

# КТ-перфузия в диагностике пиелонефрита: преимущества и недостатки

В.Н. Павлов<sup>1</sup>, В.А. Воробьев<sup>2</sup>, В.А. Ананьев<sup>✉3</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет» Минздрава России, Уфа, Россия;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Иркутский государственный медицинский университет» Минздрава России, Иркутск, Россия;

<sup>3</sup>КГБУЗ «Краевая клиническая больница», Барнаул, Россия

## Аннотация

Гнойно-деструктивный пиелонефрит – тяжелое воспалительное заболевание почек, при котором формируются очаги ишемии и некроза, что делает точную оценку почечного кровотока важной для своевременной диагностики и выбора лечения. В последние годы для оценки кровоснабжения почек при данном заболевании все более широко применяются современные методы функциональной визуализации, в том числе перфузионная компьютерная томография (КТ-перфузия). В обзорной статье представлены актуальные данные о возможностях применения КТ-перфузии для диагностики и мониторинга гнойного пиелонефрита, рассмотрены принципы выполнения этой методики и особенности компьютерной обработки данных, позволяющие вычислять количественные показатели почечной гемодинамики (почечный кровоток, объем крови, среднее время транзита контрастного вещества и др.). Метод КТ-перфузии позволяет выявлять зоны ишемии в пораженной почке и объективно оценивать степень нарушения перфузии. Проанализированы результаты клинических исследований, демонстрирующих корреляцию перфузионных нарушений с тяжестью заболевания и развитием гнойно-деструктивных осложнений, на основании чего КТ-перфузия рассматривается как важный прогностический инструмент для выбора оптимальной тактики лечения (консервативной или хирургической) при тяжелом течении пиелонефрита. Отмечаются такие преимущества метода, как высокая информативность (благодаря сочетанию морфологической и функциональной оценки), короткое время проведения исследования и возможность одновременной визуализации обеих почек для их сравнительного анализа. Вместе с тем метод имеет существенные ограничения: высокая лучевая нагрузка и необходимость внутривенного введения контрастного препарата повышают риск осложнений (например, контраст-индуцированной нефропатии) и ограничивают применение КТ-перфузии у пациентов с почечной недостаточностью. Описаны меры повышения безопасности, включая тщательный отбор пациентов, минимально необходимую дозу облучения и контраста, а также адекватную гидратацию для профилактики нефропатии. Таким образом, перфузионная КТ почек является перспективным дополнительным методом диагностики гнойного пиелонефрита, способным улучшить выявление патологических изменений и прогноз исходов заболевания при взвешенном применении.

**Ключевые слова:** гнойный пиелонефрит, КТ-перфузия почек, ишемия почек, почечный кровоток, лучевая диагностика

**Для цитирования:** Павлов В.Н., Воробьев В.А., Ананьев В.А. КТ-перфузия в диагностике пиелонефрита: преимущества и недостатки. Consilium Medicum. 2025;27(7):398–402. DOI: 10.26442/20751753.2025.7.203255

© ООО «КОНСИЛИУМ МЕДИКУМ», 2025 г.

## REVIEW

# CT perfusion in the diagnosis of pyelonephritis: advantages and disadvantages. A review

Valentin N. Pavlov<sup>1</sup>, Vladimir A. Vorobev<sup>2</sup>, Vladimir A. Ananiev<sup>✉3</sup>

<sup>1</sup>Bashkir State Medical University, Ufa, Russia;

<sup>2</sup>Irkutsk State Medical University, Irkutsk, Russia;

<sup>3</sup>Regional Clinical Hospital, Barnaul, Russia

## Abstract

Acute suppurative pyelonephritis is a severe kidney infection characterized by areas of ischemia and necrosis, making accurate assessment of renal perfusion crucial for diagnosis and treatment. In recent years, modern functional imaging techniques, including perfusion computed tomography (CT perfusion), have been increasingly used to evaluate renal blood flow. This review presents current data on the capabilities of renal CT perfusion in diagnosing and monitoring acute suppurative pyelonephritis, describing the principles of the technique and data post-processing for quantitative hemodynamic measurements. The CT perfusion method helps identify ischemic areas in the affected kidney and provides an objective assessment of perfusion impairment. Clinical studies show that perfusion abnormalities correlate with disease severity and the occurrence of suppurative complications, supporting the use of CT perfusion as an important prognostic tool for selecting optimal conservative or surgical treatment. Several advantages of CT perfusion are highlighted, such as high diagnostic value due to combined morphological and functional assessment, short examination time, and the ability to simultaneously assess both kidneys for comparison. However, the method also has significant limitations: high radiation exposure and the need for intravenous contrast increase the risk of complications (e.g., contrast-induced nephropathy) and restrict its use in patients with renal insufficiency. To mitigate these risks, careful patient selection, minimal necessary doses of radiation and contrast, and adequate hydration are recommended. Thus, renal CT perfusion is a promising adjunct in the diagnosis of acute pyelonephritis, capable of improving the assessment of pathological changes and patient outcomes when used judiciously.

**Keywords:** acute pyelonephritis, CT perfusion, renal perfusion, renal ischemia, diagnostic imaging

**For citation:** Pavlov VN, Vorobev VA, Ananiev VA. CT perfusion in the diagnosis of pyelonephritis: advantages and disadvantages. A review. Consilium Medicum. 2025;27(7):398–402. DOI: 10.26442/20751753.2025.7.203255

## Информация об авторах / Information about the authors

<sup>✉</sup>**Ананьев Владимир Александрович** – канд. мед. наук, зав. урологическим отд-нием №2 КГБУЗ ККБ. E-mail: urologkbb@mail.ru; SPIN-код: 7421-0678

**Павлов Валентин Николаевич** – акад. РАН, д-р мед. наук, проф., ректор ФГБОУ ВО БГМУ. SPIN-код: 2799-6268

**Воробьев Владимир Анатольевич** – д-р мед. наук, проф., проф. каф. факультетской хирургии и урологии ФГБОУ ВО ИГМУ. SPIN-код: 9896-6243

<sup>✉</sup>**Vladimir A. Ananiev** – Cand. Sci. (Med.), Regional Clinical Hospital. E-mail: urologkbb@mail.ru; ORCID: 0000-0002-1636-3151

**Valentin N. Pavlov** – D. Sci. (Med.), Prof., Acad. RAS, Bashkir State Medical University. ORCID: 0000-0003-2125-4897

**Vladimir A. Vorobev** – D. Sci. (Med.), Prof., Irkutsk State Medical University. ORCID: 0000-0003-3285-5559

## Введение

Оценка перфузии почек является важной задачей клинической практики, особенно при гнойно-деструктивных формах пиелонефрита. Это заболевание характеризуется инфекционным воспалением почечной паренхимы с формированием очагов ишемии и некроза. Применение современных методов визуализации позволяет своевременно выявлять эти патологические изменения и отслеживать динамику заболевания, что улучшает результаты лечения и повышает качество жизни пациентов [1]. Известно, что острый пиелонефрит сопровождается диффузными изменениями почечной ткани, существенно влияющими на почечную гемодинамику. Поэтому современные методы диагностики, оценивающие степень ишемии и нарушения кровотока, играют ключевую роль в выявлении осложнений и определении тактики лечения острого пиелонефрита [2, 3]. Согласно актуальным клиническим рекомендациям визуализация при пиелонефрите необходима главным образом в осложненных случаях – «золотым стандартом» считается контрастная компьютерная томография (КТ) [4], тогда как ультразвуковое исследование (УЗИ) имеет ограниченную чувствительность [5, 6]. Так, по данным сравнительных исследований, чувствительность УЗИ в диагностике острого пиелонефрита составляет лишь 33%, тогда как контрастной КТ – около 80% [6].

Радионуклидная нефросцинтиграфия с  $^{99m}\text{Tc}$ -DMSA и магнитно-резонансная томография – МРТ (особенно с диффузионно-взвешенными изображениями – ДВИ) обладают высокой чувствительностью (75–95%) без лучевой нагрузки [6–8]. Например, ДВИ-МРТ выявляет очаги пиелонефрита с чувствительностью >90%, значительно превосходя УЗИ [9]. МРТ органов мочевой системы в режиме T2-ВИ и после контрастирования способна выявлять пиелонефритические изменения, однако в целом применяется реже КТ из-за меньшей доступности и длительного времени сканирования. Существенный прогресс связан с внедрением ДВИ [9]. ДВИ-МРТ не требует контраста и выявляет острое воспаление за счет ограниченной диффузии воды в пораженной ткани. При пиелонефрите на ДВИ визуализируются яркие очаги в паренхиме, а на картах ADC – участки с пониженным коэффициентом диффузии. По данным S. Rathod и соавт. (2015 г.), чувствительность ДВИ-МРТ для диагностики острого пиелонефрита составила 95,3%, тогда как у контрастной КТ в той же группе пациентов – 88,1% [9]. ДВИ также позволила четко дифференцировать обычный нефритический инфильтрат от сформированного абсцесса за счет еще более низких значений ADC в последних [9]. Преимуществом МРТ является отсутствие лучевой нагрузки, что важно, например, для беременных. К ограничениям можно отнести относительно низкое разрешение (мелкие очаги <5 мм могут не визуализироваться), артефакты от движения и движений, высокую стоимость исследования. Кроме того, МРТ не выявляет конкременты и газ, поэтому при подозрении на камень или эмфизематозный процесс предпочтительнее КТ [7]. В целом МРТ с диффузией может служить альтернативой КТ у пациентов с противопоказаниями к йодному контрасту.

Контрастный ультразвук с использованием микропузырьков газа (CEUS/контраст-усиленное ультразвуковое исследование – КУУЗИ) – сравнительно новая методика, существенно повышающая диагностическую ценность УЗИ при заболеваниях почек. CEUS/КУУЗИ лишена радиационного воздействия и нефротоксичности, поэтому может применяться даже у пациентов с почечной недостаточностью. Доказано, что контрастное УЗИ эффективно выявляет очаговый пиелонефрит – по ряду данных его диагностическая точность сопоставима с КТ, особенно при локальных формах поражения [10]. Например, в исследовании M. Mitterberger и соавт. (2007 г.) чувствительность КУУЗИ достигла 100%, а специфичность – 98% при срав-

нении с данными КТ у пациентов с пиелонефритом [11]. В более поздней работе (A. Granata и соавт., 2011 г.) показано, что КУУЗИ не уступает МРТ в визуализации воспалительных очагов: положительная прогностическая ценность составила 95%, отрицательная – 100% [12]. В педиатрической практике контрастное УЗИ также хорошо зарекомендовало себя для диагностики пиелонефрита [13]. Однако метод имеет ограничения: он исследует только ограниченную зону (не всю почку целиком одновременно), результаты сильно зависят от опыта оператора, а необходимое оборудование (ультразвуковой контраст и соответствующий УЗ-аппарат) доступно далеко не везде. Тем не менее КУУЗИ рассматривается как перспективная альтернатива КТ в тех случаях, когда КТ противопоказана или нежелательна. Таким образом, КУУЗИ/CEUS – перспективный метод, уже продемонстрировавший точность 80–85% при остром пиелонефрите [13, 14]. Следует отметить, что многие исследования методов визуализации при пиелонефрите проводились на небольших выборках (30–50 пациентов) и зачастую носили одноцентровый характер, а прямое сравнение всех видов диагностики в рамках одного исследования затруднено этически. Тем не менее накоплены данные по отдельным методам (например, метаанализ по КУУЗИ у детей [15]), подтверждающие ценность визуализации в ведении пиелонефрита.

В целом каждый метод визуализации имеет свою нишу. УЗИ (особенно с доплерографией и CEUS) привлекательно отсутствием лучевой нагрузки и может использоваться в качестве скрининга и для динамического наблюдения, но не всегда позволяет достоверно подтвердить или исключить пиелонефрит [10]. Стандартная КТ – метод выбора при подозрении на осложнения (абсцессы, газообразующая инфекция, конкременты) и при неясной клинической картине благодаря высокому разрешению и относительной скорости выполнения [6]. МРТ (в частности ДВИ) – альтернатива при противопоказаниях к контрасту или у беременных, обеспечивающая высокую чувствительность [7]. Нефросцинтиграфия сохраняет значение скорее как метод оценки отдаленных последствий (рубцовых изменений) и относительной функции почек, чем для первичной диагностики. КТ с перфузионным анализом (КТ-перфузия) же представляет попытку объединить морфологическую визуализацию и функциональную оценку перфузии. В настоящее время она не входит в стандарты, но потенциально может предоставить уникальные сведения о степени ишемии почечной паренхимы. Выбор диагностического подхода должен быть индивидуализирован: при легком неосложненном пиелонефрите зачастую достаточно клинических данных и УЗИ, тогда как при тяжелом течении комбинация нескольких методов (например, УЗИ+КТ, либо КТ+КТ-перфузия в исследовательских центрах) может оправдываться для полного понимания ситуации.

### Основные принципы КТ-перфузии почек

КТ-перфузия – передовой неинвазивный метод, позволяющий оценить почечный кровоток на разных уровнях сосудистой системы: от крупных артерий и вен до артериол и капилляров микроциркуляторного русла [16]. В отличие от рутинной КТ, дающей преимущественно анатомическую информацию, КТ-перфузия предоставляет также функциональные данные о динамике кровоснабжения почечной паренхимы [3]. Метод основан на серийном сканировании почки с высоким временным разрешением после болюсного внутривенного введения йодсодержащего контрастного препарата. Анализ полученных последовательных изображений позволяет измерить скорость поступления контраста и его распределение в тканях, т.е. количественно оценить такие перфузионные параметры, как кровоток, кровенаполнение, среднее время транзита и проницаемость сосудистой стенки [17]. Таким образом,

КТ-перфузия объективно характеризует почечное кровоснабжение на микроуровне, выявляя зоны ишемии и гиперперфузии [18]. Например, в норме корковый слой почки отличается более высоким кровотоком и кровенаполнением по сравнению с мозговым слоем, при ишемических повреждениях эти показатели снижаются, а среднее время транзита удлиняется [19].

Для получения достоверных результатов требуется строгий протокол сканирования. Как правило, используется болюсное введение 40–60 мл контрастного раствора с концентрацией йода 350–400 мг/мл со скоростью ~4 мл/с, с последующей быстрой инфузией физиологического раствора (так называемого saline flush) для поддержания ровной концентрации контраста в крови. Современные инжекторы позволяют автоматизированно контролировать скорость и профиль введения контраста, оптимизируя получение перфузионных изображений. Серия сканов выполняется с интервалом в считанные секунды, общее время динамического исследования составляет несколько минут. Из-за длительности сканирования проведение КТ-перфузии без задержки дыхания практически невозможно – даже небольшие дыхательные движения приводят к артефактам, снижая качество изображения и затрудняя анализ [4]. Для минимизации артефактов обычно применяются методы коррекции движения постфактум. Кроме того, сообщается об успешном выполнении КТ-перфузии почек у кооперативных пациентов на спокойном дыхании [20]. Тем не менее необходимость серийного облучения накладывает ограничения на широкое применение метода.

#### **Клиническое применение КТ-перфузии**

В клинической практике КТ-перфузия почек уже находит применение при различных заболеваниях. В частности, метод применяется при обструктивных уропатиях (например, для оценки гемодинамических последствий мочекаменной болезни) и других нефропатиях, а также при хронической почечной недостаточности [21–23]. Показано, что перфузионная КТ позволяет количественно оценить снижение коркового кровотока при обструкции верхних мочевых путей и тем самым косвенно судить о функциях почки [22]. В трансплантологии КТ-перфузия играет важную роль в мониторинге состояния почечного трансплантата и обследовании потенциальных доноров [24]. Методика дает возможность оценить перфузию пересаженной почки и ее изменения при остром отторжении или иных осложнениях, а также рассчитывать долю функции почки у доноров перед нефрэктомией [25]. Отдельное направление – диагностика острых ишемических поражений почек (инфарктов), возникающих вследствие тромбоза или эмболии почечных артерий. КТ-перфузия в подобных случаях позволяет быстро и точно определить зону критического снижения кровоснабжения, что влияет на тактику лечения и помогает предотвратить необратимые повреждения [26, 27]. Так, показано, что при расслоении аорты перфузионная КТ выявляет снижение коркового кровотока в почках, вторичное к ишемии от расстройства перфузии, что коррелирует с нарушением функции.

Применение **КТ-перфузии при пиелонефрите** пока носит в основном экспериментальный характер, однако первые результаты обнадеживают [28]. Согласно данным отдельных исследований острый пиелонефрит сопровождается локальным снижением почечной перфузии: уменьшение кровотока в корковом и мозговом слоях коррелирует с более тяжелым течением заболевания и склонностью к формированию абсцессов [29–31]. В проспективном клиническом исследовании В.А. Ананьева и соавт. (2024 г.) показано [32], что использование КТ-перфузии в предоперационной оценке тяжелого гнойного пиелонефрита позволяет оптимизировать тактику лечения. В частности, благодаря информации о перфузионном статусе

пораженной почки удалось обоснованно придерживаться органосохраняющей тактики, снизив частоту нефрэктомий с 12,5 до 4,3% по сравнению со стандартным подходом. Таким образом, КТ-перфузия может быть полезна в отдельных случаях – для научных целей или для принятия сложных клинических решений (например, вопрос об органосберегающем лечении при распространенном гнойном пиелонефрите). Однако широкое внедрение этого метода при пиелонефрите в рутинную практику пока нецелесообразно ввиду описанных далее ограничений.

#### **Безопасность КТ-перфузии при пиелонефрите и почечной недостаточности**

КТ-перфузия почек предполагает многократное сканирование с введением относительно высокой дозы йодсодержащего контрастного вещества, поэтому необходимо учитывать лучевую нагрузку и риск контраст-индуцированной нефропатии (КИН). Доза облучения при перфузионной КТ брюшных органов превышает таковую при стандартной КТ, что ограничивает повторное выполнение исследований. Особенно это важно для молодых пациентов и беременных: у беременных по рекомендациям предпочтительны УЗИ или МРТ, а ионизирующее облучение нужно избегать [33].

Оценки показывают, что эффективная доза при КТ-перфузии почек может достигать 10–20 мЗв (что эквивалентно нескольким стандартным КТ брюшной полости подряд), в то время как разовая КТ почек обычно дает 5–8 мЗв [24]. Такая высокая лучевая нагрузка особенно нежелательна у детей, молодых пациентов, а также требует осторожности при необходимости повторных исследований. Следует тщательно обосновывать каждое назначение КТ-перфузии: ожидаемая польза (например, предотвращение необратимой потери почки за счет точной диагностики) должна превышать потенциальный отдаленный риск индукции злокачественных новообразований. В контексте пиелонефрита это значит, что метод целесообразен лишь при тяжелом осложненном течении, когда альтернативные способы визуализации не дают нужной информации [22].

Риск КИН – острого контраст-ассоциированного повреждения почек – выше у пациентов с исходной хронической болезнью почек, сахарным диабетом, дегидратацией, а также у тяжелых септических больных [34]. У пациентов с острым пиелонефритом нередко отмечается снижение функции почек (преренальная азотемия вследствие дегидратации, сепсис с развитием острой почечной недостаточности), поэтому введение контраста теоретически может усугубить повреждение почек. Тем не менее последние данные показывают, что в условиях стабильной гемодинамики и при отсутствии выраженной хронической болезни почек (скорость клубочковой фильтрации – СКФ  $\geq 45$  мл/мин) проведение контрастной КТ не приводит к значимому увеличению частоты острого почечного повреждения [34]. Крупный метаанализ 21 исследования с пропенсити-скорингом не выявил повышения риска острого повреждения почек, необходимости диализа или летальности после контрастной КТ по сравнению с неконтрастной у пациентов с исходной СКФ  $\geq 45$  мл/мин/1,73 м<sup>2</sup> [34]. В то же время подтверждено, что при СКФ  $< 30$  мл/мин риск контраст-ассоциированного повреждения почек возрастает [34]. Таким образом, при сочетании пиелонефрита с выраженной почечной недостаточностью решение о проведении КТ-перфузии должно приниматься взвешенно, с учетом баланса пользы и риска. В подобных ситуациях предпочтительно использовать альтернативные методы визуализации (например, ДВИ-МРТ или КУУЗИ/CEUS), не связанные с радиационной и контрастной нагрузкой на пациента.

Кроме медицинских рисков, следует учитывать и организационные аспекты. Метод КТ-перфузии пока не включен

в клинические рекомендации по лечению пиелонефрита, а его проведение требует наличия экспертного уровня обобщения и квалифицированных специалистов по лучевой диагностике. Во многих стационарах такой возможности нет, поэтому направлять пациента на КТ-перфузию имеет смысл лишь в учреждения, где методика отработана [6]. Экономический фактор тоже важен: перфузионное исследование дороже стандартных методов, что может ограничивать его применение в условиях недостаточного финансирования. Еще один перспективный путь – использование новых режимов томографии. Например, в современных аппаратах доступна двухэнергетическая (спектральная) КТ, позволяющая строить карты распределения йода в ткани почки в артериальную и нефрографическую фазы контрастирования. Такой подход потенциально может выявлять участки гипоперфузии при пиелонефрите без выполнения полноценной динамической перфузии, снижая лучевую нагрузку. Однако он дает ограниченную информацию (лишь две временные точки) и пока не заменяет классическую КТ-перфузию [35].

### Заключение

**КТ-перфузия** представляет собой высокоинформативный метод функциональной диагностики, позволяющий одновременно с анатомической визуализацией количественно оценивать почечную перфузию. **Преимущества** методики – это раннее выявление и мониторинг ишемических изменений паренхимы почки, что может быть использовано как прогностический критерий при остром гнойном пиелонефрите и других заболеваниях. Интеграция данных КТ-перфузии в клиническую практику способна улучшить стратификацию тяжести пиелонефрита и оптимизировать выбор лечения (консервативного или хирургического).

**Недостатки** метода включают высокую лучевую нагрузку и необходимость введения контраста, что ограничивает применение у пациентов с почечной недостаточностью из-за риска КИН. Кроме того, требуются специализированное программное обеспечение и опыт для постобработки перфузионных данных, а само исследование связано с техническими трудностями (артефактами движения и др.). Таким образом, КТ-перфузия почек – ценное дополнение к арсеналу лучевых методов, которое целесообразно применять в отдельных клинических ситуациях (при сложном или осложненном пиелонефрите, в исследовательских протоколах), опираясь на современные клинические рекомендации и индивидуальную оценку риска для пациента.

**Раскрытие интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

**Disclosure of interest.** The authors declare that they have no competing interests.

**Вклад авторов.** Авторы декларируют соответствие своего авторства международным критериям ICMJE. В.Н. Павлов, В.А. Воробьев, В.А. Ананьев – поиск и анализ литературных данных, формирование гипотезы, написание текста рукописи.

**Authors' contribution.** The authors declare the compliance of their authorship according to the international ICMJE criteria. V.N. Pavlov, V.A. Vorobev, V.A. Ananiev – search and analysis of literary data, formation of a hypothesis, writing the text of the manuscript.

**Источник финансирования.** Авторы декларируют отсутствие внешнего финансирования для проведения исследования и публикации статьи.

**Funding source.** The authors declare that there is no external funding for the exploration and analysis work.

### Литература/References

1. Курбатов Д.Г., Дубский С.А., Худяшов С.А. Лучевые методы исследования в диагностике острого пиелонефрита. *Вестник Медицинского стоматологического института*. 2017;18-23 [Kurbatov DG, Dubsky SA, Khudyashov SA. Radiation research methods in the diagnosis of acute pyelonephritis. *Medical Dental Institute Bulletin*. 2017;18-23 (in Russian)].
2. Белякин С.А., Шкловский Б.Л., Дмитрищенко А.А., и др. Комплексная клиническая и лучевая диагностика в выборе тактики ведения больных с острым гнойным пиелонефритом на фоне сахарного диабета. *Вестник Российской военно-медицинской академии*. 2010;34-8 [Belyakin SA, Shklovsky BL, Dmitrashchenko AA, et al. Comprehensive clinical and radiation diagnostics in the choice of management tactics for patients with acute purulent pyelonephritis against the background of diabetes mellitus. *Bulletin of the Russian Military Medical Academy*. 2010;34-8 (in Russian)].
3. Chen C, Liu Q, Hao Q, et al. Study of 320-slice dynamic volume CT perfusion in different pathologic types of kidney tumor: preliminary results. *PLoS One*. 2014;9:e85522. DOI:10.1371/journal.pone.0085522
4. Grenier N, Cornelis F, Le Bras Y, et al. Perfusion imaging in renal diseases. *Diagn Interv Imaging*. 2013;94:1313-22. DOI:10.1016/j.diii.2013.08.018
5. Belyayeva M, Leslie SW, Jeong JM. Acute Pyelonephritis. StatPearls, Treasure Island (FL): StatPearls Publishing, 2025.
6. Yoo JM, Koh JS, Han CH, et al. Diagnosing Acute Pyelonephritis with CT, 99mTc-DMSA SPECT, and Doppler Ultrasound: A Comparative Study. *Korean J Urol*. 2010;51:260-5. DOI:10.4111/kju.2010.51.4.260
7. Anfigeno L, La Valle A, Castagnola E, et al. Diffusion-weighted MRI in the identification of renal parenchymal involvement in children with a first episode of febrile urinary tract infection. *Front Radiol*. 2024;4. DOI:10.3389/fradi.2024.1452902
8. Majd M, Nussbaum Blask AR, Markle BM, et al. Acute pyelonephritis: comparison of diagnosis with 99mTc-DMSA, SPECT, spiral CT, MR imaging, and power Doppler US in an experimental pig model. *Radiology*. 2001;218:101-8. DOI:10.1148/radiology.218.1.r01ja37101
9. Rathod SB, Kumbhar SS, Nanivadekar A, Aman K. Role of diffusion-weighted MRI in acute pyelonephritis: a prospective study. *Acta Radiol Stockh Swed*. 1987;2015;56:244-9. DOI:10.1177/0284185114520862
10. Piscaglia F, Nolsøe C, Dietrich CF, et al. The EFSUMB Guidelines and Recommendations on the Clinical Practice of Contrast Enhanced Ultrasound (CEUS): update 2011 on non-hepatic applications. *Ultraschall Med Stuttg Ger*. 1980;2012;33:33-59. DOI:10.1055/s-0031-1281676
11. Mitterberger M, Pinggera GM, Colleselli D, et al. Acute pyelonephritis: comparison of diagnosis with computed tomography and contrast-enhanced ultrasonography. *BJU Int*. 2008;101:341-4. DOI:10.1111/j.1464-410X.2007.07280.x
12. Granata A, Andrulli S, Fiorini F, et al. Diagnosis of acute pyelonephritis by contrast-enhanced ultrasonography in kidney transplant patients. *Nephrol Dial Transplant*. 2011;26:715-20. DOI:10.1093/ndt/gfq417
13. Boccataonda A, Stupia R, Serra C. Ultrasound, contrast-enhanced ultrasound and pyelonephritis: A narrative review. *World J Nephrol*. 2024;13:98300. DOI:10.5527/wjn.v13.i3.98300
14. Jung HJ, Choi MH, Pai KS, Kim HG. Diagnostic performance of contrast-enhanced ultrasound for acute pyelonephritis in children. *Sci Rep*. 2020;10:10715. DOI:10.1038/s41598-020-67713-z
15. Yu J, Sri-Ganeshan M, Smit DV, Mitra B. Ultrasound for acute pyelonephritis: a systematic review and meta-analysis. *Intern Med J*. 2024;54:1106-18. DOI:10.1111/imj.16347
16. Hultborn R, Weiss L, Tveit E, et al. Ex Vivo Vascular Imaging and Perfusion Studies of Normal Kidney and Tumor Vasculature. *Cancers*. 2024;16:1939. DOI:10.3390/cancers16101939
17. Fan AC, Sundaram V, Kino A, et al. Early Changes in CT Perfusion Parameters: Primary Renal Carcinoma Versus Metastases After Treatment with Targeted Therapy. *Cancers*. 2019;11:608. DOI:10.3390/cancers11050608
18. Das CJ, Thingujam U, Panda A, et al. Perfusion computed tomography in renal cell carcinoma. *World J Radiol*. 2015;7:170-9. DOI:10.4329/wjr.v7.i7.170
19. Fischer K, Meral FC, Zhang Y, et al. High-resolution renal perfusion mapping using contrast-enhanced ultrasound in ischemia-reperfusion injury monitors changes in renal microperfusion. *Kidney Int*. 2016;89:1388-98. DOI:10.1016/j.kint.2016.02.004
20. Helck A, Schönermarck U, Habicht A, et al. Determination of split renal function using dynamic CT-angiography: preliminary results. *PLoS One*. 2014;9:e91774. DOI:10.1371/journal.pone.0091774
21. Александрова К.А., Серова (Панасенко) Н.С., Руденко В.И., и др. Клиническое значение КТ-перфузии у пациентов с камнями мочеточника. *Урология*. 2019;38-43 [Aleksandrova KA, Serova (Panassenko) NS, Rudenko VI, et al. Clinical significance of CT perfusion in patients with ureteral stones. *Urology*. 2019;38-43 (in Russian)]. DOI:10.18565/urology.2019.5.38-43.
22. Belyayeva K, Rudenko V, Serova N, et al. Kidney computed tomography perfusion in patients with ureteral obstruction. *Urologia* 2024;91:486-93. DOI:10.1177/03915603241244935
23. Александрова К.А., Серова (Панасенко) Н.С., Руденко В.И., Капанадзе Л.Б. Оценка перфузии почек у больных мочекаменной болезнью с помощью методов лучевой диагностики. *Российский электронный журнал лучевой диагностики*. 2018;8:208-19 [Aleksandrova KA, Serova (Panassenko) NS, Rudenko VI, Kapanadze LB. Assessment of renal perfusion in patients with urolithiasis using radiological diagnostic methods. *Russian Electronic Journal of Radiation Diagnostics*. 2018;8:208-19 (in Russian)]. DOI:10.21569/2222-7415-2018-8-4-208-219

24. Helck A, Wessely M, Notohamiprodjo M, et al. CT perfusion technique for assessment of early kidney allograft dysfunction: preliminary results. *Eur Radiol.* 2013;23:2475-81. DOI:10.1007/s00330-013-2862-6
25. Ahn H-S, Yu HC, Kwak HS, Park S-H. Assessment of Renal Perfusion in Transplanted Kidney Patients Using Pseudo-Continuous Arterial Spin Labeling with Multiple Post-Labeling Delays. *Eur J Radiol.* 2020;130:109200. DOI:10.1016/j.ejrad.2020.109200
26. Mulayamkuzhiyil Saju J, Leslie SW. Renal Infarction. StatPearls, Treasure Island (FL): StatPearls Publishing, 2025.
27. He Y, Hu Y, Tian L, et al. Acute Renal Infarction Due to Symptomatic Isolated Spontaneous Renal Artery Dissection: A Rare and Fatal Disease. *J Endovasc Ther Off J Int Soc Endovasc Spec.* 2025;32:130-8. DOI:10.1177/15266028231168352
28. Архипов Е.В., Сигитова (Горбунова) О.Н., Богданова (Шагаева) А.Р. Современные рекомендации по диагностике и лечению пиелонефрита с позиции доказательной медицины. *Вестник современной клинической медицины.* 2015;8:115-20 [Arkhipov EV, Sigitova (Gorbunova) ON, Bogdanova (Shagaeva) AR. Modern recommendations for the diagnosis and treatment of pyelonephritis from the standpoint of evidence-based medicine. *Bulletin of Modern Clinical Medicine.* 2015;8:115-20 (in Russian)].
29. Алферов С.М., Левицкий С.А., Крючкова О.В. Срочная мультиспиральная компьютерная томография у больных с почечной коликой и острым пиелонефритом. *Урологические ведомости.* 2016;6:11-2 [Alferov SM, Levitsky SA, Kryuchkova OV. Urgent multispiral computed tomography in patients with renal colic and acute pyelonephritis. *Urological Bulletin.* 2016;6:11-2 (in Russian)].
30. Бельчикова Н.С., Богданова Е.О., Голимбиевская Т.А., Макогонова М.Е. Возможности мультиспиральной компьютерной томографии в диагностике нарушения функции почек при остром пиелонефрите и обострении хронического пиелонефрита. *Медицинская визуализация.* 2009;41-51 [Belchikova NS, Bogdanova EO, Golimbievskaya TA, Makogonova ME. Possibilities of multispiral computed tomography in the diagnosis of renal dysfunction in acute pyelonephritis and exacerbation of chronic pyelonephritis. *Medical Imaging.* 2009;41-51 (in Russian)].
31. Venkatesh L, Hanumegowda RK. Acute Pyelonephritis – Correlation of Clinical Parameter with Radiological Imaging Abnormalities. *J Clin Diagn Res JCDR.* 2017;11:TC15-8. DOI:10.7860/JCDR/2017/27247.10033
32. Ананьев В.А., Павлов В.Н., Пушкарев А.М., Лубянский В.Г. Результаты органосохраняющего лечения острого гнойного пиелонефрита. *Урология.* 2024;37-44 [Ananiev VA, Pavlov VN, Pushkarev AM, Lubyansky VG. Results of organ-preserving treatment of acute purulent pyelonephritis. *Urology.* 2024;37-44 (in Russian)]. DOI:10.18565/urology.2024.6.37-44
33. Lacy ME, Sidhu N, Miller J. When does acute pyelonephritis require imaging? *Clev Clin J Med.* 2019;86:515. DOI:10.3949/ccjm.86a.18096
34. Obed M, Gabriel MM, Dumann E, et al. Risk of acute kidney injury after contrast-enhanced computerized tomography: a systematic review and meta-analysis of 21 propensity score-matched cohort studies. *Eur Radiol.* 2022;32:8432-42. DOI:10.1007/s00330-022-08916-y
35. Hertel A, Froelich MF, Overhoff D, et al. Radiomics-driven spectral profiling of six kidney stone types with monoenergetic CT reconstructions in photon-counting CT. *Eur Radiol.* 2024. DOI:10.1007/s00330-024-11262-w

**Статья поступила в редакцию / The article received: 12.03.2025**

**Статья принята к печати / The article approved for publication: 25.07.2025**



OMNIDOCTOR.RU