

<https://doi.org/10.26442/26586630.2019.3.190618>**Обзор**

Нефросцинтиграфия в диагностике повреждения почек при обструктивных уропатиях у детей: обзор литературы

А.В. Сиденко[✉], С.П. Яцык, Н.П. Герасимова, Н.Л. Комарова, Ю.В. Калашникова, А.О. Тарзян
 ФГАУ «Национальный медицинский исследовательский центр здоровья детей» Минздрава России,
 Москва, Россия
[✉]sidenko44@bk.ru

Аннотация

Обструктивные уропатии (ОУ) – группа заболеваний, в основе которых лежит комплекс структурно-функциональных изменений почечной ткани, возникающих на фоне нарушения уродинамики. Тяжелые случаи ОУ приводят к значительному снижению почечной функции вплоть до терминальной стадии хронической болезни почек (ХБП) и могут рассматриваться как основной фактор, приводящий к развитию ХБП у детей, особенно грудного и раннего возраста. Подход к лечению детей с данной патологией должен носить дифференцированный характер. Необходимо учитывать возраст ребенка, степень тяжести поражения почек, исходное структурно-функциональное состояние как пораженной, так и контралатеральной почки при одностороннем процессе. Совершенствование методов медицинской визуализации привело к значительному улучшению диагностики ОУ у детей всех возрастных групп. В большинстве случаев для успешного лечения ОУ необходима количественная оценка состояния уродинамики и объема функционирующей паренхимы с определением признаков склеротических изменений и степени их выраженности. С данной целью в современной клинической практике широко применяются методы радионуклидной диагностики, такие как динамическая и статическая нефросцинтиграфия. В настоящей статье анализируются литературные источники, посвященные вопросам лечения и диагностики ОУ у детей.

Ключевые слова: нефросцинтиграфия, обструктивные уропатии, рефлюкс, гидронефроз, мегауретер, функция почек, радионуклидная диагностика.

Для цитирования: Сиденко А.В., Яцык С.П., Герасимова Н.П. и др. Нефросцинтиграфия в диагностике повреждения почек при обструктивных уропатиях у детей: обзор литературы. Педиатрия. Consilium Medicum. 2019; 3: 69–77. DOI: 10.26442/26586630.2019.3.190618

Review

Renal scintigraphy in a diagnosis of kidney injury in childhood obstructive uropathy: literature review

Andrei V. Sidenko[✉], Sergei P. Iatsyk, Nadezhda P. Gerasimova, Nadezhda L. Komarova, Iuliia V. Kalashnikova,
 Aram O. Tarzian
 National Medical Research Center for Children's Health, Moscow, Russia
[✉]sidenko44@bk.ru

Abstract

Obstructive uropathy (OU) is a group of diseases characterized by a set of structural and functional abnormalities in renal tissue that occur due to impaired urodynamics. Severe OU result in a significant decrease in renal function up to the terminal stage of chronic kidney disease (CKD) and can be considered as the main factor leading to CKD in children, especially infants and young children. The approach to the treatment of children with this pathology should be differential. It is necessary to consider the child age, the severity of kidney injury, the initial structural and functional state of both affected and contralateral kidney in a unilateral process. Development of medical imaging methods has led to a significant improvement in the diagnosis of OU in children of all age groups. In most cases, a successful treatment of OU requires a quantitative assessment of urodynamics and a functional parenchymal volume along with an identification of signs of sclerotic changes and their severity. For this purpose, methods of radionuclide diagnostics, such as dynamic and static renal scintigraphy, are widely used in current clinical practice. The article analyzes a literature on the treatment and diagnosis of OU in children.

Key words: renal scintigraphy, obstructive uropathy, reflux, hydronephrosis, megaureter, renal function, radionuclide diagnostics.

For citation: Sidenko A.V., Iatsyk S.P., Gerasimova N.P. et al. Renal scintigraphy in a diagnosis of kidney injury in childhood obstructive uropathy: literature review. Pediatrics. Consilium Medicum. 2019; 3: 69–77. DOI: 10.26442/26586630.2019.3.190618

Введение

На сегодняшний день среди заболеваний хирургического профиля у детей на долю патологии мочевыводящей системы приходится от 15 до 35%. Большая ее часть представлена обструктивными уропатиями (ОУ). ОУ могут быть описаны как группа заболеваний, в основе которых лежит комплекс структурно-функциональных изменений почечной ткани, возникающих на фоне нарушения уродинамики. По современным данным частота их встречаемости составляет от 1 до 5,4% всей детской популяции. Качество жизни и прогноз лечения этих пациентов во многом связаны со степенью вовлеченности почечной паренхимы в патологический процесс и характером ее повреждения. Тяжелые случаи ОУ приводят к значительному снижению почечной функции вплоть до терминальной стадии хронической болезни почек (ХБП). Можно выделить ОУ как основной фактор, приводящий к развитию ХБП у детей, особенно грудного и раннего возраста. Учиты-

вая высокую социальную значимость ОУ, необходима максимально ранняя диагностика патологического процесса [1].

Благодаря введению в нашей стране, наряду с ультразвуковым обследованием беременных, скринингового постнатального обследования органов брюшной полости и почек у новорожденных существенно возросла ранняя диагностика врожденной патологии мочевыводящей системы, не выявленной на этапе пренатальной диагностики [2]. Однако очевидно, что успешное лечение ОУ связано не только с ранней диагностикой, своевременным хирургическим вмешательством, рациональной антибиотикотерапией, но и, в большой степени, с возможностью выявления и замедления процессов нефросклероза, адекватной оценки изначально имеющихся повреждений почечной паренхимы [3].

Существующие методы медицинской визуализации позволяют использовать преимущественно качественные характеристики почек, хотя в большинстве случаев

необходима количественная оценка состояния уродинамики и объема функционирующей паренхимы с определением признаков склеротических изменений и степени их выраженности. С данной целью в современной клинической практике широко применяются методы радионуклидной диагностики, такие как динамическая и статическая нефросцинтиграфия [4].

Цель нашей работы – освещение места современных методов медицинской визуализации в диагностическом процессе у детей с ОУ.

Патогенез повреждения почек при ОУ у детей

Изменение уродинамики, лежащее в основе патогенетических механизмов повреждения почечной паренхимы либо связано с нарушением внутриутробного органогенеза, либо является следствием склеротических процессов, развивающихся постнатально. Возникающая обструкция мочевыводящих путей может быть полной или частичной. Встречается как одностороннее, так и двустороннее поражение [1].

Рядом авторов установлено, что вне зависимости от первичного поражения почки подвергаются целому ряду адаптационных изменений, приводящих к ремоделированию тубуло-интерстициального компонента с возможным исходом в нефросклероз. А.С. Переверзев выделяет следующие условия, приводящие к развитию нефросклероза при ОУ: повышение внутриуретрального давления, редукция внутрипочечного кровотока, перераспределение венозного оттока, инвазия интерстиция почки активированными клетками иммунной системы, бактериальная инфекция [5]. Т. Kimura и соавт. отводят особую роль аутофагам при воспалительных изменениях в почках различной этиологии [6]. При этом прослеживается стадийность патологического процесса. Так, F. Strutz и соавт. предлагают три стадии патологического процесса: индукции, воспаления и поствоспалительного синтеза матричных компонентов [7]. А. Eddy выделяет четыре стадии развития нефросклероза: повреждения почки с активацией клеток, фиброгенных реакций, фиброгенную и деструктивную [8].

Образующийся на фоне нарушения уродинамики и повышения уретрального и внутрилоханочного давления клеточный инфильтрат, состоящий из моноцитов, макрофагов и Т-лимфоцитов, является мощным фактором хемоаттракции, стимуляции и накопления в интерстиции коллагенов I и III типов, а в базальной мембране – IV типа, что можно наблюдать уже в первые часы после обструкции. Это способствует развитию начальных стадий нефросклероза [9]. При этом временной фактор играет одну из важнейших ролей в развитии повреждения почек. Сохраняющееся нарушение пассажа мочи приводит к дальнейшей экстравазации клеток с их экспансией в интерстиций и поддержанием процессов фиброгенеза. Даже после восстановления пассажа мочи активность склеротических процессов остается достаточно высокой, что связано с медленной элиминацией инфильтрата [10, 11].

Помимо обструкции, существенным фактором повреждения почки является наличие пузырно-мочеточникового рефлюкса (ПМР). ПМР приводит к нарушению пассажа мочи, способствует развитию и прогрессированию инфекционного процесса в почке. При этом обратный ток мочи по мочеточникам может приводить к повреждению почечной паренхимы с развитием нефросклероза даже при отсутствии инфекционного агента. Так, одним из значимых повреждающих факторов является внутрипочечный рефлюкс. Его возникновение зависит от величины внутрилоханочного давления, а полярный характер склеротических изменений объясняется особенностями строения сосочков. По полюсам почек располагаются комплексные (составные) сосочки, в центральной части которых находятся каналы, по которым возможен прямой и обратный ток мочи. Эти каналы, называемые протоками Беллини, широко раскрыты в центральной части состав-

ного сосочка. Протоки, находящиеся в простых сосочках и расположенные вокруг лоханки, имеют щелевидную форму и являются препятствием для ретроградного тока мочи. Данная анатомическая особенность связана с возрастом ребенка, чем младше ребенок, тем больше комплексных сосочков. Таким образом, ранний возраст является фактором риска повреждения почечной паренхимы при развитии ОУ [12–15].

Отдельная роль в повреждении почечной паренхимы отводится процессам апоптоза. Клетка, вовлеченная в процесс апоптоза, распадается на множество фрагментов, которые впоследствии поглощаются макрофагами. В ходе исследований была выявлена стадийность течения апоптоза клеток канальцев при парциальной перевязке мочеточника. В течение 25 сут количество клеток канальцев с признаками апоптоза увеличилось в 30 раз по сравнению с контролем. Затем активность процесса апоптоза снижалась до контрольных значений, но при этом определялись снижение массы органа и выраженные пролиферативные изменения клеток канальцев [16].

Таким образом, можно говорить о множестве патогенетических факторов развития повреждения почек при ОУ у детей, каждый из которых требует отдельного изучения и углубленного анализа. В результате воздействия этих патологических механизмов возникают рубцовые изменения в почечной ткани, что приводит к нефросклерозу и снижению или полной потере функции почки.

Современные методы лечения ОУ у детей

В настоящее время в лечении ОУ можно выделить два направления: консервативное и оперативное. Можно отметить, что они не имеют друг перед другом какого-то существенного преимущества, и выбор лечебной тактики должен быть основан на исходном функциональном состоянии почек, форме уропатии и возрасте ребенка.

В лечении ПМР выбор консервативной тактики основывается на том, что первичный рефлюкс низких степеней с возрастом может самостоятельно купироваться либо может снижаться его степень. При этом консервативный подход исключает наличие оперативной травмы и послеоперационный период, однако подразумевает длительную антибактериальную терапию. Согласно рекомендациям Европейской урологической ассоциации консервативному лечению подлежат все степени первичного рефлюкса у детей в возрасте до 1 года и 1–2-й степени рефлюкса у детей до 5 лет. Хирургическое лечение является методом выбора в терапии ПМР. Задачей антирефлюксных операций является создание протяженного подслизистого отдела мочеточника, при этом моча, заполняющая мочевой пузырь, прижимает мочеточник, выполняя клапанную, антирефлюксную функцию. Существует два пути создания подслизистого слоя мочеточника: эндоскопическая методика коррекции рефлюкса и открытые антирефлюксные операции.

Эндоскопическая коррекция рефлюкса впервые была выполнена E. Matoushek в 1981 г. Методика заключается в субуретеральном введении фиксирующих веществ под устье мочеточника при помощи эндоскопического оборудования. В качестве фиксирующих веществ применяют тефлоновую пасту, силикон, препараты гиалуроновой кислоты, разнообразные гели, бычий коллаген и др. Эндоскопическая коррекция рефлюкса имеет ряд преимуществ перед открытыми операциями, главными из которых являются меньшая травматичность, отсутствие длительного послеоперационного периода и возможность проведения операции в амбулаторных условиях. Однако в целом эффективность метода составляет от 67 до 80%, что уступает открытым операциям, эффективность которых составляет от 80 до 99% [1]. Группа авторов продемонстрировала высокую эффективность эндоскопического лечения, увеличивающуюся при повторных введениях фиксирующего вещества и составляющую после 3 инъекций 100%. При этом

Таблица 1. Эффективность методов лучевой диагностики в уронефрологических исследованиях (А.Ю. Васильев, Е.Б. Ольхова)
Table 1. The effectiveness of imaging methods in urological and nephrological studies (A.Yu. Vasiliev, E.B. Olkhova)

Признак	Метод						
	ЭУ	МЦ	УЗИ	КТ	МРТ	изотопное исследование	ангиография
Наличие почки	+	+/-*	+	+	+	+	+
Расположение почки	+	+/-*	+	+	+	+	+
Размеры почки	+/-	-	+	+	+	+/-	+/-
Структура паренхимы	-	-	+	+	+	+/-	+/-
Дилатация ЧЛС	+	+/-*	+	+	+	+/-	+/-
Наличие ПМР	-	+	+/-	-	-	+	-
Включения в паренхиме	+/-	-	-	+	+	+/-	+/-
Функция почки	+/-	-	-	+/-	+/-	+	+/-

*Только при наличии ПМР.

Примечание. +/- иногда возможно, + – хорошая визуализация, - – плохо или невозможно, МРТ – магнитно-резонансная томография.

*Only with vesicoureteral reflux.

Note. +/- – sometimes it is possible, + – good visualization, - – bad or impossible, MRI – magnetic resonance imaging.

ими было отмечено серьезное осложнение в виде поздней обструкции мочеточника, что требовало дополнительного наблюдения за пациентами [17].

Открытое хирургическое вмешательство можно назвать «золотым стандартом» в антирефлюксной хирургии. В современной практике все более широкое применение находят робот-ассистированные оперативные вмешательства, отношение к которым пока неоднозначное в связи с достаточно большим количеством осложнений. Традиционные открытые оперативные вмешательства по реимплантации мочеточника, обладая высокой эффективностью, тем не менее сопровождаются травматизацией и требуют достаточно длительной госпитализации [18–20].

Лечение пациентов с первичным мегауретером также может быть хирургическим или консервативным. Консервативное лечение может быть проведено пациентам с незначительными нарушениями уродинамики. Такие пациенты должны находиться под наблюдением для определения динамики развивающегося заболевания. При прогрессирующем расширении мочеточника и рецидивирующем течении хронического пиелонефрита показано оперативное лечение [21–23]. Лечение детей с вторичным мегауретером должно начинаться с устранения причины, вызвавшей данные патологические изменения. В частности, при наличии неврогенной дисфункции мочевого пузыря или хронического рецидивирующего цистита проводится их патогенетическое консервативное лечение в качестве первого этапа с последующим контрольным обследованием через 3–6 мес. В то время как у детей с инфравезикальной обструкцией последняя устраняется только хирургически, поскольку ее наличие оказывает серьезное отрицательное влияние на эвакуаторную функцию мочевого пузыря, верхних мочевых путей и может привести к тяжелым двухсторонним осложнениям [24, 25].

Выбор метода лечения гидронефроза определяется целым комплексом факторов: степенью дилатации собирательной системы, причиной обструкции, структурно-функциональным состоянием почки на момент лечения, скоростью прогрессирования нефросклероза и возрастом пациента. Так, дети с врожденным гидронефрозом могут достаточно длительно находиться под наблюдением и не требовать оперативного вмешательства. Исключение составляют случаи обструкции, такие как задний клапан уретры, которые требуют только хирургического и безотлагательного вмешательства. В остальных случаях решение об оперативном лечении может приниматься на основании показателей функционального состояния почек и изменения степени расширения собирательной системы в сторону увеличения [26].

В случаях необходимости хирургического лечения проводятся открытая или лапароскопическая пластика

лоханочно-мочеточникового сегмента, а также все шире применяется эндоскопическая пластика антеградным или ретроградным путем, которая по эффективности приближается к открытой пластике. Среди открытых операций наиболее часто применяют резекцию лоханочно-мочеточникового сегмента с пиелoureteroанастомозом по Anderson–Hynes, предполагающую не только создание воронки в зоне лоханочно-мочеточникового сегмента, но и резекцию пораженного участка лоханки почки и мочеточника. В отдельных случаях выполняют Y-пластику и перемещение лоскута лоханки, причем последний метод наиболее эффективен при протяженных дефектах мочеточника. Методики, предполагающие интубацию, применяются в случаях, когда анатомические изменения не позволяют выполнить другую операцию [27]. Для устранения обструкции в лоханочно-мочеточниковом сегменте может применяться методика эндоскопической баллонной дилатации высокого давления. Данное вмешательство можно рассматривать как альтернативу операции по Anderson–Hynes. После дилатации мочеточника в него устанавливается стент сроком на 4–6 нед. Баллонная дилатация высокого давления несколько уступает по эффективности открытым операциям, однако превосходит их по комплаентности и более низкому уровню травматизации [28].

Части пациентов с мегауретером и гидронефрозом требуется выполнение органосохраняющей операции. Это связано с потерей функции пораженной почки, что может наблюдаться при терминальных стадиях гидронефроза или уретерогидронефроза. Причиной может являться поздняя диагностика дилатации собирательной системы почки, наличие нескольких сочетающихся пороков развития мочевыделительной системы, приводящих к потере функции органа, недооценке степени обструкции и, как следствие, неправильной тактике лечения [29, 30].

Таким образом, подход к лечению детей с ОУ должен носить дифференцированный характер. Необходимо учитывать возраст ребенка, степень тяжести поражения органа, исходное структурно-функциональное состояние пораженной почки и контралатеральной при одностороннем процессе, данные инструментальных и лучевых методов диагностики для определения тактики ведения пациента.

Методы медицинской визуализации при ОУ у детей

Совершенствование методов медицинской визуализации привело к значительному улучшению диагностики ОУ у детей всех возрастных групп.

В табл. 1 перечислены основные методы лучевой диагностики и вопросы, которые должны быть решены в ходе исследования. В настоящее время нет ни одного

Таблица 2. Сравнительная характеристика методов лучевой диагностики (А.Ю. Васильев, Е.Б. Ольхова)
Table 2. Comparative characteristics of imaging methods (A.Yu. Vasiliev, E.B. Olkhova)

Характеристика	Метод						
	ЭУ	МЦ	УЗИ	КТ	МРТ	изотопное исследование	ангиография
Инвазивность	+	+	-	+/-	+/-	+	+
Болезненность	+	+	-	+/-	+/-	+	+
Ионизирующее облучение	+	+	-	+	-	+	+
Продолжительность исследования	+	-	-	+/-	+	+	+
Специальная подготовка	-	+/-*	-	+	+	+/-*	+
Стоимость исследования	-	-	+/-	+	+	+/-	+

*Медикаментозная подготовка для детей раннего возраста.
Примечание. + – имеется, +/- – имеется в зависимости от применяемых методик, – отсутствует.
*Pre-medication for young children.
Note. + – available, +/- – available depending on the applied methods, – not available.

метода лучевой диагностики, который бы мог точно ответить на все поставленные вопросы, однако некоторые методы, а также их правильное сочетание, могут дать ответы на большинство из них.

Важно учитывать, что проведение лучевых исследований у детей имеет ряд особенностей: дети тяжелее переносят болезненные манипуляции, не могут длительно находиться в неподвижном состоянии. Исходя из этого, при выборе лучевого метода диагностики необходимо учитывать такие факторы, как инвазивность метода, болезненность, наличие лучевой нагрузки, длительность исследования, специальную подготовку и необходимость седации ребенка во время исследования (табл. 2) [31, 32].

Ультразвуковое исследование

Метод ультразвукового исследования (УЗИ) позволяет диагностировать ОУ начиная с периода внутриутробного развития. Обструкция может локализоваться на мочеточниково-лоханочном, мочеточниково-пузырном уровнях или в области шейки мочевого пузыря. ОУ нижней части мочевыводящей системы встречаются нечасто – 3,34 на 10 тыс. новорожденных. Самыми распространенными причинами обструкции в этой группе является синдром задних уретральных клапанов (примерно 63%) и атрезия уретры (около 10%). ОУ нижних мочевых путей сопровождаются относительно высокой перинатальной смертностью, которая составляет около 20%, примерно 25% беременностей прерывается по желанию родителей, учитывая неблагоприятный прогноз по развитию терминальной стадии хронической почечной недостаточности, которая впоследствии формируется, по данным разных авторов, у 13–17% детей. До 2/3 случаев обструкции нижних мочевыводящих путей выявляются в антенатальном периоде, причем около 50% – во время второго скрининга (18–22-я неделя беременности), после 28-й недели беременности процент выявления возрастает до 80% [33, 34]. Важно отметить, что в настоящий момент ряд тяжелой патологии может быть разрешен при содействии фетальной хирургии. Так, тяжелая обструкция в области лоханочно-мочеточникового перехода может быть разрешена путем лоханочно-амниотического дренирования. Однако такая процедура проводится редко. При двустороннем поражении или раннем проявлении заболевания прогноз крайне неблагоприятный, и может быть рассмотрен вопрос о прерывании беременности. Визуализация расширенного мочеточника может сопровождаться расширением лоханки или сохранением ее нормальных размеров. Неполноценное пузырно-мочеточниковое сочленение не может препятствовать обратному току мочи, что вызывает поражение почечной паренхимы уже внутриутробно [35, 36]. Все дети, с выявленной пренатально ОУ должны быть комплексно обследованы в периоде новорожденности для оценки динамики патологического процесса и определения тактики лечения.

Введение ультразвукового скрининга органов брюшной полости и почек у детей в периоде новорожденности способствовало существенному повышению выявления ОУ у тех детей, у которых эта патология не была выявлена внутриутробно. Так, по данным М. Tsuchiura и соавт. при обследовании 5700 новорожденных в возрасте 1 мес в 198 случаях была выявлена врожденная аномалия мочевыводительной системы, что составило 3,5%. Преимущественно встречалась аномалия размера почек. В 32 (0,6%) случаях был установлен конкретный диагноз, большинство – 15 случаев – пришлось на ОУ, 8 детей были прооперированы [37]. По данным отечественных авторов грубые аномалии мочевыводительной системы (агенезия, аплазия, гипоплазия почек, гидронефроз, уретерогидронефроз, подковообразная почка, удвоение почки, дистопия левой почки) были выявлены у 1,05% обследованных доношенных детей [2].

В более старшем возрасте УЗИ почек может проводиться при жалобах ребенка на абдоминальные боли, при инфекциях мочевыводящих путей, и выявление ОУ может быть случайной находкой. Возможности современной ультразвуковой диагностики позволяют оценить почечный кровоток, заподозрить склеротические изменения в паренхиме почки и нарушения пассажа мочи по мочеточнику. При наблюдении в динамике и для определения тяжести обструкции может проводиться диуретическое УЗИ [38].

Таким образом, УЗИ почек является методом 1-й линии и методом скрининга, начиная с периода внутриутробного развития. Применение ультразвукового скрининга почек у новорожденных позволяет повысить частоту максимально раннего выявления ОУ. Метод является неинвазивным, доступным и безопасным, что делает его незаменимым в детской урологии.

Экскреторная урография

Экскреторная урография (ЭУ) представляет собой рентгеноконтрастное исследование, выполняемое после внутривенного введения контрастного вещества, быстро выводимого почками. Предназначена она для визуализации мочевых путей. В клинической практике используются 4 варианта ЭУ: традиционная, высокоскоростная, высокодозная и инфузионная. Отличаются они друг от друга количеством и скоростью вводимого контрастного вещества. Исследование начинается с выполнения рутинного рентгеновского снимка брюшной полости. Затем выполняется серия снимков через следующие временные интервалы после введения контрастного вещества: первый на 5–7-й минуте, второй на 12–15-й минуте, третий на 20–25-й минуте. Такой объем исследования является обязательным, но может быть расширен за счет выполнения отсроченных рентгенограмм, рентгенограмм в боковой и косых проекциях, при вертикальном положении, в условиях экспираторной пробы Вальсальвы–Вебера, с использованием медикаментозных проб [39].

Существуют разработанные для клинического применения рентгенометрические показатели, позволяющие охарактеризовать длину и ширину почек, площадь и объемы почек, размер почечной паренхимы, площадь и объем собирательной системы. Также могут быть определены: кортико-ренальный индекс, представляющий отношение площади чашечно-лоханочной системы (ЧЛС) к площади почки, паренхиматозный индекс – отношение суммы толщины паренхимы 3 сегментов почки к ее длине. Применение данных показателей позволяет количественно оценить состояние почечной паренхимы при ОУ [40, 41].

Для оценки степени склерозирования почки может быть применена классификация, предложенная J. Smilie: А – умеренное склерозирование, не более 2 очагов нефросклероза, В – выраженный нефросклероз (более 2 очагов), но с сохраненной между очагами паренхимой, С – backpressure-тип, диффузное истончение паренхимы, дилатация собирательной системы, уменьшение почки в размерах, D – гипопластическая или диспластическая почка, выраженное снижение или отсутствие функции [42].

На современном этапе существует подход, который исключает ЭУ из диагностического алгоритма у детей с ОУ. Смещение акцентов в этих случаях происходит в сторону радионуклидных, ультразвуковых и магнитно-резонансных методов визуализации. Также важное место отводится гибридным технологиям, сочетающим в себе рентгеноконтрастное исследование (экскреторная КТ-урография) с радионуклидным исследованием (динамическая нефросцинтиграфия – ДНС с МАГЗ). В сочетании с непрямой микционной цистографией (МЦ) эти методы дают достаточное представление о патологическом процессе, и нет необходимости в проведении ЭУ [43, 44].

Микционная цистография

МЦ – метод рентгеноконтрастного исследования мочевого пузыря и уретры, позволяющий выявить и оценить степень ПМР, а также при визуализации уретры во время микции позволяет заподозрить препятствие оттоку мочи на уровне пузырно-уретрального сегмента [45, 46]. В клинической практике распространены две модификации цистографии – нисходящая и восходящая. Нисходящую цистографию проводят непосредственно после ЭУ. Больной получает пероральную водную нагрузку из расчета 10 мл/кг, которая способствует быстрому заполнению мочевого пузыря контрастной жидкостью. При возникновении у больного позыва на мочеиспускание его укладывают на рентгеновский стол и в момент опорожнения мочевого пузыря выполняют рентгенографию. Нисходящая цистография имеет ряд недостатков: относительно низкая контрастность изображения нижних мочевых путей, трудно выявить ПМР вследствие продолжающегося процесса выведения почками контрастного вещества [47–50].

Компьютерная томография с урографией

Компьютерная томография с урографией (КТУ) занимает важное место в диагностическом алгоритме у детей с ОУ, так как позволяет получить подробную визуализацию не только мочевыводящих путей, но и при необходимости сосудов почки [51, 52]. Однако необходимо учитывать дозовую нагрузку, которую получает пациент при этом исследовании. Для оптимизации диагностического процесса и снижения дозовой нагрузки на ребенка был предложен алгоритм, включающий в себя КТУ как часть гибридной технологии в сочетании с ДНС с МАГЗ. Суть метода заключается в одновременном введении радиофармпрепарата (РФП) и рентгеновского контрастного вещества с выполнением дальнейшего сканирования только области, подозрительной на наличие стеноза, что позволило существенно снизить дозовую нагрузку [53].

Магнитно-резонансная урография

Применение магнитно-резонансной урографии (МРУ) стало в наибольшей степени возможным у детей разного возраста в связи с увеличением количества соответствующего оборудования и накопления специалистами опыта в проведении данных исследований, в том числе и у детей младшего возраста с применением различных методов седации. Получаемые изображения при контрастной и бесконтрастной МРУ позволяют качественно визуализировать паренхиму почек, собирательную систему, мочеточники и мочевой пузырь [54, 55]. Проведение контрастной МРУ позволяет получить представление о функциональном состоянии почечной ткани, наличии повреждений паренхимы [56, 57]. Однако проведение данного исследования у детей сопряжено с рядом сложностей, связанных с необходимостью полной неподвижности в течение длительного времени, нахождения в замкнутом пространстве МР-томографа и достаточно высоким уровнем шума. Эти факторы важно учитывать при планировании исследований детям младшего возраста в связи с необходимостью выполнения анестезиологического пособия.

Радионуклидная диагностика ОУ у детей

На протяжении более чем 40 лет радионуклидная диагностика является неотъемлемой частью клинического процесса в детской урологии. Несмотря на высокие темпы развития лучевой диагностики в целом, получение функциональных данных остается прерогативой радионуклидной диагностики. Такие исследования, как статическая нефросцинтиграфия, ДНС, радионуклидная цистография, не требуют специальной подготовки пациентов. В подавляющем большинстве случаев для проведения исследований не требуется наркоз или иной вид седации, даже самым маленьким пациентам исследование можно выполнить в состоянии естественного сна. Важным аспектом успешного радионуклидного исследования в детской урологии является дружественное отношение к детям сотрудников отделений, проводящих исследование, и применение технологий, направленных на снижение болевых ощущений, испытываемых ребенком при постановке периферического катетера, что формирует у ребенка положительное впечатление от посещения лечебного учреждения [58].

Методики выполнения всех видов нефросцинтиграфии у детей неоднократно пересмотрены и подробно описаны в руководствах Европейского и Североамериканского обществ специалистов ядерной медицины [59–65]. Также за последние 10 лет вышло несколько обзоров, посвященных вопросам радионуклидной диагностики в детской урологии, которые содержат обширную информацию по этой теме [66–68].

Динамическая нефросцинтиграфия при ОУ у детей

За более чем сорокалетнюю историю существования ДНС зарекомендовала себя как незаменимый метод в функциональной оценке состояния почек у детей с ОУ. На раннем этапе применения метод страдал от значительной вариабельности, но с течением времени был стандартизован и в настоящий момент является способом получения объективной информации о функции почек и состоянии уродинамики [59, 69, 70].

ДНС может выполняться с двумя принципиально различными типами РФП: экскретируемыми канальцами и фильтрующимися клубочками. К РФП, экскретируемым канальцами, относятся I-123-гиппуран, Tc-99m-МАГЗ и Tc-99m-этилендицистеин. К препаратам, фильтрующимся клубочками, относится Tc-99-ДТПА. РФП, экскретируемые канальцами, обладают большим ренальным захватом в сравнении с клубочковыми, что делает их применение в детской практике более эффективным благодаря лучшему соотношению почки/фон. РФП на основе Tc-99-ДТПА применяется в

тех случаях, когда необходимо определить скорость клубочковой фильтрации [59].

Наиболее часто для ДНС применяется препарат на основе Тс-99м-МАГЗ, который удаляется из плазмы, поглощаясь в проксимальных почечных канальцах [71–73]. Почечный захват составляет 40–50% введенного препарата, что более чем в 2 раза выше, чем у Тс-99-ДТПА. Такой показатель почечного захвата делает препарат на основе Тс-99м-МАГЗ идеальным для детей с ОУ и нарушением почечной функции [73, 74]. Рекомендуемые вводимые активности для данного исследования окончательно не согласованы. Европейское общество ядерной медицины рекомендует минимальную активность 15 МБк, североамериканское руководство рекомендует минимальную активность 19 МБк, и ряд авторов указывают минимальную активность 37 МБк [60, 75]. Вне зависимости от выбранного подхода к минимальной вводимой активности эффективная доза у детей составляет менее 1 мЗв (в среднем 0,5–0,7 мЗв), при этом снижение вводимой активности приветствуется при сохранении диагностической информативности получаемых данных [76–78]. Для проведения качественной ДНС необходимым условием является достаточная гидратация пациента. Некоторые руководства указывают на необходимость внутривенной гидратации [60], в то же время другие руководства считают достаточной проведение пероральной гидратации, которую можно начинать за несколько часов до исследования [59]. Мы в своей практике считаем достаточной применение пероральной гидратации, если пероральное поступление жидкости не противопоказано по каким-либо причинам.

Получение изображения осуществляется с частотой 1 кадр в 20 с. Применяется низкоэнергетический коллиматор общего назначения и зум, скорректированный в соответствии с размерами ребенка. Минимальное время проведения исследования 20 мин. Время исследования может быть увеличено за счет проб с диуретиком и прямой МЦ, которые необходимы для выявления обструкции [59, 60]. Рекомендованная североамериканским руководством катетеризация мочевого пузыря не находит подтверждения в европейском руководстве, а также в нашей практике не применяется.

При анализе данных ДНС может определяться как общая, так и раздельная почечная функция. Для определения почечной функции необходимо выделение достаточно полной зоны интереса, включающей всю почечную ткань, чтобы никакая почечная активность не осталась за пределами выделенной зоны интереса [79–81]. Оценка повреждения почек осуществляется на основе визуальной оценки изображений на всех стадиях транспорта РФП, с помощью построения кривых активность–время, а также при определении показателей, дающих количественную оценку захвата РФП [82–86]. ДНС является эффективным методом оценки выведения мочи из собирательной системы почки. В исследованиях, не подозрительных на обструкцию, выведение меченой мочи происходит за время стандартного исследования (20 мин). В случаях, когда этого не происходит, возможно применение теста с диуретиком. Функциональная проба с диуретиком была предложена в 1970 г. как средство дифференцировки обструкции и застоя мочи, связанного с расширением собирательной системы [87]. В стандартных условиях диуретик вводится на 20-й минуте в случае слабого выведения мочи из собирательной системы почки. Исследование пролонгируется до 40 мин. Расширенная лоханка без обструкции обычно показывает активную реакцию с достаточно полным выведением в ответ на введение диуретика. Лоханка с признаками обструкции может показать слабую реакцию на введение диуретика или не отреагировать совсем. Относительно недавно в практику была введена методика «F0», при использовании которой диуретик вводится одновременно с РФП. Это приводит к сокращению времени сбора данных и к лучшему выведению мочи к концу

нефросцинтиграммы, что особенно важно при обследовании детей. Также существует методика введения диуретика за 15 мин до введения РФП, что позволяет получать нефросцинтиграмму под полным действием диуретика [88–92]. Рекомендуемые дозы диуретика – фуросемида: для детей до 1 года 1 мг/кг, старше 1 года – 0,5 мг/кг (но не более 20 мг однократно). Одной из сложностей, связанной с оценкой выведения, является заполненный мочевой пузырь в конце исследования. Для адекватной оценки выведения в таких ситуациях рекомендуется получение постмикционного отсроченного статического изображения. Для этого необходимо придать пациенту вертикальное положение как минимум на 15 мин [59, 93]. Оценка дренажа была стандартизирована с предложением нескольких функциональных параметров. Эффективность выхода представляет собой количество активности, которая покинула почку, выраженную в процентах от того, что поступило в почку [94]. Нормализованная остаточная активность является параметром, обратно коррелирующим с эффективностью выхода, и описывает количество активности, остающейся в почке в конце исследования [95]. Проблемы с интерпретацией ДНС могут возникать в случаях экстрavasации (частичного подкожного введения) РФП, активного движения ребенка, состояния мочевого пузыря, высокой фоновой активности, низкой почечной функции и значительного расширения собирательной системы [96].

Статическая нефросцинтиграфия при ОУ у детей

Статическая нефросцинтиграфия с Тс-99-ДМЯК (Тс-99-DMSA) в настоящее время является методом выбора при оценке паренхиматозной почечной целостности и предоставляет наиболее достоверную информацию о дифференциальной почечной функции. Тс-99-ДМЯК используется для выявления очаговых аномалий почечной паренхимы при: ОУ, пиелонефрите, постинфекционных почечных осложнениях, а также почечных врожденных аномалиях (удвоенная почка, гипопластическая или диспластическая почка, подковообразная почка и скрещенная почечная эктопия) и для подтверждения нефункционирующей почки, такой как поликистозная диспластическая почка [63, 65, 97, 98].

Тс-99-ДМЯК связывается с белками плазмы крови, захватывается из кровотока путем канальцевой абсорбции и накапливается в корковом веществе почки. Захват почками РФП зависит от таких факторов, как: кровоток в почке, состояние клубочковой фильтрации и опосредованного мегалином и кубилином эндоцитоза в проксимальных канальцах из клубочкового фильтра [74, 99]. Вводимая внутривенная активность определяется рекомендациями педиатрического совета EANM (European Association of Nuclear Medicine). Минимальная активность составляет 18 МБк и постепенно увеличивается у старших детей в соответствии с увеличением возраста и массы тела. Может быть применен калькулятор доз EANM [75, 100].

Изображения оптимального качества получают через 2–3 ч после инъекции РФП, когда кора почки накапливает 40–65% введенного препарата. Изображения должны быть получены, когда ребенок находится в положении лежа на спине, как можно ближе к поверхности коллиматора, чтобы улучшить качество изображения. Задние косые и боковые проекции, а также передние проекции могут быть получены в случаях необходимости, например, при тазовой дистопии почки. В ряде случаев применение пинхол-коллиматоров может улучшить разрешение изображения и способствовать лучшему обнаружению рубцевания почек, однако они могут исказить анатомию и увеличить время исследования, что может привести к ухудшению изображения из-за артефактов движения.

У детей более старшего возраста и у детей, хорошо выполняющих команды во время исследования, европейские и североамериканские рекомендации указы-

вают получать как минимум 300 000–500 000 счетов (или 600 с изображения) для задней проекции и по меньшей мере 350 000 счетов (или 600 с изображения) для задней косой проекции. Для младших и более активных детей число отсчетов может быть уменьшено, по крайней мере, до 250 000 счетов (или 600 с изображения), полученных для задней проекции, и 200 000 отсчетов (или 600 с изображения) для задней косой проекции. Матрица сбора данных должна быть 128×128 или 256×256. Если требуются точечные изображения, руководящие принципы предусматривают 100 000–150 000 отсчетов для лучшего обнаружения небольших кортикальных дефектов. В большинстве случаев высококачественных статических плоскостных изображений достаточно для точной диагностической оценки, но в ряде случаев может потребоваться выполнение однофотонной эмиссионной КТ с возможным добавлением низкодозовой КТ (где такой сканер доступен), что может быть полезным в сложных случаях, например, почечной эктопии и сложных почечных камней [101, 102]. Недавние исследования предложили скитинграфию Tc-99-ДМЯК для прогнозирования дилатационного ПМР у маленьких детей с фебрильной инфекцией мочевыводящих путей, но до сих пор в литературе доступны только ограниченные (а иногда и противоречивые) данные [103–108].

Этапы обработки полученных данных и написания протокола исследования в большинстве случаев достаточно просты, но могут усложняться, например, при анализе удвоенной или подковообразной почки. Выделяются область интереса для каждой почки, а также области интереса фона, для его последующего вычитания. Подковообразные почки лучше определяются при визуализации в передней проекции, чтобы обнаружить перешеек почечной ткани спереди от позвоночника, однако задний вид также должен быть получен.

При интерпретации изображений следует учитывать несколько возможных ошибок, таких как нормальные варианты, например, вращение оси почки, эктопированные почки, перекрестная эктопия, влияние артефактов движений, высокая фоновая активность, активность в собирающей системе почек и следовое загрязнение. Изображения с Tc-99-ДМЯК в идеале должны оцениваться с учетом результатов УЗИ почек, если таковые имеются [96].

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests. The authors declare that there is not conflict of interests.

Литература/References

1. Диагностика обструктивных уropатий у детей методами ядерной медицины. Под ред. С.П.Яцька. М.: Педиатр, 2014. [Diagnosis of obstructive uropathy in children by nuclear medicine. Pod red. S.Platyuka. Moscow: Pediatr, 2014. (in Russian).]
2. Аверьянова В.И., Долотказина Е.В., Ширинкин А.В., Балуева Л.Г. Анализ частоты и характера врожденной патологии почек у детей по данным постнатального ультразвукового скрининга. *Соврем. проблемы науки и образования*. 2017; 6: 114. [Aver'ianova V.I., Dolotkazina E.V., Shirinkin A.V., Balueva L.G. Analiz chastoty i kharaktera vrozhdennoi patologii почек u detei po dannym postnatal'nogo ultrazvukovogo skrininga. *Sovrem. problemy nauki i obrazovaniia*. 2017; 6: 114 (in Russian).]
3. Картамышева Н.И. Тубулоинтерстициальные изменения при хронических заболеваниях почек у детей. Дис. ... канд. мед. наук. М.: Научный центр здоровья детей РАМН, 2002. [Kartamyshcheva N.I. Tubulointerstitialnye izmeneniia pri khronicheskikh zabolevaniiax почек u detei. Dis. ... kand. med. nauk. Moscow: Nauchnyi tsentr zdorov'ia detei RAMN, 2002 (in Russian).]
4. Radiological Imaging of the Kidney. Ed. by E Quaia. Berlin: Springer, 2011.
5. Переверзев А.С. Обструктивная уронефropатия у детей. Материалы трудов VIII Международного конгресса урологов «Актуальные проблемы детской урологии». Харьков, 2000; с. 3–28. [Pereverzev A.S. Obstruktivnaia uronefropatiia u detei. Materialy trudov VIII Mezhdunarodnogo kongressa urologov «Aktual'nye problemy detskoii urologii». Khar'kov, 2000; s. 3–28 (in Russian).]
6. Kimura T, Isaka Y, Yoshimori T. Autophagy and kidney inflammation. *Autophagy* 2017; 13 (6): 997–1003.
7. Strutz F, Neilson E. The role of lymphocytes in progression of interstitial disease. *Kidney Int* 1994; 45: 106–10.
8. Eddy A. Molecular basis of renal fibrosis. *Pediatr Nephrol* 2000; 15 (3): 290–301.
9. Diamond JR, Ricardo SD, Klahr S. Mechanisms of interstitial fibrosis in obstructive nephropathy. *Semin Nephrol* 1998; 18 (6): 594–602.
10. Klahr S. Obstructive nephropathy. *Kid Inter* 1998; 54 (1): 286–300.
11. Klahr S. Urinary tract obstruction. *Semin Nephrol* 2001; 21 (2): 133–45.
12. Areses R, Arruebarrena D, Urbietta MA et al. Severe primary vesicoureteral reflux in infants. A follow-up of 203 cases. *Nefrologia* 2004; 24 (2): 131–41.
13. De Palma D, Manzoni GA. The detection of vesicoureteral reflux in the nonfunctioning lower half of an occult duplex kidney by Tc-99m MAG3 indirect radionuclide cystography. *Clin Nucl Med* 2000; 25 (8): 628–9.
14. Estornell Moragues F, Reid Ruiz C, Dominguez Hinarejos C et al. Primary vesicoureteral reflux in childhood. The current aspects and future outlook. *Arch Esp Urol* 1998; 51 (6): 616–24.
15. Yoneda A, Cascio S, Oue T et al. Risk factors for the development of renal parenchymal damage in familial vesicoureteral reflux. *J Urol* 2002; 168 (4 Pt2): 1704–7.
16. Cooke MS, Evans MD, Lunec J. DNA repair: insights from urinary lesion analysis. *Free Radic Res* 2002; 36 (9): 929–32.
17. Warcho W, Krzemie G, Szymielska A et al. Endoscopic correction of vesicoureteral reflux in children using polyacrylatepolyalcohol copolymer (Vantris): 5-years of prospective follow-up. *Cent Eur J Urol* 2017; 70: 314–9.
18. Moradi M, Seyedzadeh A, Gharakhloo S et al. The Modified Gil-Vernet Antireflux Surgery: A Successful Technique for High-Grade Vesicoureteral Reflux Correction in Children-Long-Term Follow-Up. *Adv Urol* 2018; 10: 1–5.
19. Rodriguez MV, Boysen W, Gundeti MS. Robot-assisted laparoscopic common sheath ureteral reimplantation in duplex ureters: LUAA technique tips for optimal outcomes. *J Ped Urol Elsevier Ltd* 2018; 14: 353–5.
20. Grimsby GM, Dwyer ME, Jacobs MA et al. Multi-institutional review of outcomes of robot-assisted laparoscopic extravesical ureteral reimplantation. *J Urol* 2015; 193 (5): 1791–5.
21. Москалев И.Н. Эволюция функции почек у взрослых, оперированных в детстве по поводу обструктивных уropатий (клинико-экспериментальное исследование). Автореф. дис. ... канд. мед. наук. М., 2001. [Moskalev I.N. Evoliutsiia funktsii почек u vzroslykh, operirovannykh v detstve po povodu obstruktivnykh uropatii (kliniko-eksperimental'noe issledovanie). Avtoref. dis. ... kand. med. nauk. Moscow, 2001 (in Russian).]
22. Нуров Р.М. Хирургическое лечение мегауретера у новорожденных и детей раннего возраста. Автореф. дис. ... канд. мед. наук. СПб., 1999. [Nurov R.M. Khirurgicheskoe lechenie megauretera u novorozhdennykh i detei rannego vozrasta. Avtoref. dis. ... kand. med. nauk. Saint Petersburg, 1999 (in Russian).]
23. Oliveira EA. Primary megaureter detected by prenatal ultrasonography: conservative management and prolonged follow-up. *Int Urol Nephrol* 2000; 32 (1): 13–8.
24. Джавадзаде М.Д. Мегауретер у детей: классификация, этиопатогенез, диагностика, клиника и лечение. *Азерб. мед. журн.* 1983; 11: 13–20. [Dzhavadzade M.D. Megaureter u detei: klassifikatsiia, etiopatogenez, diagnostika, klinika i lechenie. *Azerb. med. zhurn.* 1983; 11: 13–20 (in Russian).]
25. Ghanem MA. Long-term bladder dysfunction and renal function in boys with posterior urethral valves based on urodynamic findings. *J Urol* 2004; 171 (6): 2409–12.
26. Vemulakonda V, Yiee J, Wilcox T. Prenatal Hydronephrosis: Postnatal Evaluation and Management. *Ped Urol* 2014; 15: 430–7.
27. Оперативная урология. Пер. с англ. Ф.Хинман, под ред. Ю.Г.Аляева, В.А.Григоряна. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2007. [Operative urology. Per. s angl. F.Khinman, pod red. Iu.G.Aliaeva, V.A.Grigoriana. Moscow: GEOTAR-Media, 2007 (in Russian).]
28. Губарев В.И., Зоркин С.Н., Сальников В.Ю. и др. Эффективность баллонной дилатации высокого давления при лечении обструктивных уropатий у детей. *Педиатрия. Журн. им. Г.Н.Сперанского*. 2017; 96 (5): 152–6. [Gubarev V.I., Zorkin S.N., Sal'nikov V.Iu. et al. Effektivnost' ballonnoi dilatatsii vysokogo davleniia pri lechenii obstruktivnykh uropatii u detei. *Pediatriia. Zhurn. im. G.N.Speranskogo*. 2017; 96 (5): 152–6 (in Russian).]
29. Егорова И.Р., Ермолаева Л.А., Мунхалова Я.А., Ханды М.В. Врожденная патология органов мочевой системы у детей. *Педиатр*. 2016; 7 (2): 192–3. [Egorova I.R., Ermolaeva L.A., Munkhalova Ia.A., Khandy M.V. Vrozhdennaia patologiiia organov mochevoi sistemy u detei. *Pediatr*. 2016; 7 (2): 192–3 (in Russian).]
30. Suson K, Wolfe-Christensen C, Elder S, Lakshmanan Y. Practice patterns and outcomes of pediatric partial nephrectomy in the United States: Comparison between pediatric urology and general pediatric surgery. *J Ped Urol* 2015; 11: 1711–5.
31. Васильев А.Ю., Ольхова Е.Б. Тактика лучевой диагностики в детской уронефрологии. *Мед. радиология*. 2002; 47 (6): 46–55. [Vasil'ev A.Iu., Ol'khova E.B. Taktika luchevoi diagnostiki v detskoii uronefologii. *Med. radiologiiia*. 2002; 47 (6): 46–55 (in Russian).]

32. Darge K, Trasen A, Troeger J. Diagnostic imaging of vesicoureteral reflux. *Rays* 2002; 27 (2): 99–106.
33. Иванова И.Е., Трефилов А.А., Гусев Р.В. Современное представление об аномалиях развития почек у детей и возможностях их раннего выявления. *Здоровохранение Чувашии*. 2011; 1: 63–70. [Ivanova I.E., Trefilov A.A., Gusev R.V. Sovremennoe predstavlenie ob anomaliiakh razvitiia почек u detei i vozmozhnostiakh ikh rannego vyavleniia. *Zdravookhranenie Chuvashii*. 2011; 1: 63–70 (in Russian).]
34. Степанова А.В. Пренатальная диагностика обструктивной уропатии у плода. *Пренатальная диагностика*. 2011; 15 (4): 298–301. [Stepanova A.V. Prenatal'naia diagnostika obstruktivnoi uropatii u ploda. *Prenatal'naia diagnostika*. 2011; 15 (4): 298–301 (in Russian).]
35. Dias T, Sairam S, Kumarasiri S. Ultrasound diagnosis of fetal renal abnormalities. *Best Pract Res Clin Obstet Gynaecol* 2014; 28: 403–15.
36. Hamdaoui N, Dabadie A, Lesieur E et al. Ultrasound of the fetal urinary system during the first trimester of pregnancy. *Gynecol Obstet Fertil Senologie* 2017; 45: 373–80.
37. Tsuchiya M, Hayashida M, Yanagihara T et al. Ultrasound screening for renal and urinary tract anomalies in healthy infants. *Pediatrics Int* 2003; 45 (5): 617–23.
38. Детская ультразвуковая диагностика в уронефрологии. Под ред. М.И. Пыкова. М.: Видар, 2012. [Detskaia ultrazvukovaia diagnostika v uronefrologii. Pod red. M.I. Pykova. M.: Vidar, 2012 (in Russian).]
39. Ищенко Б.И. Рентгенологическое исследование органов мочевой системы. Пособие для врачей. СПб.: Элби-СПб, 2004. [Ishchenko B.I. X-ray examination of the organs of the urinary system. Manual for doctors. Saint Petersburg: Elbi-SPb, 2004 (in Russian).]
40. Цыгина Е.Н., Воробьева Л.Е., Дворяковский И.В. и др. Оценка состояния почечной паренхимы и уродинамики при врожденных аномалиях почек и мочевых путей с помощью экскреторной урографии. *Мед. визуализация*. 2010; 1: 46–52. [Tsygina E.N., Vorob'eva L.E., Dvoriakovskii I.V. et al. Otsenka sostoiianiia pochechnoi parenkhimy i urodinamiki pri vrozhdennykh anomaliiakh почек i mochevykh putei s pomoshch'iu ekskretornoj urografii. *Med. vizualizatsiia*. 2010; 1: 46–52 (in Russian).]
41. Шаханов А.Ш., Набиев З.Н., Ибодов Х.И., Займудинов Б.М. Рентгенпланометрия при врожденном гидронефрозе у детей. *Известия Академии наук Республики Таджикистан, отделение биологических и медицинских наук*. 2012; 179 (2): 73–7. [Shakhanov A.Sh., Nabiev Z.N., Ibovov Kh.I., Zaimuddinov B.M. Rentgenplanometriia pri vrozhdennom gidronefroze u detei. *Izvestiia Akademii nauk Respubliki Tadjikistan, otdelenie biologicheskikh i meditsinskikh nauk*. 2012; 179 (2): 73–7 (in Russian).]
42. Зорин И.В., Вялкова А.А., Бажитова Н.Н. Структурные и функциональные изменения почек у детей с пузырно-мочеточниковым рефлюксом и рефлюкс-нефропатией. *Бюл. Оренбургского научного центра УрО РАН (электронный журн.)*. 2013; 2. [Zorin I.V., Vialkova A.A., Bazhitova N.N. Strukturnye i funktsionalnye izmeneniia почек u detei s puzyrno-mochetochnikovym refluksom i refluks-nefropatii. *Biul. Orenburgskogo nauchnogo tsentra UrO RAN (elektronnyi zhurn.)*. 2013; 2 (in Russian).]
43. Павлов А.Ю., Фомин Д.К., Люгай О.О. и др. Формирование нового алгоритма диагностики аномалий и пороков развития мочевой системы у детей. *Вестн. Российского научного центра рентгенорадиологии Минздрава России*. 2016; 16 (4): 3–13. [Pavlov A.Iu., Fomin D.K., Liugai O.O. i dr. Formirovanie novogo algoritma diagnostiki anomalii i porokov razvitiia mochevoi sistemy u detei. *Vestn. Rossiiskogo nauchnogo tsentra rentgenoradiologii Minzdrava Rossii*. 2016; 16 (4): 3–13 (in Russian).]
44. Langstaff C, Mallik M. Antenatally detected urinary tract abnormalities. *Paediatr Child Health* 2014; 24 (7): 303–10.
45. Салов П.П. Пузырно-мочеточниковый рефлюкс у детей раннего возраста. Клиника, диагностика, лечение. Новосибирск, 1991. [Salov P.P. Puzyrno-mochetochnikovyi refluks u detei rannego vozrasta: Klinika, diagnostika, lechenie. Novosibirsk, 1991 (in Russian).]
46. Сорокин Ю.К., Онищенко Т.Т., Виноградова А.В. Диагностика пузырно-мочеточникового рефлюкса методом прицельной цифровой рентгенографии. Дети: здоровье, экология и будущее. Материалы объедин. Науч.-практ. конф. Смоленск, 1994; с. 151–2. [Sorokin Iu.K., Onishchenko T.T., Vinogradova A.V. Diagnostika puzyrno-mochetochnikovogo refluksa metodom pritsel'noi digital'noi rentgenografii. *Deti: zdorove, ekologiia i budushchee. Materialy ob'ed. Nauch.-prakt. konf. Smolensk*, 1994; p. 151–2 (in Russian).]
47. Шарифуллин В.А., Муфазалов Ф.Ф. Модифицированная цистография: новый способ рентгенодиагностики пузырно-мочеточникового рефлюкса. *Соврем. проблемы науки и образования*. 2009; 4: 142–5. [Sharifullin V.A., Mufazalov F.F. Modifitsirovannaia tsistografiia: novyi sposob rentgenodiagnostiki puzyrno-mochetochnikovogo refluksa. *Sovrem. problemy nauki i obrazovaniia*. 2009; 4: 142–5 (in Russian).]
48. Павлов А.Ю., Сабирзянова З.Р., Фомин Д.К. и др. Современные возможности выявления пузырно-мочеточникового рефлюкса у детей. *Вестн. Российского научного центра рентгенорадиологии Минздрава России*. 2012; 12 (4): 2. [Pavlov A.Iu., Sabirzianova Z.R., Fomin D.K. et al. Sovremennye vozmozhnosti vyavleniia puzyrno-mochetochnikovogo refluksa u detei. *Vestn. Rossiiskogo nauchnogo tsentra rentgenoradiologii Minzdrava Rossii*. 2012; 12 (4): 2 (in Russian).]
49. Павлов А.Ю., Мифтяхетдинова О.В., Маслов С.А., Симонян Г.В. Диагностический алгоритм пузырно-мочеточникового рефлюкса у детей. *Вестн. Российского научного центра рентгенорадиологии Минздрава России*. 2011; 11 (3): 2. [Pavlov A.Iu., Miftakhettidina O.V., Maslov S.A., Simonian G.V. Diagnosticheskii algoritm puzyrno-mochetochnikovogo refluksa u detei. *Vestn. Rossiiskogo nauchnogo tsentra rentgenoradiologii Minzdrava Rossii*. 2011; 11 (3): 2 (in Russian).]
50. Шарифуллин В.А. Новые подходы к диагностике пузырно-мочеточникового рефлюкса у детей. *Литературный обзор. Вестн. Российского научного центра рентгенорадиологии Минздрава России*. 2011; 10 (2): 2. [Sharifullin V.A. Noveye podkhody k diagnostike puzyrno-mochetochnikovogo refluksa u detei. *Literaturnyi obzor. Vestn. Rossiiskogo nauchnogo tsentra rentgenoradiologii Minzdrava Rossii*. 2011; 10 (2): 2 (in Russian).]
51. Холин А.В., Акарес С.А., Багомел А.А. Визуализация почечной эктопии с помощью ультразвуковой диагностики, урографии и кт. *Medicus*. 2016; 3 (9): 148–54. [Kholin A.V., Akares S.A., Bagomel A.A. Vizualizatsiia pochechnoi ektopii s pomoshch'iu ultrazvukovoi diagnostiki, urografii i kt. *Medicus*. 2016; 3 (9): 148–54 (in Russian).]
52. Silverman SG. What is current role of CT urography and MR urography in evaluation of the urinary tract? *Radiology* 2009; 250: 309–23.
53. Солодкий В.А., Фомин Д.К., Павлов А.Ю. и др. Гибридные исследования мочевыводящих путей – как ими пользоваться? *Вестн. Российского научного центра рентгенорадиологии Минздрава России*. 2019; 20 (1): 2 (in Russian). [Solodkii V.A., Fomin D.K., Pavlov A.Iu. et al. Gibridnye issledovaniia mochevyvodiaschikh putei – kak imi pol'zovat'sia? *Vestn. Rossiiskogo nauchnogo tsentra rentgenoradiologii Minzdrava Rossii*. 2019; 20 (1): 2 (in Russian).]
54. Халиков А.Д., Маковская А.И. Методика магнитно-резонансной урографии. Лучевая диагностика и терапия. 2014; 3 (5): 98–102. [Khalikov A.D., Makovskaia A.I. Metodika magnitno-rezonansnoi urografii. *Luchevaia diagnostika i terapiia*. 2014; 3 (5): 98–102 (in Russian).]
55. Терновой С.К. Диагностические возможности и клиническое использование МР урографии. *Мед. визуализация*. 2001; 2: 72–7. [Ternovoi S.K. Diagnosticheskie vozmozhnosti i klinicheskoe ispol'zovanie MR urografii. *Med. vizualizatsiia*. 2001; 2: 72–7 (in Russian).]
56. Garcia-Valtuille R. Magnetic resonance urography: a pictorial overview. *Brit J Radiol* 2006; 79: 614–26.
57. Abou ElGhar ME. MRI in patient with chronic obstructive uropathy and compromised renal function: a sole method for morphological and functional assessment. *Brit J Radiol* 2008; 81: 624–9.
58. Mendichovszky I, Solar B, Smeulders N et al. Nuclear Medicine in Pediatric Nephrology: An Overview. *Semin Nucl Med* 2017; 47: 204–28.
59. Gordon I, Piepsz A, Sixt R et al. Guidelines for standard and diuretic renogram in children. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2011; 38 (6): 1175–88.
60. Shulkin BL, Mandell GA, Cooper JA et al. Procedure guideline for diuretic renography in children 3.0. *J Nucl Med Technol* 2008; 36 (3): 162–8.
61. Fettich J, Colarinha P, Fischer S et al. Guidelines for direct radionuclide cystography in children. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2003; 30 (5): 39–44.
62. Gordon I, Colarinha P, Fettich J et al. Guidelines for indirect radionuclide cystography. *Eur J Nucl Med* 2001; 28 (3): 16–20.
63. Piepsz A, Colarinha P, Gordon I et al. Guidelines for 99mTc-DMSA scintigraphy in children. *Eur J Nucl Med* 2001; 28 (3): 37–41.
64. Mandell GA, Eggli DF, Gilday DL et al. Procedure guideline for radionuclide cystography in children. *Society of Nuclear Medicine. J Nucl Med* 1997; 38 (10): 1650–4.
65. Mandell GA, Eggli DF, Gilday DL et al. Procedure guideline for renal cortical scintigraphy in children. *Society of Nuclear Medicine. J Nucl Med* 1997; 38 (10): 1644–6.
66. Piepsz A, Ham HR. Pediatric applications of renal nuclear medicine. *Semin Nucl Med* 2006; 36 (1): 16–35.
67. Piepsz A. Antenatally detected hydronephrosis. *Semin Nucl Med* 2007; 37 (4): 249–60.
68. Ismaili K, Piepsz A. The antenatally detected pelviureteric junction stenosis. *Advances in radiography and strategy of management. Pediatr Radiol* 2013; 43 (4): 428–35.
69. Piepsz A. Antenatal detection of pelviureteric junction stenosis: main controversies. *Semin Nucl Med* 2011; 41 (1): 11–9.
70. Taylor AT, Blaufox MD, DePalma D et al. Guidance document for structured reporting of diuresis renography. *Semin Nucl Med* 2012; 42 (1): 41–8.
71. Shikano N, Kanai Y, Kawai K et al. Transport of 99mTc-MAG3 via rat renal organic anion transporter 1. *J Nucl Med* 2004; 45 (1): 80–5.
72. Eshima D, Taylor AJr. Technetium-99m (99mTc) mercaptoacetyltriglycine: Update on the new 99mTc renal tubular function agent. *Semin Nucl Med* 1992; 22 (2): 61–73.
73. Bubeck B, Brandau W, Weber E et al. Pharmacokinetics of technetium-99m-MAG3 in humans. *J Nucl Med* 1990; 31 (8): 1285–93.
74. Taylor AT. Radionuclides in nephrology, part 1: Radiopharmaceuticals, quality control, and quantitative indices. *J Nucl Med* 2014; 55 (4): 608–15.

75. Grant FD, Gelfand MJ, Drubach LA et al. Radiation doses for pediatric nuclear medicine studies: Comparing the North American consensus guideline and the pediatric dosage card of the European Association of Nuclear Medicine. *Pediatr Radiol* 2015; 45 (5): 706–13.
76. Lassmann M, Biassoni L, Monsieurs M et al. The new EANM paediatric dosage card. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2007; 34 (5): 796–8.
77. Stabin MG, Gelfand MJ. Dosimetry of pediatric nuclear medicine procedures. *Q J Nucl Med* 1998; 42 (2): 93–112.
78. Smith T, Gordon I. An update of radiopharmaceuticals schedules in children. *Nucl Med Commun* 1998; 19 (11): 1023–36.
79. Piepsz A, Tondeur M, Ham H. Relative ^{99m}Tc -MAG3 renal uptake: Reproducibility and accuracy. *J Nucl Med* 1999; 40 (6): 972–6.
80. Lythgoe MF, Gordon I, Khader Z et al. Assessment of various parameters in the estimation of differential renal function using technetium-99m mercaptoacetyltriglycine. *Eur J Nucl Med* 1999; 26 (2): 155–62.
81. Tomaru Y, Inoue T, Oriuchi N et al. Semi-automated renal region of interest selection method using the double-threshold technique: Inter operator variability in quantitating ^{99m}Tc -MAG3 renal uptake. *Eur J Nucl Med* 1998; 25 (1): 55–9.
82. Moonen M, Jacobsson L, Granerus G et al. Determination of split renal function from gamma camera renography: A study of three methods. *Nucl Med Commun* 1994; 15 (9): 704–11.
83. Piepsz A, Kinthaert J, Tondeur M et al. The robustness of the Patlak-Rutland slope for the determination of split renal function. *Nucl Med Commun* 1996; 17 (9): 817–21.
84. Groothedde RT. The individual kidney function. A comparison between frame summation and deconvolution. *Nucl Med Commun* 1985; 6 (9): 513–8.
85. Sennewald K, Taylor Afr. A pitfall in calculating differential renal function in patients with renal failure. *Clin Nucl Med* 1993; 18 (5): 377–81.
86. Samal M, Nimmon CC, Britton KE et al. Relative renal uptake and transit time measurements using functional factor images and fuzzy regions of interest. *Eur J Nucl Med* 1998; 25 (1): 48–54.
87. O'Reilly PH, Testa HJ, Lawson RS et al. Diuresis renography in equivocal urinary tract obstruction. *Br J Urol* 1978; 50 (2): 76–80.
88. Liu Y, Ghesani NV, Skurnick JH et al. The F0 protocol for diuretic renography results in fewer interrupted studies due to voiding than the F15 protocol. *J Nucl Med* 2005; 46 (8): 1317–20.
89. Kuyvenhoven J, Piepsz A, Ham H. When could the administration of furosemide be avoided? *Clin Nucl Med* 2003; 28 (9): 732–7.
90. Adeyoju AA, Burke D, Atkinson C et al. The choice of timing for diuresis renography: The F0 method. *BJU Int* 2001; 88 (1): 1–5.
91. Wong DC, Rossleigh MA, Farnsworth RH. Diuretic renography with the addition of quantitative gravity-assisted drainage in infant and children. *J Nucl Med* 2000; 41 (6): 1030–6.
92. Sfakianaki E, Sfakianakis GN, Georgiou M et al. Renal scintigraphy in the acute care setting. *Semin Nucl Med* 2013; 43 (2): 114–28.
93. Conway JJ, Maizels M. The "welltempered" diuretic renogram: A standard method to examine the asymptomatic neonate with hydronephrosis or hydrourteronephrosis. A report from combined meetings of The Society for Fetal Urology and members of The Pediatric Nuclear Medicine Council – the Society of Nuclear Medicine. *J Nucl Med* 1992; 33 (11): 2047–205.
94. Chaiwatanarat T, Padhy AK, Bomanji JB et al. Validation of renal output efficiency as an objective quantitative parameter in the evaluation of upper urinary tract obstruction. *J Nucl Med* 1993; 34 (5): 845–8.
95. Piepsz A, Tondeur M, Ham H. NORA: A simple and reliable parameter for estimating renal output with or without furosemide challenge. *Nucl Med Commun* 2000; 21 (4): 317–23.
96. Biassoni L. Pitfall and limitations of radionuclide renal imaging in pediatrics. *Semin Nucl Med* 2015; 45 (5): 411–27.
97. Familiari D, DiFranco D, Cacciaguerra S et al. Potential usefulness of ^{99m}Tc -DMSA for radioguided surgery in pediatric renal dysplasia. *Clin Nucl Med* 2016; 41 (2): 107–10.
98. Tsalkidis A, Gardikis S, Kambouri K et al. (^{99m}Tc -DMSA scintigraphy diagnosing crossed renal ectopia with fusion in a three years old boy. *J Nucl Med* 2011; 14 (3): 300–3.
99. Weyer K, Nielsen R, Petersen SV et al. Renal uptake of ^{99m}Tc -dimercaptosuccinic acid dependent on normal proximal tubule receptor-mediated endocytosis. *J Nucl Med* 2013; 54 (1): 159–65.
100. Lassmann M, Treves ST, Group ESPDHW. Paediatric radiopharmaceutical administration: Harmonization of the 2007 EANM paediatric dosage card (version 1.5.2008) and the 2010 North American consensus guidelines. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2014; 41 (5): 1036–41.
101. Cao X, Xu X, Grant FD, Treves ST. Estimation of split renal function with (^{99m}Tc -DMSA SPECT: Comparison between 3D volumetric assessment and 2D coronal projection imaging. *AJR* 2016; 207 (6): 1324–8.
102. Sheehy N, Tetraut TA, Zurakowski D et al. Pediatric ^{99m}Tc -DMSA SPECT performed by using iterative reconstruction with isotropic resolution recovery: Improved image quality and reduced radiopharmaceutical activity. *Radiology* 2009; 251 (2): 511–6.
103. Zhang X, Xu H, Zhou L et al. Accuracy of early DMSA scan for VUR in young children with febrile UTI. *Pediatrics* 2014; 133 (1): 30–8.
104. Shih BF, Tsai JD, Tsao CH et al. Reappraisal of the effectiveness of ^{99m}Tc -dimercaptosuccinic acids cans for selective voiding cystourethrography in children with a first febrile urinary tract infection. *Kaohsiung J Med Sci* 2014; 30 (12): 608–12.
105. Sheu JN, Wu KH, Chen SM et al. Acute ^{99m}Tc -DMSA scan predicts dilating vesicoureteral reflux in young children with a first febrile urinary tract infection: A population-based cohort study. *Clin Nucl Med* 2013; 38 (3): 163–8.
106. Printza N, Farmaki E, Piretzi K et al. Acute phase ^{99m}Tc -dimercaptosuccinic acid scan in infants with first episode of febrile urinary tract infection. *World J Pediatr* 2012; 8 (1): 52–6.
107. Mantadakis E, Vouloumanou EK, Georgantzi GG et al. Acute ^{99m}Tc -DMSA scan for identifying dilating vesicoureteral reflux in children: a meta-analysis. *Pediatrics* 2011; 128 (1): 169–79.
108. Shaikh N, Spingarn RB, Hum SW. Dimercaptosuccinic acid scan or ultrasound in screening for vesicoureteral reflux among children with urinary tract infections. *Cochrane Database Syst Rev* 2016; 7.

Информация об авторах / Information about the authors

Сиденко Андрей Владимирович – врач-радиолог блока радионуклидных исследований отделения рентгеновской компьютерной томографии ФГАУ «НМИЦ здоровья детей». E-mail: sidenko44@bk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7628-7939>

Яцк Сергей Павлович – чл.-кор. РАН, д-р мед. наук, проф., рук. института детской хирургии ФГАУ «НМИЦ здоровья детей». E-mail: prof.yatsyk@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8876-6232>

Герасимова Надежда Петровна – канд. мед. наук, врач-радиолог блока радионуклидных исследований отделения рентгеновской компьютерной томографии ФГАУ «НМИЦ здоровья детей». E-mail: radionuklidnczd@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6259-6469>

Комарова Надежда Львовна – врач-радиолог блока радионуклидных исследований отделения рентгеновской компьютерной томографии ФГАУ «НМИЦ здоровья детей». E-mail: nadezhda.kom@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5841-5848>

Калашникова Юлия Викторовна – врач-радиолог блока радионуклидных исследований отделения рентгеновской компьютерной томографии ФГАУ «НМИЦ здоровья детей». E-mail: juleia321@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5631-2183>

Тарзан Арам Оганесович – канд. мед. наук, врач уролог-андролог ФГАУ «НМИЦ здоровья детей». E-mail: tarzianmd@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7316-4880>

Andrei V. Sidenko – radiologist, National Medical Research Center for Children's Health. E-mail: sidenko44@bk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7628-7939>

Sergei P. Iatsyk – D. Sci. (Med.), Prof., Corr. Memb. RAS, National Medical Research Center for Children's Health. E-mail: prof.yatsyk@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8876-6232>

Nadezhda P. Gerasimova – Cand. Sci. (Med.), National Medical Research Center for Children's Health. E-mail: radionuklidnczd@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6259-6469>

Nadezhda L. Komarova – radiologist, National Medical Research Center for Children's Health. E-mail: nadezhda.kom@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5841-5848>

Julia V. Kalashnikova – radiologist, National Medical Research Center for Children's Health. E-mail: juleia321@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5631-2183>

Aram O. Tarzian – Cand. Sci. (Med.), National Medical Research Center for Children's Health. E-mail: tarzianmd@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7316-4880>

Статья поступила в редакцию / The article received: 11.09.2019

Статья принята к печати / The article approved for publication: 01.10.2019