии и нефрологии достаточно изучена, некоторые крайне важные аспекты потенциального применения этой методики остаются недооцененными. В настоящее время опубликованы единичные исследования, посвященные возможностям ПКТ при планировании органосохраняющего лечения рака почки. Однако следует отметить, что отсутствуют работы по изучению роли КТ-перфузии в выборе методики резекции почки и определении функционального статуса почки до и после хирургического лечения.

С учетом высоких показателей заболеваемости ПКР и значимого процента локализованных форм опухолей, оптимальной стратегией лечения которых является органосохраняющая операция, недостаточное количество данных в этой области может послужить поводом для инициации нового научного исследования. Изучение роли КТ-перфузии в планировании и оценке результатов органосохраняющего лечения рака почки может открыть новые перспективы в оптимизации хирургической тактики и позволит в большей мере реализовать персонифицированный подход в определении способа проведения резекции.

Участие авторов

Ломоносова Е.В. – концепция и дизайн исследования, обзор публикаций по теме статьи, написание текста, подготовка и редактирование текста, подготовка, создание опубликованной работы.

Гольбиц А.Б. – сбор и обработка данных, обзор публикаций по теме статьи, написание текста, подготовка и редактирование текста, участие в научном дизайне.

Рубцова Н.А. – концепция и дизайн исследования, подготовка и редактирование текста, подготовка, создание опубликованной работы, ответственность за це-

лостность всех частей статьи, утверждение окончательного варианта статьи.

Алексеев Б.Я. – утверждение окончательного варианта статьи.

Каприн А.Д. – утверждение окончательного варианта статьи.

Authors' participation

Lomonosova E.V. – concept and design of the study, review of publications, writing text, text preparation and editing, preparation and creation of the published work.

Golbits A.B. – collection and analysis of data, review of publications, writing text, text preparation and editing, participation in scientific design.

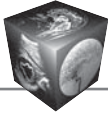
Rubtsova N.A. – concept and design of the study, text preparation and editing, preparation and creation of the published work, responsibility for the integrity of all parts of the article, approval of the final version of the article.

Alekseev B.Ya. – approval of the final version of the article.

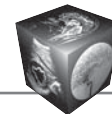
Kaprin A.D. – approval of the final version of the article.

Список литературы [References]

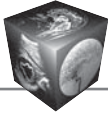
1. Axel L. Cerebral blood flow determination by rapid-sequence computed tomography: theoretical analysis. *Radiology*. 1980; 137 (3): 679–686. <http://doi.org/10.1148/radiology.137.3.7003648>
2. Koh T., Tan C., Cheong L. et al. Cerebral perfusion mapping using a robust and efficient method for deconvolution analysis of dynamic contrast-enhanced images. *Neuroimage*. 2006; 32 (2): 643–653. <http://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2006.03.042>
3. Schaefer P., Roccatagliata L., Ledezma C. et al. First-pass quantitative CT perfusion identifies thresholds for salvageable penumbra in acute stroke patients treated with intra-arterial therapy. *Am. J. Neuroradiol.* 2006; 27 (1): 20–25. PMID: 16418350
4. d'Esterre C., Roversi G., Padroni M. et al. CT perfusion cerebral blood volume does not always predict infarct core in acute ischemic stroke. *Neurol. Sci.* 2015; 36 (10): 1777–1783. <http://doi.org/10.1007/s10072-015-2244-8>
5. Murphy B., Fox A., Lee D. et al. Identification of penumbra and infarct in acute ischemic stroke using computed tomography perfusion-derived blood flow and blood volume measurements. *Stroke*. 2006; 37 (7): 1771–1777. <http://doi.org/10.1161/01.STR.0000227243.96808.53>
6. Alves J., Carneiro Â., Xavier J. Reliability of CT perfusion in the evaluation of the ischaemic penumbra. *Neuroradiol. J.* 2014; 27 (1): 91–95. <http://doi.org/10.15274/NRJ-2014-10010>
7. Konig M., Banach-Planchamp R., Kraus M. et al. CT perfusion imaging in acute ischemic cerebral infarct: comparison of cerebral perfusion maps and conventional CT findings. *Rofo*. 2000; 172 (3): 219–226. German. <http://doi.org/10.1055/s-2000-120>. PMID: 10778451
8. Koenig M., Kraus M., Theek C. et al. Quantitative assessment of the ischemic brain by means of perfusion-related parameters derived from perfusion CT. *Stroke*. 2001; 32 (2): 431–437. <http://doi.org/10.1161/01.str.32.2.431>



9. Miles K., Hayball., Dixon A. Colour perfusion imaging: a new application of computed tomography. *Lancet*. 1991; 337 (8742): 643–645. [http://doi.org/10.1016/0140-6736\(91\)92455-b](http://doi.org/10.1016/0140-6736(91)92455-b)
10. Kambadakone A., Sahani D. Body perfusion CT: technique, clinical applications, and advances. *Radiol. Clin. N. Am.* 2009; 47 (1): 161–178. <http://doi.org/10.1016/j.rcl.2008.11.003>.
11. Petralia G., Bonello L., Viotti S. et al. CT perfusion in oncology: how to do it. *Cancer Imaging*. 2010; 10 (1): 8–19. <http://doi.org/10.1102/1470-7330.2010.0001>
12. Garcia-Figueiras R., Goh V., Padhani A. et al. CT perfusion in oncologic imaging: a useful tool? *Am. J. Roentgenol.* 2013; 200 (1): 8–19. <http://doi.org/10.2214/AJR.11.8476>
13. Sitartchouk I., Roberts H., Pereira A. et al. Computed tomography perfusion using first pass methods for lung nodule characterization. *Invest. Radiol.* 2008; 43: 349–358. <http://doi.org/10.1097/RLI.0b013e3181690148>
14. Sahani D., Holalkere N., Mueller P. et al. Advanced hepatocellular carcinoma: CT perfusion of liver and tumor tissue- initial experience. *Radiology*. 2007; 243: 736–743. <http://doi.org/10.1148/radiol.2433052020>
15. Rumboldt Z., Al-Okaili R., Deveikis J. Perfusion CT for head and neck tumors: pilot study. *Am. J. Neuroradiol.* 2005; 26: 1178–1785. PMID: 15891181
16. Li Y., Yang Z., Chen T., Chen H. et al. Peripheral lung carcinoma: correlation of angiogenesis and first-pass perfusion parameters of 64-detector row CT. *Lung Cancer*. 2008; 61: 44–53. <http://doi.org/10.1016/j.lungcan.2007.10.021>.
17. d'Assignies G., Couvelard A., Bahrami S. et al. Pancreatic endocrine tumors: tumor blood flow assessed with perfusion CT reflects angiogenesis and correlates with prognostic factors. *Radiology*. 2008; 250: 407–16. <http://doi.org/10.1148/radiol.2501080291>.
18. Feng S., Sun C., Li Z. et al. Evaluation of microvessel density and vascular endothelial growth factor in colorectal carcinoma with 64-multidetector-row CT perfusion imaging. *Zhonghua Wei Chang Wai Ke Za Zhi*. 2008; 11: 537–541. PMID: 19031129
19. Grenier N., Cornelis F., Le Bras Y. et al. Perfusion imaging in renal diseases. *Diagn. Interv. Imaging*. 2013; 94 (12): 1313–1322. <http://doi.org/10.1016/j.diii.2013.08.018>
20. Das C., Thingujam U., Panda A. et al. Perfusion computed tomography in renal cell carcinoma. *Wld J. Radiol.* 2015; 7 (7): 170–179. <http://doi.org/10.4329/wjr.v7.i7.170>
21. Prezzi D., Khan A., Goh V. Perfusion CT imaging of treatment response in oncology. *Eur. J. Radiol.* 2015; 84 (12): 2380–2385. <http://doi.org/10.1016/j.ejrad.2015.03.022>
22. El-Diasty M., Gaballa G., Gad H. et al. Evaluation of CT perfusion parameters for assessment of split renal function in healthy donors. *Egypt. J. Radiol. Nuclear Med.* 2016; 47 (4): 1681–1688. <http://doi.org/10.1016/j.ejrnm.2016.07.017>
23. Cai X.-R., Zhou Q.C., Yu J. et al. Assessment of renal function in patients with unilateral ureteral obstruction using whole-organ perfusion imaging with 320-detector row computed tomography. *PLoS One*. 2015; 10 (4): e0122454. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0122454>
24. Yilmaz O., Ovali G., Genc A. et al. Perfusion computed tomography could be a new tool for single-session imaging of ureteric obstructive pathology: an experimental study in rats. *J. Pediatr. Surg.* 2009; 44 (10): 1977–1983. <http://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2009.01.072>
25. Grenier N., Merville P., Combe C. Radiologic imaging of the renal parenchyma structure and function. *Nat. Rev. Nephrol.* 2016; 12 (6): 348–359. <http://doi.org/10.1038/nrneph.2016.44>
26. Helck A., Wessely M., Notohamiprodjo M. et al. CT perfusion technique for assessment of early kidney allograft dysfunction: preliminary results. *Eur. Radiol.* 2013; 23 (9): 2475–2481. <http://doi.org/10.1007/s00330-013-2862-6>
27. Deniffel D., Boutelir T., Labani A. et al. Computed tomography perfusion measurements in renal lesions obtained by bayesian estimation, advanced singular-value decomposition deconvolution, maximum slope and Patlak models. *Invest. Radiol.* 2018; 53 (8): 477–485. <http://doi.org/10.1097/RLI.0000000000000477>
28. Chen Y., Zhang J., Dai J. et al. Angiogenesis of renal cell carcinoma: perfusion CT findings. *Abdom. Imaging*. 2010; 35 (5): 622–628. <http://doi.org/10.1007/s00261-009-9565-0>
29. Chen C., Liu Q., Hao Q. et al. Study of 320-slice dynamic volume CT perfusion in different pathological types of kidney tumor: preliminary results. *PLoS One*. 2014; 9 (1): e85522. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0085522>
30. Chen C., Kang Q., Xu B. et al. Fat poor angiomyolipoma differentiation from renal cell carcinoma at 320-slice dynamic volume CT perfusion. *Abdom. Radiol. (NY)*. 2018; 43 (5): 1223–1230. <http://doi.org/10.1007/s00261-017-1286-1>
31. Mazzei F., Mazzei M., Cioffi Squitieri N. et al. CT perfusion in the characterisation of renal lesions: an added value to multiphasic CT. *Biomed. Res. Int.* 2014; 2014: 135013. <http://doi.org/10.1155/2014/135013>
32. Reiner C., Goetti R., Eberli D. et al. CT perfusion of renal cell carcinoma: impact of volume coverage on quantitative analysis. *Invest. Radiol.* 2012; 47 (1): 33–40. <http://doi.org/10.1097/RLI.0b013e31822598c3>
33. Reiner C., Roessle M., Thiesler T. et al. Computed tomography perfusion imaging of renal cell carcinoma: systematic comparison with histopathological angiogenic and prognostic markers. *Invest. Radiol.* 2013; 48 (4): 183–191. <http://doi.org/10.1097/RLI.0b013e31827c63a3>
34. Rosenbaum C., Wach S., Kunath F. et al. Dynamic tissue perfusion measurement: a new tool for characterizing renal perfusion in renal cell carcinoma patients. *Urol. Int.* 2013; 90 (1): 87–94. <http://doi.org/10.1159/000341262>
35. Рубцова Н.А., Гольбиц А.Б., Крянева Е.В. и др. Роль КТ-перфузии в диагностике солидных опухолей почек. *Лучевая диагностика и терапия*. 2021; 2 (12): 70–78. <http://doi.org/10.22328/2079-5343-2021-12-2-70-78>
36. Rubtsova N.A., Golbits A.B., Kryaneva E.V. et al. The role of ct-perfusion for diagnostic of solid renal tumors. *Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2021; 2 (12): 70–78. <http://doi.org/10.22328/2079-5343-2021-12-2-70-78> (In Russian)
37. Chen C., Kang Q., Wei Q. et al. Correlation between CT perfusion parameters and Fuhrman grade in pT1b renal cell carcinoma. *Abdom. Radiol (NY)*. 2017; 42 (5): 1464–1471. <http://doi.org/10.1007/s00261-016-1009-z>.
38. Chen C., Kang Q., Xu B. et al. Differentiation of low- and high-grade clear cell renal cell carcinoma: Tumor size versus CT perfusion parameters. *Clin. Imaging*. 2017; 46: 14–19. <http://doi.org/10.1016/j.clinimag.2017.06.010>
39. Shu J., Tang Y., Cui J. et al. Clear cell renal cell carcinoma: CT-based radiomics features for the prediction of Fuhrman



- grade. *Eur. J. Radiol.* 2018; 109: 8–12. <http://doi.org/10.1016/j.ejrad.2018.10.005>
39. Drljevic-Nielsen A., Rasmussen F., Mains J. et al. Baseline blood volume identified by dynamic contrast-enhanced computed tomography as a new independent prognostic factor in metastatic renal cell carcinoma. *Transl. Oncol.* 2020; 13 (10): 100829. <http://doi.org/10.1016/j.tranon.2020.100829>
 40. Mains J., Donskov F., Pedersen E. et al. Dynamic Contrast-Enhanced Computed Tomography-Derived Blood Volume and Blood Flow Correlate With Patient Outcome in Metastatic Renal Cell Carcinoma. *Invest. Radiol.* 2017; 52 (2): 103–110. <http://doi.org/10.1097/RLI.0000000000000315>
 41. Mains J., Donskov F., Pedersen E. et al. Use of patient outcome endpoints to identify the best functional CT imaging parameters in metastatic renal cell carcinoma patients. *Br. J. Radiol.* 2018; 91 (1082): 20160795. <http://doi.org/10.1259/bjr.20160795>
 42. Fan A., Sundaram V., Kino A. et al. Early Changes in CT Perfusion Parameters: Primary Renal Carcinoma Versus Metastases After Treatment with Targeted Therapy. *Cancers (Basel)*. 2019; 11 (5): 608. <http://doi.org/10.3390/cancers11050608>
 43. Vehabovic-Delic A., Balic M., Rossmann C. et al. Volume Computed Tomography Perfusion Imaging: Evaluation of the Significance in Oncologic Follow-up of Metastasizing Renal Cell Carcinoma in the Early Period of Targeted Therapy – Preliminary Results. *J. Comput. Assist. Tomogr.* 2019; 43 (3): 493–498. <http://doi.org/10.1097/RCT.0000000000000848>
 44. Fournier L., Oudard S., Thiam R. et al. Metastatic renal carcinoma: evaluation of antiangiogenic therapy with dynamic contrast-enhanced CT. *Radiology*. 2010; 256 (2): 511–518. <http://doi.org/10.1148/radiol.10091362>
 45. Hudson J., Bailey C., Atri M. et al. The prognostic and predictive value of vascular response parameters measured by dynamic contrast-enhanced-CT, -MRI and -US in patients with metastatic renal cell carcinoma receiving sunitinib. *Eur. Radiol.* 2018; 28 (6): 2281–2290. <http://doi.org/10.1007/s00330-017-5220-2>
 46. Nielsen T., Ostraat O., Graumann O. et al. Computed Tomography Perfusion, Magnetic Resonance Imaging, and Histopathological Findings After Laparoscopic Renal Cryoablation: An In Vivo Pig Model. *Technol. Cancer Res. Treat.* 2017; 16 (4): 406–413. <http://doi.org/10.1177/1533034616657251>
 47. Squillaci E., Manenti G., Ciccio C. et al. Perfusion-CT monitoring of cryo-ablated renal cells tumors. *J. Exp. Clin. Cancer Res.* 2009; 28 (1): 138. <http://doi.org/10.1186/1756-9966-28-138>
 48. Александрова К.А., Серова Н.С., Руденко В.И. и др. Возможности КТ-перфузии в оценке почечного кровотока у пациентов с мочекаменной болезнью. *Российский электронный журнал лучевой диагностики*. 2019; 9 (1): 108–117. <http://doi.org/10.21569/22227415201991108117>
Aleksandrova K.A., Serova N.S., Rudenko V.I. et al. Opportunities of CT-perfusion in the evaluation of renal blood flow in patients with urolithiasis. *REJR*. 2019; 9 (1): 108–117. <http://doi.org/10.21569/22227415201991108117> (In Russian)
 49. Александрова К.А., Серова Н.С., Руденко В.И. и др. Клиническое значение КТ-перфузии у пациентов с камнями мочеточника. *Урология*. 2019; 5: 38–43. <http://doi.org/10.18565/urology.2019.5.38-43>
Aleksandrova K.A., Serova N.S., Rudenko V.I. et al. Clinical value of ct-perfusion in patients with ureteric stones. *Urologia*. 2019; 5: 38–43. <http://doi.org/10.18565/urology.2019.5.38-43> (In Russian)
 50. Александрова К.А., Серова Н.С., Руденко В.И. и др. Оценка перфузии почек у больных мочекаменной болезнью с помощью методов лучевой диагностики. *Российский электронный журнал лучевой диагностики*. 2018; 8 (4) 208–219. <http://doi.org/10.21569/2222-7415-2018-8-4-208-219>
Aleksandrova K.A., Serova N.S., Rudenko V.I., et al. Clinical value of ct-perfusion in patients with ureteric stones. *REJR*. 2018; 8 (4) 208–219. <http://doi.org/10.21569/2222-7415-2018-8-4-208-219> (In Russian)
 51. Zhang Z., Cen C., Qian K. et al. Assessment of the embolization effect of temperature-sensitive p(N-isopropylacrylamide-co-butyl methacrylate) nanogels in the rabbit renal artery by CT perfusion and confirmed by macroscopic examination. *Sci. Rep.* 2021; 11 (1): 4826. <http://doi.org/10.1038/s41598-021-84372-w>
 52. Zhong J., Yuan J., Chong V. et al. The clinical application of one-stop examination with 640-slice volume CT for Nutcracker syndrome. *PLoS One*. 2013; 8 (9): e74365. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0074365>
 53. Liu D., Liu J., Wen Z. et al. 320-row CT renal perfusion imaging in patients with aortic dissection: A preliminary study. *PLoS One*. 2017; 12 (2): e0171235. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0171235>
 54. Al-Said J., Kamel O. Changes in renal cortical and medullary perfusion in a patient with renal vein thrombosis. *Saudi J. Kidney Dis. Transpl.* 2010; 21 (1): 123–127. PMID: 20061706.
 55. Braunagel M., Helck A., Wagner A. et al. Dynamic Contrast-Enhanced Computed Tomography: A New Diagnostic Tool to Assess Renal Perfusion After Ischemia-Reperfusion Injury in Mice: Correlation of Perfusion Deficit to Histopathologic Damage. *Invest. Radiol.* 2016; 51 (5): 316–322. <http://doi.org/10.1097/RLI.0000000000000245>
 56. Miles K., Griffiths M. Perfusion CT: a worthwhile enhancement? *Br. J. Radiol.* 2003; 76 (904): 220–231. <http://doi.org/10.1259/bjr/13564625>
 57. Miles K. Perfusion CT for the assessment of tumour vascularity: which protocol? *Br. J. Radiol.* 2003; 76 Spec No 1: S36–42. <http://doi.org/10.1259/bjr/18486642>
 58. Гольбиц А.Б., Рубцова Н.А., Крянева Е.В. и др. КТ-перфузия почек в онкологии: учебно-методическое пособие. М.: МНИОИ им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ “НМИЦ радиологии” Минздрава России. 2020. 28 с.
Rubtsova N.A., Golbits A.B., Kryaneva E.V. et al. CT perfusion of the kidneys in oncology: a teaching aid. М.: МНИОИ им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ “НМИЦ радиологии” Минздрава России. 2020. 28 p. (In Russian)
 59. Jeong S., Park S., Chang I., Shin J. et al. Estimation of renal function using kidney dynamic contrast material-enhanced CT perfusion: accuracy and feasibility. *Abdom. Radiol. (NY)*. 2021; 46 (5): 2045–2051. <http://doi.org/10.1007/s00261-020-02826-7>



Для корреспонденции*: Ломоносова Елена Владимировна – тел.: +7-903-219-41-53. E-mail: elena_kryaneva@mail.ru

Ломоносова Елена Владимировна – врач-рентгенолог отделения компьютерной и магнитно-резонансной томографии МНИОИ им. П.А. Герцена – филиала ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр радиологии” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-9474-1074>, E-mail: elena_kryaneva@mail.ru

Гольбиц Александра Борисовна – врач-рентгенолог отделения компьютерной и магнитно-резонансной томографии МНИОИ им. П.А. Герцена – филиала ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр радиологии” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-4030-3212>. E-mail: a_golbits@mail.ru

Рубцова Наталья Алефтиновна – доктор мед. наук, руководитель отдела лучевой диагностики МНИОИ им. П.А. Герцена – филиала ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр радиологии” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-8378-4338>. E-mail: rna17@yandex.ru

Алексеев Борис Яковлевич – доктор мед. наук, профессор, заместитель генерального директора по научной работе ФГБУ “НМИЦ радиологии” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-3398-4128>. E-mail: byalekseev@mail.ru

Каприн Андрей Дмитриевич – академик РАН, член-корр. РАО, доктор мед. наук, профессор, генеральный директор ФГБУ “НМИЦ радиологии” Минздрава России; заведующий кафедрой урологии и оперативной нефрологии с курсом онкоурологии медицинского факультета, медицинского института ФГАОУ ВО “Российский университет дружбы народов”, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-8784-8415>. E-mail: kaprin@mail.ru

Contact*: Elena V. Lomonosova – phone: +7-903-219-41-53. E-mail: elena_kryaneva@mail.ru

Elena V. Lomonosova – radiologist, Department of computed tomography and magnetic resonance imaging of Moscow Research Oncological Institute named after P.A. Herzen – branch of “National Medical Research Center of Radiology”, Ministry of Healthcare of Russia, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-9474-1074>. E-mail: elena_kryaneva@mail.ru

Aleksandra B. Golbits – radiologist, Department of computed tomography and magnetic resonance imaging of Moscow Research Oncological Institute named after P.A. Herzen – branch of “National Medical Research Center of Radiology”, Ministry of Healthcare of Russia, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-4030-3212>. E-mail: a_golbits@mail.ru

Natalia A. Rubtsova – Doct. of Sci. (Med.), Head of Radiology Department of Moscow Research Oncology Institute named after P.A. Herzen – branch of “National Medical Research Center of Radiology” of the Ministry of Health of the Russia, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-8378-4338>. E-mail: rna17@yandex.ru

Boris Ya. Alekseev – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Deputy of General director of scientific affairs “National Medical Research Center of Radiology” of the Ministry of Health of the Russia, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-3398-4128>. E-mail: byalekseev@mail.ru

Andrey D. Kaprin – Full Member of the Russian Academy of Sciences, Corresponding Member of Russian Academy of Education, Doct. of Sci. (Med.), Professor, General Director of “National Medical Radiological Research Center” of the Ministry of Health of the Russian Federation; Head of Department of urology and surgical nephrology with a course of oncurology at the medical faculty of medical institute of the Peoples’ Friendship University of Russia, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-8784-8415>. E-mail: kaprin@mail.ru