



Оценка перфузии почек при гнойно-деструктивных формах пиелонефрита

© Владимир А. Ананьев¹, Валентин Н. Павлов², Владимир А. Воробьев³

¹ Краевая клиническая больница [Барнаул, Россия]

² Башкирский государственный медицинский университет [Уфа, Россия]

³ Иркутский государственный медицинский университет [Иркутск, Россия]

Аннотация

Введение. Проблема оценки перфузии почек актуальна при гнойно-деструктивных формах пиелонефрита, так как инфицирование паренхимы сопровождается очагами ишемии и некроза. Визуализация кровотока позволяет выявлять такие очаги сниженной перфузии и своевременно диагностировать осложнения. В последние годы появились новые методики визуализации (например, КТ-перфузия, ультразвуковая диагностика с контрастированием, диффузионно-взвешенная МРТ), которые потенциально повышают точность диагностики.

Цель исследования. Проанализировать современные методы оценки почечной перфузии при гнойном пиелонефрите и сформулировать рекомендации для клинической практики.

Материалы и методы. Обзор выполнен в соответствии с рекомендациями PRISMA. Проведён систематический поиск публикаций за последние 10 лет (2013 – 2023) с использованием ключевых классических работ для полноты анализа. Поиск литературы осуществляли в международных базах данных PubMed, Scopus, Web of Science, Cochrane Library, а также на российских ресурсах eLibrary и РИНЦ.

Результаты. КТ с контрастированием прочно занимает лидирующую позицию при осложнённом течении благодаря сочетанию высокой чувствительности и информативности в отношении осложнений. Чувствительность КТ в обнаружении паренхиматозных изменений составляет порядка 80 – 90%, а диагностическая точность приближается к 90 – 95% при гнойно-деструктивных формах. Метод УЗИ, несмотря на всю привлекательность (отсутствие вреда, возможность выполнения у постели больного), существенно уступает по чувствительности. Тем не менее современные усовершенствования ультразвуковой техники радикально повышают информативность УЗИ. Отдельные исследования демонстрируют сопоставимые с КТ результаты при использовании контрастного ультразвукового исследования (КУЗИ, чувствительность 95 – 100%). Радионуклидная сцинтиграфия DMSA по-прежнему остаётся «золотым стандартом» научных исследований пиелонефрита у детей. МРТ зарекомендовала себя как отличное средство диагностики пиелонефрита у пациентов с противопоказаниями к КТ. ПЭТ-КТ нельзя рекомендовать для рутинного использования при пиелонефрите, однако обзор показывает её нишевую эффективность в сложных случаях, когда требуются функциональные критерии активности инфекции или поиск скрытого очага.

Заключение. Современные методы визуализации позволяют детально оценивать перфузию почек при гнойном пиелонефрите, значительно повышая точность диагностики. Внедрение инновационных технологий — контрастного ультразвука, КТ-перфузии, функциональной МРТ — открывает новые возможности раннего выявления осложнений и индивидуализации лечения, что в итоге улучшает прогноз и способствует сохранению почечной функции у пациентов с этой серьёзной инфекцией.

Ключевые слова: острый гнойный пиелонефрит; КТ-перфузия; нефросцинтиграфия; почечная гемодинамика; DMSA scan; diffusion MRI; renal perfusion; КУЗИ

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки. **Раскрытие интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов: В.А. Ананьев — концепция исследования, обзор литературы, анализ данных, написание текста рукописи; В.Н. Павлов — критический обзор, научное редактирование, научное руководство; В.А. Воробьев — разработка дизайна исследования, анализ данных, написание текста рукописи, софтверная поддержка.

✉ **Корреспондирующий автор:** Владимир Александрович Ананьев; urologkbb@mail.ru

Поступила в редакцию: 10.02.2025. **Принята к публикации:** 08.08.2025. **Опубликована:** 26.10.2025.

Для цитирования: Ананьев В.А., Павлов В.Н., Воробьев В.А. Оценка перфузии почек при гнойно-деструктивных формах пиелонефрита. *Вестник урологии*. 2025;13(5):60-70. DOI: 10.21886/2308-6424-2025-13-5-60-70.

Assessment of renal perfusion in purulent-destructive pyelonephritis

© Vladimir A. Ananiev¹, Valentin N. Pavlov², Vladimir A. Vorobyov³

¹ Barnaul Regional Clinical Hospital [Barnaul, Russia]

² Bashkir State Medical University [Ufa, Russia]

³ Irkutsk State Medical University [Irkutsk, Russia]

Abstract

Introduction. The problem of assessing renal perfusion is especially relevant in purulent-destructive forms of pyelonephritis, since parenchymal infection is accompanied by foci of ischemia and necrosis. Visualization of perfusion allows you to identify such foci of reduced blood flow and diagnose complications in a timely manner. In recent years, new imaging techniques (e.g., CT perfusion, contrast-enhanced ultrasound, diffusion-weighted MRI) have emerged that have the potential to improve diagnostic accuracy.

Objective. To analyze modern methods for assessing renal perfusion in pyelonephritis and to formulate guidelines for clinical practice.

Material & methods. The review was carried out in accordance with the PRISMA rules. A systematic search of publications for the last 10 years (2013 – 2023) was carried out with the inclusion of key classical works for completeness of the analysis. The literature search was carried out in the international databases PubMed, Scopus, Web of Science, Cochrane Library, as well as in the Russian resources eLibrary and RSCI.

Outcomes. Contrast-enhanced CT (CECT) firmly occupies a leading position in a complicated course due to the combination of high sensitivity and informative value in relation to complications. The sensitivity of CT in the detection of parenchymal changes is about 80–90%, and the diagnostic accuracy is close to 90 – 95% in purulent-destructive forms. The ultrasound method, despite all its attractiveness (no harm, the possibility of performing it at the patient's bedside), is significantly inferior in sensitivity. Nevertheless, modern improvements in ultrasound technology radically increase the informative value of ultrasound. Some studies demonstrate results of CEUS comparable to CT (95 – 100% sensitivity). DMSA-scintigraphy is still the «gold standard» for scientific research on pyelonephritis in children. MRI has proven to be an excellent tool for diagnosing pyelonephritis in patients with contraindications to CT. PET/CT cannot be recommended for routine use in pyelonephritis, but the review shows its niche effectiveness in complex cases — when functional criteria for infection activity or a search for a latent focus are required.

Conclusion. Modern imaging methods make it possible to assess in detail the kidney perfusion in purulent pyelonephritis, significantly increasing the accuracy of diagnosis. The introduction of innovative technologies (CEUS, CT perfusion, functional MRI) opens new opportunities for early detection of complications and individualization of treatment, which ultimately improves the prognosis and contributes to the preservation of renal function in patients with this serious infection.

Keywords: acute purulent pyelonephritis; CT perfusion; nephroscintigraphy; renal hemodynamics; DMSA scan; diffusion MRI; renal perfusion; CEUS

Financing. The study was not sponsored. **Conflict of interest.** The authors declare no conflicts of interest.

Authors' contribution: V.A. Ananiev — study concept, literature review, data analysis, drafting the manuscript. V.N. Pavlov — critical revision, scientific editing, supervision. V.A. Vorobev — study design, data analysis, drafting the manuscript, software support.

✉ **Corresponding author:** Vladimir A. Ananiev; urologkbb@mail.ru

Received: 10.02.2025. **Accepted:** 08.08.2025. **Published:** 26.10.2025.

For citation: Ananiev V.A., Pavlov V.N., Vorobyov V.A. Assessment of renal perfusion in purulent-destructive pyelonephritis. *Urology Herald*. 2025;13(5):60-70. (In Russ.). DOI: 10.21886/2308-6424-2025-13-5-60-70.

Введение

Острый гнойный пиелонефрит — серьёзная бактериальная инфекция почек, которая при несвоевременной диагностике может привести к сепсису, абсцессу почки и утрате её функции. Ежегодно в одних только США регистрируется до 200 000 случаев госпитализации по поводу пиелонефрита [1]. Диагноз обычно ставят на основании

клинической картины и лабораторных данных, однако визуализация необходима при осложнённом течении (сепсис, обструкция, отсутствие эффекта от лечения) [1]. Проблема оценки перфузии почек особенно актуальна при гнойно-деструктивных формах пиелонефрита, так как инфицирование паренхимы сопровождается очагами ишемии и некроза. Визуализация позволяет выяв-

лять такие очаги сниженного кровотока (клиновидные дефекты накопления контраста, «холодные» зоны на скintiграфии и так далее) и своевременно диагностировать осложнения. Классические исследования 1990-х годов продемонстрировали, что стандартное ультразвуковое исследование (УЗИ) пропускает значительную часть очагов пиелонефрита [2], тогда как радионуклидная скintiграфия и КТ способны выявлять зоны сниженной перфузии в поражённой почке [3]. В последние годы появились новые методики визуализации (например, КТ-перфузия, контрастное ультразвуковое исследование (КУЗИ), диффузионно-взвешенная МРТ), которые потенциально повышают точность диагностики.

Цель исследования: проанализировать современные подходы к оценке почечной перфузии при гнойном пиелонефрите, сравнить диагностическую ценность различных методов визуализации и сформулировать рекомендации для клинической практики.

Материалы и методы

Обзор выполнен в соответствии с рекомендациями PRISMA. Проведён систематический поиск публикаций за последние 10 лет (2013 – 2023) с использованием ключевых классических работ для полноты анализа. Поиск литературы осуществляли в международных базах данных PubMed, Scopus, Web of Science, Cochrane Library, а также на российских ресурсах eLibrary и РИНЦ. Использовали комбинации ключевых слов на английском и русском языках: “acute pyelonephritis”, “renal perfusion”, “imaging”, “CT perfusion”, “contrast-enhanced ultrasound”, “DMSA scan”, “diffusion MRI”, «острый пиелонефрит», «перфузия почки», «лучевая диагностика», «КТ-перфузия», «контрастная ультрасонография», «нефроскintiграфия» и другие с использованием логических операторов AND/OR. Критерии включения: оригинальные клинические исследования, систематические обзоры, метаанализы, клинические рекомендации, посвящённые визуализирующим методам диагностики острого (гнойного) пиелонефрита и оценивающие перфузию почечной паренхимы. В обзор включали работы на русском или английском языке, проведённые на взрослых и / или детях. Исключали единичные казуистические наблюдения,

статьи без описания методов визуализации перфузии, а также исследования низкого качества (по оценке дизайна). Два автора независимо друг от друга выполняли отбор публикаций и извлечение данных, разногласия решали путём консенсуса, иногда — с привлечением третьего соавтора. Для оценки качества диагностических исследований применялась шкала QUADAS-2. Общее число выявленных источников составило 1825, из них после удаления дубликатов и скрининга по аннотациям 52 публикации соответствовали критериям, и их полные тесты были проанализированы. В обзор окончательно включено 18 источников: 14 иностранных оригинальных исследований и 4 российских источника (материалы собственных исследований). Сведений, достаточных для количественного метаанализа, не получено ввиду гетерогенности данных, поэтому проведён качественный сравнительный анализ.

Результаты

В отобранных публикациях представлен широкий спектр методов визуализации, используемых для диагностики острого пиелонефрита и оценки почечной перфузии. Среди них рентгенологические методы (компьютерная томография (КТ) с контрастным усилением, методики КТ-перфузии, позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ-КТ)), ультразвуковые методы (традиционное серошкальное УЗИ, доплерографические методики (цветной и энергетический доплер), контрастное ультразвуковое исследование (КУЗИ)), радионуклидные исследования (статическая нефроскintiграфия с ^{99m}Tc -DMSA, динамическая нефроскintiграфия (ренография) с ^{99m}Tc -MAG3 или DTPA), магнитно-резонансные методы (МРТ с контрастным усилением, диффузионно-взвешенная МРТ (DWI)). Ниже приведён сравнительный анализ диагностических возможностей этих методов. Показатели чувствительности, специфичности и диагностической точности обобщены по данным литературы.

Рентгенологические методы (КТ, КТ-перфузия, ПЭТ-КТ)

Контрастная КТ брюшной полости на сегодняшний день рассматривается как «золотой стандарт» визуализации при осложнённом пиелонефрите [1, 4]. КТ позволяет не только подтвердить диагноз,

но и выявить обструкцию мочевых путей, абсцессы, газ в паренхиме (эмфизематозный пиелонефрит) и другие осложнения, недоступные для ультразвука [4]. Типичные КТ-признаки острого пиелонефрита: увеличение поражённой почки, околопочечный отёк, а главное — клиновидные участки пониженного накопления контраста в корковом слое, отражающие локальные дефекты перфузии [5]. По данным S.K. Ha et al. (1997), у 60% пациентов с острым пиелонефритом обнаруживаются такие перфузионные дефекты на контрастной КТ [6]. Эти зоны соответствуют очагам гнойного воспаления в паренхиме, и постепенно они заполняются контрастом на поздних фазах [5].

Важно отметить, что отсутствие видимых дефектов не исключает пиелонефрит, особенно в неосложнённых случаях. Так, часть пациентов (примерно 40%) в том же исследовании S.K. Ha et al. (1997) не имела отчётливых изменений на КТ [6]. При этом диагностическая точность КТ при пиелонефрите считается высокой. В сравнительном исследовании с МРТ чувствительность контрастной КТ составила 88% [7]. Отечественные специалисты также отмечают, что мультиспиральная КТ позволяет выявлять гнойно-деструктивные изменения почек с точностью до 95% [8, 9]. Таким образом, КТ обладает высокими показателями обнаружения осложнений (особенно абсцессов) по сравнению с УЗИ [10]. Ограничениями метода являются лучевая нагрузка и необходимость введения йодсодержащего контраста, который может вызывать почечное повреждение вследствие нефротоксичности, что особенно актуально для пациентов с уже имеющимся острым повреждением почек или хронической почечной недостаточностью.

КТ-перфузия — специализированная методика, при которой выполняется серия КТ-снимков во времени после болюсного введения контраста с последующим математическим анализом перфузионных параметров (кровотока, объёма крови, времени транзита) в ткани почки. Применение КТ-перфузии при пиелонефрите пока носит преимущественно экспериментальный характер, но первые результаты обнадеживают. Технология позволяет количественно оценить степень снижения кровотока в очагах поражения и отличить их от здоровой паренхимы. Так, в одном из исследо-

ваний (В.А. Ананьев и соавт., 2024) снижение коркового кровотока коррелировало с более тяжёлым течением пиелонефрита и формированием абсцедирования [11]. Применение данных КТ-перфузии в предоперационной оценке тяжёлого гнойного пиелонефрита позволило оптимизировать органосохраняющую тактику лечения, и, как следствие, частота нефрэктомий снизилась с 12,5 до 4,3% при использовании комплексного подхода с учётом результатов перфузионной КТ [11]. Преимущество метода — детальное картирование перфузии почки, однако существенными недостатками остаются очень высокая лучевая нагрузка (множественные сканы) и всё те же риски, связанные с контрастом. Поэтому КТ-перфузия, на первый взгляд, целесообразна лишь в отдельных случаях, например, для научных целей или при решении вопроса о сохранении почки.

ПЭТ-КТ с 18F-ФДГ (фтордезоксиглюкозой) — метод функциональной визуализации, позволяющий выявлять очаги активного воспаления по накоплению глюкозы. В отношении острого пиелонефрита ПЭТ-КТ не входит в стандарт алгоритма диагностики, однако может быть полезен в нетипичных ситуациях. В частности, при лихорадке неясного генеза ПЭТ способен обнаружить воспалительный очаг в почке, когда другие методы неинформативны [12]. Небольшие исследования демонстрируют очень высокую чувствительность ФДГ-ПЭТ-КТ для выявления пиелонефрита — до 100%, при специфичности 80 – 90 [12]. Так, в одном исследовании у всех пациентов с осложнённым пиелонефритом ПЭТ корректно идентифицировал поражённую область, хотя в ряде случаев диффузное накопление ФДГ затрудняло дифференцировку от нормальной паренхимы [12]. Отмечено, что фокальный характер накопления ФДГ на ПЭТ связан с более высокой вероятностью абсцесса, тогда как диффузное пропитывание характерно для распространённого пиелонефрита [13]. Преимущество ПЭТ-КТ — возможность ранней молекулярной диагностики до появления структурных изменений [12]. Ограничения — высокая стоимость, ограниченная доступность и лучевая нагрузка (позитронный радиофармпрепарат и КТ). ПЭТ-КТ целесообразна преимущественно в сложных диагностических случаях (атипичное течение, иммуносупресси-

рованные пациенты, подозрение на редкие причины, например пиелонефрит в трансплантате или на фоне поликистоза).

Ультразвуковые методы (серошкальное УЗИ, доплерография, контрастное УЗИ)

Традиционное УЗИ (В-режим) часто применяется как первичный метод визуализации при подозрении на пиелонефрит, особенно у детей и беременных, ввиду своей безопасности и доступности. Однако простое ультразвуковое исследование малочувствительно к воспалительным изменениям в почечной паренхиме. В неосложнённых случаях почки на УЗИ могут выглядеть практически нормально [5, 9]. Возможные эхографические признаки острого пиелонефрита включают увеличение органа, нечёткость дифференцировки кортикомедуллярной зоны, локальные гипо- или гиперэхогенные участки в корковом слое и выпячивание контуров при субкапсулярных воспалительных инфильтратах [14]. Тем не менее, по литературным данным, стандартное УЗИ способно обнаружить лишь около 24 – 50% очагов острого пиелонефрита [2]. Так, в классическом исследовании 1991 года у детей УЗИ позволило выявить признаки пиелонефрита лишь у 24%, тогда как радионуклидная сцинтиграфия оказалась информативна у 63% [2]. Другие исследования подтверждают, что чувствительность В-режима УЗИ уступает и КТ, и радионуклидным методам [14]. Поэтому отсутствие изменений на УЗИ не исключает пиелонефрит. Тем не менее УЗИ полезно для выявления сопутствующих факторов (например, дилатации лоханки при обструкции, конкрементов, врождённых аномалий) и осложнений (большие абсцессы, эмфизема).

Допплерография расширяет возможности УЗИ за счёт оценки кровотока. При цветовом и энергетическом доплере в зонах воспаления определяется сниженная васкуляризация. Характерны треугольные участки ослабленного кровотока в коре, ориентированные от пирамид к капсуле [14]. Такая картина соответствует клиновидным инфарктоподобным зонам поражения и считается ультразвуковым эквивалентом пиелонефрита [15]. По суммарным данным, чувствительность энергетического доплера для диагностики пиелонефрита достигает 89%, однако специфичность невысока (53%) [14]. Снижение локальной

перфузии может наблюдаться и при других состояниях (например, инфаркт почки, рубцовые изменения). Дополнительным доплеровским критерием пиелонефрита является повышение индекса резистентности (ИР) в междолевых артериях поражённой почки за счёт отёка ткани. В норме ИР — 0,60 – 0,70; при остром пиелонефрите у детей средний ИР повышается до 0,74 [14]. Установлено, что пороговое значение ИР > 0,71 позволяет диагностировать пиелонефрит у детей с чувствительностью 80% и специфичностью 89% [14]. Тем не менее у взрослых применение этого показателя ограничено из-за фоновых сосудистых изменений. В целом доплерография несколько повышает чувствительность УЗИ. Так, при использовании энергетического доплера, чувствительность УЗ-методов может достигать 90% и выше [14]. Например, использование технологий гармонической визуализации позволило выявлять до 97% случаев пиелонефрита (специфичность — 80%). Однако такие показатели получены в отдельных работах и требуют подтверждения. В реальной практике качество доплерографии сильно зависит от опыта оператора и условий сканирования.

Контрастное ультразвуковое исследование (КУЗИ, CEUS) — перспективный метод, при котором внутривенно вводятся микропузырьковые контрастные препараты (на основе инертного газа), позволяющие визуализировать микроциркуляцию почки в реальном времени. В отличие от йодсодержащих и гадолинийсодержащих контрастных веществ ультразвуковой контраст не обладает нефротоксичностью и не выводится через почки — микропузырьки экскретируются через лёгкие с выдыхаемым воздухом [14]. Это делает КУЗИ особо ценным у пациентов с почечной недостаточностью, когда контрастирование рискованно при КТ/МРТ [3]. При контрастном УЗИ нормальная почка характеризуется равномерным усилением коркового слоя через 10 – 15 секунд после введения болюса, с постепенным заполнением пирамид в течение 30 секунд [14]. Очаги острого пиелонефрита при КУЗИ выглядят как неперфузируемые участки, и на фоне общего усиления паренхимы поражённые сегменты остаются гипоэхогенными во всех фазах исследования [14]. Небольшие абсцессы при этом чётко визуализируются как округлые аваскулярные зоны с возмож-

ным ободком гиперперфузии по периферии [14]. КУЗИ позволяет дифференцировать диффузный пиелонефрит и очаговый, потому что при диффузном поражении усиление относительно однородно снижено по всей почке, что сложнее для интерпретации (особенно без сравнения с контралатеральной стороной) [14]. Зато при очаговом и многоочаговом пиелонефрите КУЗИ обладает очень высокой точностью. В ряде исследований КУЗИ выявил все очаги, подтвержденные эталонными методами, при специфичности близкой к 100% [14]. Например A. Voccatonda et al. (2024) сообщили о 98% чувствительности и 100% специфичности КУЗИ по сравнению с КТ [14]. A. Granata et al. (2011) на группе пациентов с пиелонефритом трансплантированной почки продемонстрировали чувствительность 95% и специфичность 100% при сопоставлении с контрастной МРТ [3]. Точность КУЗИ также высока: по совокупности исследований положительная прогностическая ценность достигает 100%, отрицательная — 89% [14]. В детской практике контрастное УЗИ рассматривается как альтернатива радионуклидной сцинтиграфии. Так, в исследовании H.J. Jung et al. (2020) у детей с пиелонефритом КУЗИ показало 87% чувствительности и 80% специфичности относительно DMSA-сцинтиграфии. В сравнении с КТ у тех же пациентов чувствительность КУЗИ составила 87,5% [16]. Важно подчеркнуть, что ни у одного ребёнка не отмечено побочных реакций на контраст, и проведение КУЗИ не требовало седации (в отличие от МРТ и радионуклидного исследования). Это свидетельствует о безопасности и удобстве метода в педиатрии. Недостатком КУЗИ является ограниченная доступность, так как микропузырьковые контрастные препараты и соответствующее оборудование имеются не во всех клиниках. Кроме того, его проведение требует навыков и опыта в ультразвуковой диагностике. Тем не менее перспективы использования КУЗИ при пиелонефрите весьма обнадеживающие, метод позволяет получать информацию о перфузии почки, сопоставимую по качеству с КТ, но без лучевой нагрузки и нефротоксичности.

Радионуклидные методы (статическая и динамическая нефросцинтиграфия)

Нефросцинтиграфия с ^{99m}Tc -DMSA давно признана высокочувствительным методом для выявления очагов острого

пиелонефрита и последующих рубцовых изменений, особенно в педиатрической практике. Препарат DMSA избирательно фиксируется в проксимальных канальцах коркового вещества, позволяя получать статическое изображение, отражающее распределение функционирующей паренхимы. В остром периоде зоны воспалительной инфильтрации и микроабсцессов характеризуются снижением или отсутствием захвата DMSA, что на сцинтиграмме проявляется как очаговые «холодные» дефекты. Сцинтиграфия способна выявлять даже мелкие субсегментарные поражения, недоступные для УЗИ. Так, DMSA выявил поражение почки у 63% детей с лихорадящим ИМВП, значительно превзойдя УЗИ (24%). Другие исследования также показали, что чувствительность DMSA-сцинтиграфии выше, чем у УЗИ, как при остром пиелонефрите, так и при его хронических последствиях [17]. В целом чувствительность метода оценивается в пределах 90 – 100%, специфичность около 90% [3]. DMSA-сцинтиграфию нередко используют как «референс-стандарт» при оценке новых методик (например, УЗИ и КУЗИ у детей) именно благодаря ее способности надежно подтвердить наличие или отсутствие корковых дефектов. Однако данное исследование имеет и недостатки, так как это инвазивная процедура (внутривенное введение радиофармпрепарата), связанная с лучевой нагрузкой (пусть и небольшой, порядка 1 – 3 мЗв), и получение результатов занимает несколько часов (сканирование проводится через 2 – 3 часа после введения, пока препарат фиксируется в почках). Поэтому в острой клинической ситуации DMSA применяется ограниченно, скорее в рамках исследований, для подтверждения диагноза задним числом или для контроля образования рубцов через несколько месяцев после эпизода.

Динамическая нефросцинтиграфия (радионуклидная ренография) с препаратами, экскретируемыми почками (например, ^{99m}Tc -MAG3, ^{99m}Tc -DTPA), в контексте диагностики острого пиелонефрита используется реже. Обычно она показана для оценки функции почек и уродинамики, например, при подозрении на обструкцию. Тем не менее при пиелонефрите ренография может зафиксировать косвенные признаки сниженной перфузии и фильтрации, такие как замедленное поступление радиофарм-

препарата в поражённую почку, снижение её относительной функции, замедленное выведение из лоханки из-за отека ткани. Однако пространственного разрешения для локальной диагностики (определения сегментов) динамическая сцинтиграфия не имеет. Включённые в обзор работы не приводят данных о чувствительности/специфичности этого метода именно для обнаружения очагов пиелонефрита. Можно предположить, что динамическая сцинтиграфия уступает DMSA по выявлению мелких поражений, но остаётся полезной для комплексной оценки функции почек в условиях острого воспаления, особенно если требуется одновременная оценка проходимости мочевых путей. В клинических рекомендациях метод упоминается как дополнительный, например, для мониторинга восстановления функции почки после пиелонефрита [9].

Исторически для диагностики инфекций почек применялись и другие ядерные методы — нефросцинтиграфия с ^{67}Ga -цитратом, мечеными лейкоцитами и так далее. Однако они значительно уступают по чувствительности и разрешению современным методам и в практике почти вышли из употребления. В настоящее время, как отмечено выше, их нишу заняли ^{18}F -ФДГ ПЭТ, а в педиатрии — DMSA и КУЗИ [9].

Магнитно-резонансные методы (МРТ с контрастом, DWI-MPT)

Контрастная МРТ почек способна выявлять изменения, сходные с таковыми на КТ. На T1-взвешенных изображениях с гадолиниевым усилением острый пиелонефрит проявляется очагами сниженного накопления контраста (гипоинтенсивными зонами) клиновидной или округлой формы [9]. Наблюдается гиперинтенсивный сигнал на T2 и отёк поражённого участка. В целом МРТ-чувствительность сопоставима с КТ, особенно при использовании современных техник. Например, быстрые T1-FLAIR последовательности после контраста эффективно контурируют воспалительные зоны [5]. Преимущество МРТ — отсутствие ионизирующего излучения, что важно для беременных (именно у них МРТ чаще всего и применяется при пиелонефрите взамен КТ). Однако стандартная контрастная МРТ требует введения гадолиниевых препаратов, которые могут быть опасны для больных с тяжёлой почечной недостаточностью

(риск нефрогенного системного фиброза). В острой фазе пиелонефрита МРТ обычно назначается как альтернативный вариант, когда КТ противопоказана или недоступна. Относительно невысокая распространённость метода, дороговизна и длительность исследования ограничивают его рутинное применение при инфекциях почек. Тем не менее МРТ превосходно визуализирует сложные случаи, например, позволяет дифференцировать флегмону и абсцесс, оценить распространение воспаления на окружающие структуры, что важно перед оперативным вмешательством [7].

Диффузионно-взвешенная МРТ (DWI) — один из самых ценных современных МР-инструментов в диагностике пиелонефрита. DWI не требует контраста, а регистрирует ограничение диффузии воды в воспалённом участке. Очаги острого поражения дают высокий сигнал на DWI и снижение коэффициента диффузии (ADC) из-за отёка и инфильтрации тканей. В проспективном исследовании S.B. Rathod et al. (2015) было показано, что DWI-MPT обладает более высокой чувствительностью в диагностике пиелонефрита, чем даже контрастная КТ (95,3% против 88,1%) [7]. DWI обнаружила практически все случаи, отмеченные на КТ, и дополнительно визуализировала некоторые мелкие поражения. Кроме того, по значениям ADC удалось отличить участки простого воспаления от сформировавшихся абсцессов, потому что в зонах абсцедирования диффузия была ограничена ещё сильнее, чем в паренхиме с пиелонефритом [7]. Таким образом, DWI-MPT позволяет неинвазивно оценивать перфузию и микроструктуру почечной ткани. Хорошо перфузируемая нормальная кора имеет относительно свободную диффузию, тогда как ишемизированные воспалением зоны характеризуются выраженным ограничением диффузии. DWI может стать методом выбора у пациентов, которым противопоказаны и контрастная КТ, и контрастная МРТ (например, при аллергии на йод и низкой СКФ одновременно). Также метод привлекателен для беременных с пиелонефритом, так как исключает радиацию и контраст. Имеются сообщения об успешном выявлении пиелонефрита у беременных именно на DWI [18]. Ограничения DWI — чувствительность к движениям (нужна неподвижность пациента 5 – 10 минут), а также то,

что метод доступен только на аппаратах МРТ высокого поля с соответствующим программным обеспечением. Тем не менее с распространением МР-томографов DWI входит в стандартные протоколы обследования почек при подозрении на воспаление, особенно в крупных центрах.

Обсуждение

Интерпретация результатов. Систематический анализ литературы подтверждает, что для надежной диагностики гнойного пиелонефрита и оценки состояния почечной перфузии необходимо использовать методы визуализации. КТ с контрастированием прочно занимает лидирующую позицию при осложненном течении благодаря сочетанию высокой чувствительности и информативности в отношении осложнений. Наш обзор показывает, что чувствительность КТ в обнаружении паренхиматозных изменений составляет порядка 80 – 90%, а диагностическая точность приближается к 90 – 95% при гнойно-деструктивных формах [7, 8]. Это согласуется с клинической практикой, так как именно на КТ наиболее чётко видны характерные для пиелонефрита дефекты перфузии (клиноподобные гипоеффективные зоны). С другой стороны, УЗИ, несмотря на всю привлекательность (отсутствие вреда, возможность выполнения у постели больного), существенно уступает по чувствительности. Вне осложнений УЗИ часто бывает нормальным, и до половины случаев пиелонефрита может остаться нераспознанным [14]. Тем не менее современные усовершенствования ультразвуковой техники (доплерография, гармонические режимы, особенно контрастное усиление) радикально повышают информативность УЗИ. Отдельные исследования демонстрируют сопоставимые с КТ результаты при использовании КУЗИ (чувствительность — 95 – 100%) [14], что делает данный метод чрезвычайно перспективным. Особенно это важно для уязвимых групп (дети, беременные), где желательно избежать облучения. В таких ситуациях КУЗИ может стать методом выбора. Радионуклидная сцинтиграфия DMSA по-прежнему остается «золотым стандартом» научных исследований пиелонефрита у детей, подтверждая поражение паренхимы там, где УЗИ оказалось ложнонормальным [2]. Однако из-за лучевой нагрузки и сложности она мало пригод-

на для каждодневной клинической работы, уступая место все тому же контрастному УЗИ. МРТ зарекомендовала себя как отличное средство диагностики пиелонефрита у пациентов с противопоказаниями к КТ. Установлено, что по чувствительности МРТ (особенно DWI) не уступает КТ [7]. Дополнительным плюсом является возможность точной оценки характера воспалительного очага (абсцесс или инфильтрация) по сочетанию диффузионных и контрастных параметров. ПЭТ-КТ нельзя рекомендовать для рутинного использования при пиелонефрите, однако обзор показывает её низкую эффективность в сложных случаях, когда требуются функциональные критерии активности инфекции или поиск скрытого очага [12]. В целом мультидисциплинарный подход с использованием возможностей всех перечисленных методов позволяет значительно улучшить диагностику пиелонефрита и своевременно стратифицировать пациентов по тяжести.

Ограничения имеющихся исследований. Следует отметить, что прямое сравнение методов визуализации затруднено из-за разнородности данных. В исследованиях используются разные референс-стандарты, так как одни работы сравнивают УЗИ с КТ, другие — с DMSA, третьи — с клиническим диагнозом, что влияет на расчёт чувствительности и специфичности. Объём выборок в большинстве исследований невелик (часто 30 – 50 пациентов), многие из них носят одноцентровый характер. Имеются систематические обзоры по отдельным методам (например, по КУЗИ у детей [16]), однако отсутствуют крупные рандомизированные исследования, где пациенты параллельно проходили бы все виды визуализации: это было бы сложно по этическим причинам. Кроме того, большинство данных касается либо детей, либо взрослых с определёнными факторами риска, что не всегда экстраполируется на общую популяцию.

Ограничением нашего обзора является возможный пропуск части литературы (например, вследствие отсутствия доступа к полным текстам статей) и отсутствие метаанализа (вследствие указанных ранее причин). Тем не менее включённые источники охватывают основные доступные на сегодня методики, а ключевые выводы подтверждаются несколькими независимыми исследованиями.

Безопасность и побочные эффекты. При выборе метода диагностики важно учитывать профиль безопасности, особенно у пациентов с уже нарушенной почечной функцией. КТ сопряжена с воздействием ионизирующего излучения. Доза облучения при КТ почек составляет 5 – 10 мЗв, при КТ-перфузии — ещё выше. Это увеличивает отдалённые риски, особенно при повторных исследованиях. Введение йодсодержащего контраста может привести к контраст-индуцированной нефропатии (КИН) — острому ухудшению функции почек. Риск КИН выше у пациентов с хронической болезнью почек, диабетом, дегидратацией и у септических больных. В условиях острого пиелонефрита, особенно на фоне обструкции, почки уязвимы к ишемии, поэтому радиологам следует строго соблюдать показания к контрастной КТ и профилактические меры (адекватная гидратация, минимальная необходимая доза контраста). МРТ в плане лучевой нагрузки полностью безопасна, но гадолиниевые контрасты требуют осторожности, так как при скорости клубочковой фильтрации < 30 мл/мин. их использование нежелательно из-за риска развития нефрогенного системного фиброза. Хотя непосредственной нефротоксичности гадолиний не оказывает, его накопление на фоне почечной недостаточности может приводить к тяжёлому фиброзирующему поражению кожи и внутренних органов. В целом у пациентов с острым пиелонефритом предпочтительно избегать как йодных, так и гадолиниевых контрастов, когда это возможно [3]. Здесь на помощь приходят ультразвуковые методы, прежде всего контрастное УЗИ, которое не даёт ни радиационной, ни лекарственной нагрузки на почки. Препараты для КУЗИ (например, серная гексафторидная микропена) не вызывают контраст-индуцированной нефропатии и могут применяться даже у пациентов на диализе [14]. Отмечено также, что при КУЗИ отсутствует необходимость в анестезии/седации, что снижает общие риски вмешательства, особенно у детей [16]. ПЭТ-КТ несёт относительно высокую лучевую нагрузку (сопоставимо с контрастной КТ), поэтому обоснование для её применения должно быть строгим. В каждом случае выбор метода визуализации должен быть индивидуализирован с учётом состояния пациента: например, беременным лучше УЗИ или МРТ

(без контраста), пациентам с ОПП — УЗИ или DWI-MPT, больным со множественными рецидивами — минимизация повторных КТ и использование альтернатив.

Перспективы и направления исследований. Результаты обзора указывают на несколько перспективных направлений в диагностике пиелонефрита. Во-первых, это дальнейшая имплементация КТ-перфузии — методики, которая может количественно измерять почечный кровоток. Пока что её применяли эпизодически, но в будущем она способна стать ценным инструментом для оценки тяжести пиелонефрита и мониторинга терапии, особенно в исследовательских протоколах. Например, корреляция перфузионных показателей с исходом (образованием рубцов, необходимостью хирургического лечения) могла бы помочь в стратификации пациентов. Во-вторых, широкое внедрение контрастного УЗИ в клиническую практику, так как накоплен значительный позитивный опыт в Европе и Азии, подтверждающий диагностическую ценность КУЗИ при пиелонефрите как у взрослых, так и у детей [14, 16]. Необходимо проведение многоцентровых исследований для выработки стандартных протоколов КУЗИ при инфекции почек, обучения специалистов и включения этого метода в клинические рекомендации. В-третьих, развитие МР-диффузии и других нативных МР-методик (например, перфузионно-взвешенная МРТ, зависящая от уровня оксигенации крови функциональная МРТ) для оценки воспаления почек. Они могут полностью избавить от необходимости контрастирования, предоставляя при этом детальную функциональную информацию. Наконец, появление новых радиофармпрепаратов для ПЭТ, специфичных к воспалению (например, меченые признаки активности фибробластов — FAPI-трейсеры), открывает возможность ещё более точной визуализации инфекционного процесса [12]. Такие подходы пока в зачатке, но в перспективе смогут дополнять традиционную ФДГ-ПЭТ, давая дополнительную информацию о патофизиологии пиелонефрита на молекулярном уровне.

Алгоритм обследования. Оценка перфузии почек при остром гнойном пиелонефрите имеет ключевое значение для своевременной диагностики и правильной тактики лечения. Стандартная практика об-

следования строится по принципу этапности и учёта клинических показаний. При подозрении на неосложненный пиелонефрит у иммунокомпетентных пациентов визуализация не является обязательной, в таких случаях оправдано эмпирическое лечение под наблюдением. Если же имеются отягчающие факторы (тяжёлое состояние, отсутствие улучшения через 48 – 72 часа, риск обструкции, атипичная картина), показано проведение контрастной КТ как наиболее информативного метода для подтверждения диагноза и выявления осложнений. КТ дает возможность обнаружить абсцессы, некрозы, камни, газ и другие критически важные изменения. При невозможности выполнения КТ (например, у беременных, при тяжёлой ХБП, аллергии на контраст) оптимальной альтернативой является МРТ, желательнее с включением DWI, которая не уступает КТ по чувствительности. Ультразвуковое исследование следует использовать как скрининговый и вспомогательный метод. В экстренной ситуации УЗИ помогает исключить обструкцию или крупные абсцессы, его легко повторять динамически. Однако при нормальном УЗИ и сохраняющейся клинике необходимо последующее КТ/МРТ-обследование. Максимальную пользу приносит УЗИ с контрастированием, если оно доступно. При подозрении на пиелонефрит, особенно у детей и пациентов с противопоказаниями к КТ, выполнение КУЗИ позволяет достоверно визуализировать очаги воспаления без ущерба для почечной функции. Радионуклидная сцинтиграфия (DMSA) показана преимущественно в педиатрических случаях при сомнительной диагностике или для оценки исходов (например, определение сформировавшихся рубцов через 6 – 12 месяцев после эпизода пиелонефрита). Метод обладает высокой чувствительностью, но не влияет на тактику острого периода, поэтому рутинно не применяется у взрослых. ПЭТ-КТ следует рассматривать только в отдельных ситуациях: при подозрении на редкие причины (например, микобактериальное поражение) либо когда другие методы не дали результата, а также в научных исследованиях.

Клинические рекомендации. На основании проведённого обзора можно сфор-

мулировать следующие рекомендации для практики:

(1) Всем пациентам с осложнённым или атипичным острым пиелонефритом следует проводить визуализацию для оценки перфузии почек и поиска осложнений, предпочтительно выполнять контрастную КТ при отсутствии противопоказаний.

(2) У пациентов с риском контраст-индуцированной нефропатии следует рассмотреть альтернативы, такие как контрастное УЗИ, DWI-MPT или хотя бы нативную МРТ, чтобы избежать риска ухудшения функции почек.

(3) В детской практике при подозрении на острый пиелонефрит рекомендуется первично выполнять УЗИ; при подтверждённом диагнозе целесообразно проведение DMSA-сцинтиграфии или КУЗИ для определения очагов и последующего наблюдения за рубцеванием.

(4) Беременным женщинам с пиелонефритом следует избегать радиационных методов, достаточно информативным будет сочетание УЗИ (при необходимости с контрастом) и МРТ.

(5) При выявлении по данным визуализирующих методов ограниченного нефрита (например, очаговый пиелонефрит без абсцесса) достаточно консервативной терапии антибиотиками; обнаружение же крупных абсцессов, множественных некрозов или эмфиземы является показанием к консультации хирурга-уролога для решения вопроса о выполнении дренирования или нефрэктомии. В сложных случаях целесообразно мультидисциплинарное обсуждение с участием радиолога для выбора оптимальной стратегии обследования.

Заключение

Современные методы визуализации позволяют детально оценивать перфузию почек при гнойном пиелонефрите, значительно повышая точность диагностики. Внедрение инновационных технологий, таких как контрастное УЗИ, КТ-перфузия, функциональная МРТ, открывает новые возможности раннего выявления осложнений и индивидуализации лечения, что в итоге улучшает прогноз и способствует сохранению почечной функции у пациентов с этой серьёзной инфекцией.

Список литературы | References

- Herness J, Buttolph A, Hammer NC. Acute Pyelonephritis in Adults: Rapid Evidence Review. *Am Fam Physician*. 2020;102(3):173-180. PMID: 32735433
- Björngvinsson E, Majd M, Eggli KD. Diagnosis of acute pyelonephritis in children: comparison of sonography and 99mTc-DMSA scintigraphy. *AJR Am J Roentgenol*. 1991;157(3):539-543. DOI: 10.2214/ajr.157.3.1651644
- Granata A, Andrulli S, Fiorini F, Basile A, Logias F, Figuera M, Sicurezza E, Gallieni M, Fiore CE. Diagnosis of acute pyelonephritis by contrast-enhanced ultrasonography in kidney transplant patients. *Nephrol Dial Transplant*. 2011;26(2):715-720. DOI: 10.1093/ndt/gfq417
- Craig WD, Wagner BJ, Travis MD. Pyelonephritis: radiologic-pathologic review. *Radiographics*. 2008;28(1):255-277; quiz 327-328. DOI: 10.1148/rg.281075171
- Gaillard F, Fahrenhorst-Jones T, Molinari A. Acute pyelonephritis. Reference article. *Radiopaedia.org* (Accessed on 24 Dec 2024) <https://doi.org/10.53347/rID-9953>.
- Ha SK, Seo JK, Kim SJ, Park SH, Park CH, Lee HY, Han DS, Kim KW. Acute pyelonephritis focusing on perfusion defects on contrast enhanced computerized tomography (CT) scans and its clinical outcome. *Korean J Intern Med*. 1997;12(2):122-127. DOI: 10.3904/kjim.1997.12.2.122
- Rathod SB, Kumbhar SS, Nanivadekar A, Aman K. Role of diffusion-weighted MRI in acute pyelonephritis: a prospective study. *Acta Radiol*. 2015;56(2):244-249. DOI: 10.1177/0284185114520862
- Курбатов Д.Г., Дубский С.А., Худяшов С.А. Лучевые методы исследования в диагностике острого пиелонефрита. *Вестник медицинского стоматологического института*. 2017;(3):18-23. Kurbatov D.G., Dubsky S.A., Khudyashov S.A. Radiation research methods in the diagnosis of acute pyelonephritis. *Medical Dental Institute Bulletin*. 2017;(3):18-23. (In Russian). eLIBRARY ID: 32268675; EDN: YLNONY
- Архипов Е.В., Сигитова О.Н., Богданова А.Р. Современные рекомендации по диагностике и лечению пиелонефрита с позиции доказательной медицины. *Вестник современной клинической медицины*. 2015;8(6):115-120. Arkhipov E.V., Sigitova O.N., Bogdanova A.R. Current recommendations for the diagnosis and treatment of pyelonephritis and evidence-based medicine. *Bulletin of Modern Clinical Medicine*. 2015;8(6):115-120. (In Russian). eLIBRARY ID: 25007481; EDN: VBGFDX
- Lacy ME, Sidhu N, Miller J. When does acute pyelonephritis require imaging? *Cleve Clin J Med*. 2019;86(8):515-517. DOI: 10.3949/ccjm.86a.18096
- Ананьев В.А., Павлов В.Н., Пушкарёв А.М., Лубянский В.Г. Результаты органосохраняющего лечения острого гнойного пиелонефрита. *Урология*. 2024;(6):37-44. Ananiev V.A., Pavlov V.N., Pushkarev A.M., Lubyansky V.G. Results of organ-preserving treatment of acute purulent pyelonephritis. *Urologia*. 2024;(6):37-44. (In Russian). DOI: 10.18565/urology.2024.6.37-44
- Moghrabi S, Abdalkadir AS, Al-Hajaj N, Gnanasegaran G, Kumar R, Syed G, Bozkurt MF, Shukri S, Obeidat S, Khalaf A, Shahait M, Al-Nabhani K, Al-Ibraheem A. A New Era for PET/CT: Applications in Non-Tumorous Renal Pathologies. *J Clin Med*. 2024;13(16):4632. DOI: 10.3390/jcm13164632
- Wan CH, Tseng JR, Lee MH, Yang LY, Yen TC. Clinical utility of FDG PET/CT in acute complicated pyelonephritis—results from an observational study. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2018;45(3):462-470. DOI: 10.1007/s00259-017-3835-9
- Boccatonda A, Stupia R, Serra C. Ultrasound, contrast-enhanced ultrasound and pyelonephritis: A narrative review. *World J Nephrol*. 2024;13(3):98300. DOI: 10.5527/wjn.v13.i3.98300
- Dacher JN, Pfister C, Monroc M, Eurin D, LeDosseur P. Power Doppler sonographic pattern of acute pyelonephritis in children: comparison with CT. *AJR Am J Roentgenol*. 1996;166(6):1451-1455. DOI: 10.2214/ajr.166.6.8633462
- Jung HJ, Choi MH, Pai KS, Kim HG. Diagnostic performance of contrast-enhanced ultrasound for acute pyelonephritis in children. *Sci Rep*. 2020;10(1):10715. DOI: 10.1038/s41598-020-67713-z
- Sarikaya I, Sarikaya A. Current Status of Radionuclide Renal Cortical Imaging in Pyelonephritis. *J Nucl Med Technol*. 2019;47(4):309-312. DOI: 10.2967/jnmt.119.227942
- Лукьянченко А.Б., Медведева Б.М., Колобанова Е.С., Романова К.А., Магамедова С.С. Возможности и роль диффузионно-взвешенной магнитно-резонансной томографии в оценке эффективности противоопухолевого лечения пациенток с метастатическим поражением печени при раке молочной железы. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2019;100(5):286-292. Lukiyanchenko A.B., Medvedeva B.M., Kolobanova E.S., Romanova K.A., Magamedova S.S. The Potentials and Role of Diffusion-Weighted Magnetic Resonance Imaging in Evaluating the Efficiency of Antitumor Treatment of Patients with Breast Liver Metastasis. *Journal of radiology and nuclear medicine*. 2019;100(5):286-292. (In Russian). DOI: 10.20862/0042-4676-2019-100-5-286-292

Сведения об авторах | Information about the authors

Владимир Александрович Ананьев — канд. мед. наук | Vladimir A. Ananiev — Cand.Sc.(Med)
<https://orcid.org/0000-0002-1636-3151>; urologkbb@mail.ru

Павлов Валентин Николаевич — д-р мед. наук, профессор, академик РАН | Valentin N. Pavlov — Dr.Sc.(Med); Full Prof.; Acad. of the RAS
<https://orcid.org/0000-0003-2125-4897>

Владимир Анатольевич Воробьев — д-р мед. наук, профессор | Vladimir A. Vorobev — Dr.Sc.(Med); Full Prof
<https://orcid.org/0000-0003-3285-5559>; denecer@yandex.ru