



ВОЗМОЖНОСТИ ЛУЧЕВЫХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЙ В ДИАГНОСТИКЕ ЗАБОЛЕВАНИЙ ПОЧЕК У ДЕТЕЙ (ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР)

Юсупалиева Гулнора Акмаловна

Султанова Лайло Рустамжановна

Ахмедов Элёр Аллаярович

Толипова Севара Махмуджоновна

Ташкентский педиатрический медицинский институт, Республика
Узбекистан, г. Ташкент

<https://www.doi.org/10.5281/zenodo.10081271>

ARTICLE INFO

Received: 02nd November 2023

Accepted: 07th November 2023

Online: 08th November 2023

KEY WORDS

Дети, методы визуализации, почки, ультразвуковая диагностика, компьютерная томография, магнитно-резонансная томография.

ABSTRACT

Раннее выявление повреждения почек имеет важное значение для защиты от прогрессирования повреждения почек вследствие прогрессирующего характера хронической болезни почек. Биопсия почки является золотым стандартом для оценки патологических изменений, таких как интерстициальный фиброз и гломерулосклероз. Однако существуют опасения относительно потенциальных осложнений, включая кровотечение и снижение функции почек. Ультразвуковая эластография является идеальным методом оценки изменений в различных органах и диагностики злокачественных опухолей. Этот метод может помочь обнаружить ранние изменения в функции почек и патологические изменения. Однако требуется осторожное применение и интерпретация этой методики в почках из-за ее сложной гемодинамики и архитектуры. Эластография сдвиговой волной является наиболее широко исследованным методом среди ультразвуковой эластографии.

Методы визуализации для диагностики заболеваний почек и мочевыводящих путей у детей быстро развивались в течение последнего десятилетия во многом благодаря развитию современных технологий. Педиатры общего профиля и неонатологи часто находятся на переднем крае в выявлении почечных аномалий. Существует недостаток знаний о применимости, показаниях и нефротоксических рисках новых методов визуализации почек. Здесь мы описываем клиническое воздействие врожденных аномалий почек и мочевыводящих путей и описываем педиатрические методы визуализации почек, предоставляя практическое руководство для диагностики заболеваний почек и мочевыводящих путей.



Почечная визуализация продолжает быстро развиваться. От достижений в области обычного УЗИ почек до количественной оценки изображений, новые технологии трансформируют то, как мы оцениваем функцию почек и заболевания. Врожденные аномалии почек и мочевыводящих путей (ВАПМП) являются наиболее распространенной причиной терминальной стадии почечной недостаточности у детей и, следовательно, наиболее распространенной причиной необходимости заместительной почечной терапии, такой как диализ, в этой популяции пациентов [1,2]. В результате визуализация имеет решающее значение для раннего выявления заболеваний почек и мочевыводящих путей, мониторинга функции почек и улучшения оценки прогрессирования заболевания и прогноза. Было показано, что традиционные методы диагностики почечной дисфункции, основанные на клинических химических измерениях (таких как уровень креатинина в сыворотке крови), являются неоптимальными для раннего выявления функциональной потери [3].

ВАПМП включает в себя различные расстройства, которые возникают во время развития почек, мочеточников, мочевого пузыря и уретры в жизни плода. Хотя ВАПМП имеет тенденцию появляться спорадически, связанные аномалии были описаны у 30% младенцев, рожденных с ВАПМП [4].

ВАПМП составляет от 20% до 30% всех аномалий, выявленных во внутриутробном периоде, и встречается у 60% детей с хронической болезнью почек (ХБП) в послеродовом периоде. Распространенные типы ВАПМП являются результатом недостаточности нормального развития нефронов (дисплазия почек, почечный агенез и мультикистозные заболевания почек), аномалий эмбриональной миграции почек (эктопические почки и подковообразные почки), а также аномалий развивающейся мочесборной системы (пузырно-мочеточниковый рефлюкс (ПМР)), обструкция уретеропельвого соединения, обструкция нижних мочевых путей и т.д.). ВАПМП часто представляет собой расширение мочевыводящих путей (РМВП), ранее называемое гидронефрозом [5,6,7].

Хотя гидронефроз остается широко используемым термином, он часто имеет разные значения среди практикующих врачей. В 2014 году единый консенсус, достигнутый среди нескольких профессиональных обществ, рекомендовал заменить термин гидронефроз более конкретным дескриптором РМВП для обозначения обнаружения изображений в системе, которая может или не может находиться под давлением (то есть обструктивный или необструктивный РМВП) [8]. Антенатальный и постнатальный РМВП имеют свою собственную систему подсчета баллов для справки. Более высокие баллы связаны с более высокой степенью дилатации и почечными паренхиматозными, мочеточниковыми и/или мочевыми аномалиями, которые требуют дальнейшего изучения и мониторинга [9].

В настоящее время не существует единого золотого стандарта для оценки обструктивной уropатии у детей, и обычно используется комбинация визуальных тестов. Хотя УЗИ почечного пузыря, рентгеноскопия и функциональные исследования ядерной медицины остаются основными инструментами для анатомической и функциональной диагностики и лечения РМВП и ВАПМП, новые технологии были добавлены в арсенал детской почечной визуализации. Новые технологии, которые все



чаще используются в клинических условиях, включают функциональную магнитно-резонансную урографию (фМРУ), ультразвук с контрастным усилением, который может очерчивать анатомию с более высоким разрешением и обеспечивать функциональную, перфузионную и экскреционную информацию почек и мочевыводящих путей без использования ионизирующего излучения. Дополнительные методы, которые остаются в стадии изучения, включают трехмерную (3D) печать, эластографию и объемный анализ [10].

Наша цель этой статьи - предоставить всесторонний обзор методов визуализации почек с акцентом на новые методы и их потенциальную клиническую ценность в выявлении и мониторинге детей с заболеваниями почек.

Ультразвуковое исследование почек и мочевого пузыря является методом визуализации первой линии для оценки почечной анатомии у детей, потому что он неинвазивный, широко доступен, относительно быстр, не имеет ионизирующего излучения и является менее дорогостоящим, чем другие методы визуализации. Кроме того, ультразвук не требует конкретного позиционирования пациента или необходимости находиться в машине, что позволяет визуализировать детей в лежачем, полулежачим или вертикальном положении, в случае младенцев, во время удержания лицом, осуществляющим уход. УЗИ почек и мочевого пузыря изображает размер почек (и рост с течением времени), эхогенность, эхотекстуру, паренхиматозную толщину, дуплексную систему и степень дилатации чашечно-лоханочной системы (ЧЛС) и мочеточников у детей [11]. УЗИ почек и мочевого пузыря может использоваться для идентификации масс и больших конкрементов, может использоваться для измерения объемов мочевого пузыря до и после появления мочевого пузыря и может предоставлять изображения в режиме реального времени для руководства интервенционными процедурами.

Во время базовой ультразвуковой визуализации почка может быть разделена на внешнюю кору и внутренний продолговатый мозг. Кора состоит из внешнего края ткани, а также столбцов кортикальной ткани, которые опускаются между медуллярными пирамидами. Эти столбцы были названы септальной корой, также обычно называемой колоннами Бертина. Продолговатый мозг состоит из переменного числа почечных пирамид, причем основание пирамиды образовано ее вышележащей почечной корой, а ее вершина - почечным сосочком, который проецируется в небольшую чашечку. Сосочки представляют собой конусообразные структуры, которые содержат отверстия собирающих протоков, которые опорожняются в чашечки. Чашечка представляет собой чашеобразную часть внутривисцеральной системы сбора. Чашечки, инфундибула и почечная лоханка совместно называются внутривисцеральной системой сбора.

Новые технологии в УЗИ теперь могут предоставлять как 3D-изображения с более высоким пространственным и контрастным разрешением по сравнению с предыдущими 3D-модальностями. Более четкие ультразвуковые изображения (с меньшим количеством артефактов) позволяют проводить точный реконструктивный анализ анатомии, лучшая дифференцировка тканей (например, заполненные жидкостью структуры) и улучшенная идентификация эхо-усиливающих структур,



таких как почечные камни и почечные паренхиматозные поражения. Однако следует быть осторожным в интерпретации изображений с более высоким разрешением, потому что кортикомедулярная дифференциация может быть чрезмерно усилена и может ложно имитировать нефрокальциноз [12,13].

Трехмерный ультразвук (3D УЗИ) обеспечивает объемную оценку и более полную визуализацию системы сбора, а также сокращает время визуализации, требуя одной развертки с реконструкцией в нескольких плоскостях в более позднее время. Поэтому в настоящее время интерес заключается в поддержке количественного анализа изображений, такого как автоматизированная сегментация почек и мочевыводящих путей, для улучшения ухода за детьми с РМВП.

Учитывая, что расчеты паренхиматозного объема из 3D УЗИ сопоставимы с расчетами димеркаптоантарной кислоты сцинтиграфии и магнитно-резонансной урографии (МР У), его появление может привести к снижению использования компьютерной томографии (КТ), МРТ и диуретической ренографии. Аналогичным образом, высококачественное изображение 3D УЗИ и сегментация системы сбора, которые могут иметь потенциал для лучшего выявления сложной анатомии, могут привести к снижению потребности в флюороскопической оценке системы сбора или МРУ [14,15]. Кроме того, 3D УЗИ обеспечивает многоосевую демонстрацию всей почки.

Эластография сдвиговых волн является еще одним достижением в ультразвуковой технологии, которая является неинвазивным способом оценки жесткости тканей. Ультразвуковой преобразователь посылает акустическую волну в ткань, чтобы создать волну смещения ткани. Жесткость ткани определяется скоростью, с которой волна смещения проходит через ткань, измеряемой вторым ультразвуковым импульсом. Этот метод был более широко изучен в печени (например, для измерения фиброза при аутосомно-рецессивной поликистозной болезни почек), щитовидной железе, молочной железе, желудочно-кишечном тракте и простате. Совсем недавно эластография была исследована в почках для измерения фиброза и изменений жесткости тканей при ХБП, почечных аллотрансплантатах и ПМР. Дальнейшая характеристика очаговых поражений почек является еще одним применением, при котором изучается эластография. [16]

Новые двумерные ультразвуковые технологии теперь включают полуавтоматическую количественную оценку тяжести РМВП. Для этого программное обеспечение для постобработки использует ультразвуковые данные для расчета нескольких параметров, таких как размер системы сбора, глубина чашечек, толщина паренхимы, геометрическая форма, коэффициент окружности и дескрипторы кривых. Затем алгоритм использует эти измерения для выявления тех пациентов, которые получают пользу от тестов функции почек (то есть мочегонной ренографии), сохраняя неудобства, риски и необязательное ионизирующее излучение дополнительного тестирования на тех, кто не соответствует критериям [17,18].

Мультиспиральная компьютерная томография обеспечивает высокую анатомическую четкость и обеспечивает панорамное изображение почек и мочевыводящих путей. Это быстрый и объемный (то есть размер пикселей одинаков во всех плоскостях, и, следовательно, пиксели обычно называют «вокселями»)



модальность визуализации, которая позволяет проводить 3D и многопланарные реконструкции во всех плоскостях. Постобработка может использовать необработанные данные в качестве основы для 3D-печатных моделей. КТ является основным методом визуализации для оценки почечной патологии у взрослых, но менее предпочтительным в педиатрии из-за более низкой частоты камней и злокачественных новообразований у детей и во избежание воздействия ионизирующего излучения. У детей КТ без контраста является рекомендуемым методом визуализации для оценки подозреваемого мочекаменной болезни после двусмысленного ультразвука для планирования лечения известных случаев мочевых камней и травматической гематурии. КТ-ангиография используется для оценки подозреваемой реноваскулярной гипертензии в качестве альтернативы доплерографии или МР-ангиографии [19,20].

Когда фаза контраст-экскреции включена в КТ-исследование, это называется КТ-урография, который полезен при оценке травмы, подозрения на обструкцию мочевыводящих путей или дивертикулов чашечки. Хотя йодированные контрастные вещества, как правило, безопасны, существует возможный риск постконтрастного острого повреждения почек. Данное заболевание была зарегистрирована на уровне 10% в небольшой когорте детей. Тем не менее, он является коррелятивным диагнозом, который был оспорен совсем недавно. Связь или ее отсутствие между введением йодированного контраста и данным заболеванием у детей еще не установлена, кроме того, новое поколение компьютерных томографов позволяет снизить дозы облучения [21].

Функциональная магнитно-резонансная урография обеспечивает комплексную морфологическую и функциональную оценку мочевыводящих путей при безлучевом одноместном исследовании с отличным пространственным, контрастным и временным разрешением и, следовательно, становится тестом выбора у пациентов со сложной анатомией [22].

фМРУ изображает подробную анатомию мочеполовой системы, служа предхирургической дорожной картой с высоким уровнем достоверности, поскольку она обеспечивает предконтрастную 3D-реконструкцию. В рамках протокола пациенты получают внутривенную гидратацию и диуретики (фуросемид) перед получением изображения для лучшего разрешения. Аналогичным образом, мочевой пузырь катетеризируется и должен быть катетеризован, чтобы уменьшить смешанный эффект затруднения мочеиспускания и/или ПМР. Для функциональной части исследования контрастное вещество на основе гадолиния вводится стабильно, и изображения приобретаются динамически с течением времени. Важная клиническая, функциональная информация, полученная при анализе динамики контрастного потока, позволяет в некоторой степени быть уверенной в дифференциации закупоренных и беспрепятственных почечных коллекторных систем. Во время 8-минутного динамического сканирования с высоким разрешением достигается усиление аорты, почек и, в большинстве случаев, начальный дренажный поток мочевыделительной системы.



Для получения количественных параметров, а также кривых усиления и выделения требуется программное обеспечение, специфичное для постобработки фМРУ [23,24].

Кривые усиления и выведения являются отображением изменения интенсивности сигнала с течением времени и рассчитываются для аорты, почечной паренхимы, таза и чашечек с более высоким пространственным разрешением, чем исследования ядерной медицины. Каждая кривая представляет собой относительное усиление сегментированной области интереса с течением времени от базовой линии (т.е. предконтрастного сигнала). Кривая экскреции ориентирована на изменение интенсивности сигнала, генерируемого накоплением контраста в коллекторной системе. Важно отметить, что аномально длительное время почечного транзита (время, необходимое для того, чтобы контрастное вещество достигло мочеточника ниже уровня нижнего полюса почки) не обязательно различает уретеропелвическую обструкцию и объединение контрастного вещества в расширенной почечной лоханке. Визуализация с пациентом в положении лежа помогает смягчить этот эффект. Отсроченная визуализация может быть получена, чтобы попытаться продемонстрировать контраст в мочеточнике и / или мочевом пузыре [25].

фМРУ также имеет некоторые дополнительные недостатки, включая необходимость седации или анестезии для детей младшего возраста, стоимость и доступность МРТ-сканирования, а также потенциальные нежелательные явления, связанные с контрастными веществами гадолиния. Нефрогенный системный фиброз (НСФ) был описан с использованием контрастных агентов на основе гадолиния старшего поколения у пациентов с тяжелой почечной недостаточностью, что ограничивает его использование у пациентов с прогрессирующей ХБП. Тем не менее, риск НСФ считается более низким с более новыми макроциклическими агентами на основе гадолиния (например, гадобутролом, гадотеридолом и гадотератом). Также может быть риск отложения гадолиния по всему организму, но для определения клинической значимости, если таковая имеется, требуется дальнейшее исследование [26,27].

Таким образом, с помощью новых технологий визуализации мы пытаемся достичь более высокого разрешения изображения, сократить время визуализации и свести к минимуму радиационное воздействие. Конечная цель состоит в том, чтобы полностью охарактеризовать врожденные аномалии почек и мочевыводящих путей у детей с более высокой степенью точности, предоставляя при этом неинвазивную прогностическую информацию у пациентов с риском развития ХБП. Важно продолжать разработку биомаркеров визуализации в качестве инструментов для выявления прогрессирования почечной недостаточности. Клиницисты могут использовать этот обзор для справки при навигации по различным методам визуализации в составе команды, ухаживающей за пациентами с подозрением или известным заболеванием почек [28].

Подводя итог, можно сказать, что ультразвук с контрастным усилением является наиболее перспективным в оценке очаговой почечной недостаточности при сравнительно благоприятном профиле безопасности контрастного вещества, фМРУ предоставляет исчерпывающую функциональную информацию с улучшенной



анатомической информацией по сравнению с рентгенографией; и 3D-печатные модели все чаще используются для обучения и хирургического планирования в почках и мочевыделительной системе. Знакомство с этими технологиями позволит легче внедрять и распространять знания, поскольку с помощью текущих исследовательских усилий мы пытаемся пролить свет на естественное течение заболевания и направлять терапию с более безопасными и более ориентированными на пациента стратегиями визуализации [29,30].

References:

1. Бартрам У., Дарге К. Гармоническая и обычная ультразвуковая визуализация мочевыводящих путей у детей. Педиатр Радиол. 2005; 35(7):655-660.
2. Данник НР, Сэндлер СМ, Ньюхаус Дж.Х. Анатомия и эмбриология В: Учебник урологии, 5-е изд. Филадельфия, Пенсильвания: Lippincott Williams & Wilkins; 2013:1-12.
3. Зыкин Б.И., Постнова Н.А., Медведев М.Е. Эластография: анатомия метода. Променева диагностика, променева терапия 2012; 2-3: 107-113. Zykin B.I., Postnova N.A., Medvedev M.E. Elastography: anatomy of the method. Promeneva diagnostyka, promeneva terapija 2012; 2-3: 107-113.
4. Комплексная лучевая диагностика (УЗИ, РКТ, МРТ) опухолей почек у детей/Т.Р.Панферова, Н.А.Кошечкина, И.В.Каминская [и др.] // Интервенционная радиология в панкреатологии: V науч.-практ. конф. Интервенционных онкорadiологов, 31 мая 2012 г., Москва: материалы конф. - М., 2012. - С. 172-173.
5. Моран С.М., Майерс Б.Д. Течение острой почечной недостаточности изучается по модели кинетики креатинина. Внутренняя оболочка почки 1985; 27(6):928-937.
6. Муджумдар М., Рассел Э., Дионн Ф. и др. Оптимизация использования систем здравоохранения медицинских изотопов и других методов визуализации. Оттава, Канада: Канадское агентство по лекарственным средствам и технологиям в здравоохранении; 2012.
7. Павлов А.Ю., Котляров П.М., Сергеев Н.И., Гомболевский В.А., Сабирзянова З.Р. Компьютерная и магнитнорезонансная томографии в детской урологии. Вестник РНЦРР. 2012; 12: 45-47
8. Перес-Брейфилд МР, Кириш А.Д., Джонс РА, Граттан-Смит Дж.Д. Проспективное исследование, сравнивающее ультразвук, ядерную сцинтиграфию и динамический контраст усиленной магнитно-резонансной томографии при оценке гидронефроза. Д. Урол. 2003; 170(4, часть 1):1330-1334.
9. Почечного кровотока у больных хроническими диффузными заболеваниями почек по данным дуплексной сонографии // Современные инвазивные и неинвазивные методы диагностики. Ультразвук, электрофизиология. М.:Аир-Арт, 2000. С. 330-335.
10. 20. Mahmoud H, Buchanan C, Francis ST, Selby NM. Imaging the kidney using magnetic resonance techniques: structure to function. Curr Opin Nephrol Hypertens. 2016; 25:487-93.
11. Пудель А, Афшан С., Диксит М. Врожденные аномалии почек и мочевыводящих путей. Неообзоры. 2016; 17(1): e18-e27.



12. Риккабона М. Потенциальная роль 3DUS у младенцев и детей. Педиатр Радиол. 2011; 41(дополнение 1):S228–S237.
13. Риккабона М. Современное детское ультразвуковое исследование: потенциальные применения и клиническое значение. Рецензия. Визуализация Клина. 2006; 30(2):77–86.
14. Риккабона М., Фриц Г.А., Шельнаст Х., Шварц Т., Дойчманн М.Ю. Гидронефротическая почка: педиатрическая трехмерная УЗИ для оценки относительного размера почек - первоначальный опыт. Радиология. 2005; 236(1):276–283.
15. Сандриков В.А., Молчанова О.В., Платова Е.Н. Сравнительная оценка
16. Смирнов А.В., Шилов Е.М., Добронравов В.А., Каюков И.Г., Бобкова И.Н., Швецов М.Ю. и др. Хроническая болезнь почек: основные принципы скрининга, диагностики, профилактики и подходы к лечению. Нефрология. 2012; 16(1): 85–115.
17. Столл С, Дотт Б, Алембик Ю, Рот МП. Ассоциированные неуринарные врожденные аномалии у младенцев с врожденными аномалиями почек и мочевыводящих путей (САКУТ). Eur J Med Genet. 2014; 57(7):322–328
18. Фельденберг Р., Бек А. Врожденные заболевания почек: прогноз и лечение. Неообзоры. 2017; 18(6): e345–e356.
19. Aro T, Lim S, Petrisor D, Koo K, Matlaga B, Stoianovici D. Personalized renal collecting system mockup for procedural training under ultrasound guidance. J Endourol 2020;34(5):619-623.
20. Bastrakova A.E., Galeeva Z.M., Tukhbatullin M.G. Capabilities of complex echography in the early diagnosis of hepatic steatosis. Prakticheskaya meditsina 2016; 2(94): 48-50.
21. Bernhard JC, Isotani S, Matsugasumi T, et al. Personalized 3D printed model of kidney and tumor anatomy: a useful tool for patient education. World J Urol. 2016;34(3):337–345.
22. Cerrolaza JJ, Otero H, Yao P, et al. Полуавтоматическая оценка тяжести детского гидронефроза при 3D-УЗИ В: Труды SPIE Medical Imaging 2016: Компьютерная диагностика; 27 февраля – 3 марта 2016 г.
23. ESUR 8.1. European Society of Urogenital Radiology Guidelines on contrast agents. Version 8.1. 2012. European Society of Urogenital Radiology website; 2012.
24. Favorito LA. Kidney anatomy: Three dimensional (3D) printed pelvica-lyceal system models of the collector system improve the diagnosis and treatment of stone disease. International Braz J Urol 2017;(43):381-382.
25. GBD Chronic Kidney Disease Collaboration. Global, regional, and national burden of chronic kidney disease, 1990-2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. Lancet 2020;395(10225):709-733.
26. Hill NR, Fatoba ST, Oke JL et al. Global Prevalence of Chronic Kidney Disease - A Systematic Review and Meta-Analysis. PLoS One 2016;11(7):e0158765.
27. Navaneethan SD, Yehnert H, Moustarah F et al. Weight loss interventions in chronic kidney disease: a systematic review and meta-analysis. Clin J Am Soc Nephrol 2009;4(10):1565-74.
28. Paudice N, Zanazzi M, Agostini S, et al. Contrast-enhanced ultrasound assessment of complex cystic lesions in renal transplant recipients with acquired cystic kidney disease: preliminary experience. Transplant Proc. 2012;44(7):1928–1929.



29. Runge V.M. Commentary on T1-weighted hypersignal in the deep cerebellar nuclei after repeated administrations of Gadolinium-based contrast agents in healthy rats. *Invest Radiol.* 2015; 50: 481-2.
30. Schubert C, Van Langeveld MC, Donoso LA. Innovations in 3D printing: A 3D overview from optics to organs. *Br J Ophthalmol* 2014; 98(2):159-61.
31. Tukhatullin M.G., Galeeva Z.M., Bastrakova A.E. Ul'trazvukovaya elastografiya. Ekhografiya v diagnostike zabolevaniy vnutrennikh i poverkhnostno raspolozhennykh organov [Ultrasonic elastography. Echography in the diagnosis of diseases of internal and superficial organs]. Kazan: Meditsinskaya kniga, 2016; p. 119-130.