 © Авторы статьи / Authors of the article

УРОЛОГИЯ И АНДРОЛОГИЯ/UROLOGY AND ANDROLOGY

DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.154.52 EDN: DKOIWI

УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ ГЕМОДИНАМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПОЧЕК ПРИ ПАТОЛОГИИ ВЕРХНИХ МОЧЕВЫХ ПУТЕЙ

Обзор

Куплинова К.В.[1,] *, Рязанцев В.Е.[2], Скворцов И.А.[3], Антипкин И.И.[4]
[1] ORCID : 0009-0007-0686-0836;
[3] ORCID : 0009-0008-7426-0303;
[1, 2, 3, 4] Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (kuplinova.ksenia[at]yandex.ru)

Предложена: 31.03.2025; Принята: 04.04.2025; Опубликована: 17.04.2025

Аннотация

Важность исследований гемодинамических параметров почек обусловлена увеличением числа заболеваний, связанных с нарушением их функции. В последние годы наблюдается рост числа случаев заболеваний, связанных с воспалительными заболеваниями, мочекаменной болезнью и другими патологиями, что указывает на важность более эффективных методов диагностики и мониторинга состояния органов мочевыделительной системы. Ультразвуковая диагностика зарекомендовала себя как высокоинформативный и неинвазивный метод, позволяющий не только визуализировать анатомическую структуру, но и оценить функциональное состояние почек, в том числе с помощью определения показателей гемодинамических параметров.

Определение и изучение ультразвуковых гемодинамических параметров, таких как скорость кровотока, индекс резистентности, пульсационный индекс и другие показатели, может сыграть ключевую роль в своевременной диагностике патологий верхних мочевых путей. Правильная интерпретация этих параметров позволяет специалисту быстрее определить степень тяжести заболевания, а также прогнозировать потенциальные риски отрицательной динамики функции почек.

Таким образом, исследование гемодинамических показателей почек с помощью ультразвука в контексте патологии верхних мочевых путей имеет не только теоретическое, но и практическое значение, так как может значительно влиять на качество диагностики и, как следствие, повысить эффективность лечения и улучшить прогноз для пациентов.

Ключевые слова: ультразвуковое исследование, патология, почки, мочевые пути, допплерометрия.

ULTRASOUND HAEMODYNAMIC PARAMETERS OF KIDNEYS IN UPPER URINARY TRACT PATHOLOGY

Review article

Kuplinova K.V.[1,] *, Ryazantsev V.Y.[2], Skvortsov I.A.[3], Antipkin I.I.[4]
[1] ORCID : 0009-0007-0686-0836;
[3] ORCID : 0009-0008-7426-0303;
[1, 2, 3, 4] Ogarev Mordovian State University, Saransk, Russian Federation

* Corresponding author (kuplinova.ksenia[at]yandex.ru)

Suggested: 31.03.2025; Accepted: 04.04.2025; Published: 17.04.2025

Abstract

The importance of studies of renal haemodynamic parameters is due to the increasing number of diseases associated with renal dysfunction. In recent years, there has been an increase in the number of cases of diseases associated with inflammatory diseases, urolithiasis and other pathologies, which indicates the importance of more effective methods of diagnostics and monitoring of the state of the urinary system organs. Ultrasound diagnostics has proved to be a highly informative and non-invasive method that allows not only to visualise the anatomical structure, but also to evaluate the functional state of the kidneys, including the determination of hemodynamic parameters.

Determination and study of ultrasound haemodynamic parameters such as blood flow velocity, resistance index, pulsation index and other parameters can play a key role in the timely diagnosis of upper urinary tract pathologies. Correct interpretation of these parameters allows the specialist to determine the severity of the disease more quickly, as well as to predict the potential risks of negative dynamics of renal function.

Thus, the study of renal haemodynamic parameters using ultrasound in the context of upper urinary tract pathology has not only theoretical but also practical importance, as it can significantly influence the quality of diagnosis and, as a consequence, increase the effectiveness of treatment and improve the prognosis for patients.

Keywords: ultrasound, pathology, kidney, urinary tract, dopplerometry.

Введение

Почка — это высоковаскуляризированный орган. Оптимальный режим кровообращения в сосудистом бассейне почек является необходимым условием их нормальной деятельности [1], [2].

Несмотря на то, что почки составляют <1% от веса тела, они получают высокий приток крови (~1,2–1,4 л/мин), что составляет около 20% сердечного выброса у взрослого человека в состоянии покоя при небольшой общей массе

 © Авторы статьи / Authors of the article

почек (300 г). Почки имеют уникальную систему перфузии с двумя отдельными капиллярными руслами, в то время как почечная кора получает большой приток крови. В мозговое вещество поступает только 10% почечного кровотока, что свидетельствует о том, что корковое и мозговое кровообращение регулируются независимо [3].

Пространственное расположение каждой почечной артериолы с соответствующим ей нефроном имеет решающее значение для регуляции почечного кровотока, скорости клубочковой фильтрации и других специализированных функций почек, которые поддерживают гомеостаз.

Микроциркуляция — это мельчайшая сеть кровеносных сосудов в организме, где происходит основной обмен веществ между кровью и тканями. Она включает в себя артериолы, капилляры, венулы и их составляющие, при этом диаметр сосудов не превышает 20 микрометров.

Микроциркуляция крайне важна для работы почек, поскольку обеспечивает их кислородом. Почки потребляют очень много кислорода (более 80% от поступающего) для выработки энергии (АТФ), необходимой для активного переноса натрия в почечных канальцах. Этот процесс реабсорбции натрия напрямую зависит от работы натрий-калиевого насоса (Na+/K+). Повреждение почечной микроциркуляции, приводящее к острому повреждению почек (ОПН), может быть вызвано гипоксией, окислительным/нитрострессом и/или воспалительными медиаторами и считается центральным в последствиях, приводящих к ОПН [4].

Ренальная ауторегуляция защищает капилляры клубочков от острого повышения артериального давления. Вовлечены два основных механизма: миогенный ответ и механизм тубуло-гломерулярной обратной связи. Оба механизма вызывают вазоконстрикцию в афферентной артериоле и дистальной части корковых радиальных артерий для обеспечения постоянного почечного кровотока и давления клубочковой фильтрации при остром повышении артериального давления. Миогенная реакция вызывает сужение афферентных артериол при повышении внутрисосудистого давления и свойственна сосудистым гладкомышечным клеткам [5].

Хотя почки человека весят всего около 100–180 г (0,5% веса тела), они получают более 20% сердечного выброса. Почки имеют сложное кровообращение, поскольку артериальная система дает начало двум последовательным капиллярным руслам. Сначала она разветвляется на афферентные артериолы клубочка, питающие капиллярное русло клубочка, за которыми следует эфферентная артериола, которая затем снова разветвляется, образуя перитубулярное капиллярное русло, снабжающее весь нефрон. Капилляры клубочка имеют решающее значение для создания первичного фильтрата, тогда как перитубулярные капилляры имеют решающее значение для реабсорбции благодаря их непосредственной близости к эпителиальным клеткам канальцев [6].

Почки непрерывно самостоятельно регулируют свой кровоток, модулируя сосудистое сопротивление (ауторегуляция). Чувствительные к растяжению рецепторы в афферентной артериолярной стенке адаптируют тонус сопротивления для поддержания постоянного внутриклубочкового давления в диапазоне среднего артериального давления от 70 до 150 мм рт. ст. [7].

Целью кровотока почек является не их самовыживание, а очистка крови от метаболических отходов, регулирование водного, электролитного и кислотно-щелочного баланса, а также контроль артериального давления. Снижение перфузии почки предполагает уменьшение объема крови, фильтруемой и метаболизируемой почками, что проявляется в нарушении водно-электролитного и кислотно-щелочного баланса и т. д. при определенных условиях [8].

Изучены данные научных статей, представленных в базах PubMed, MEDLINE, EMBASE, Web of Science и Cochrane Library. Поиск проводился за пятилетний период с целью выявления исследований, посвященных ультразвуковым параметрам почек при патологии верхних мочевых путей.

Основные результаты

Обструктивная уропатия инициируется повышением давления в собирательной системе, которое передается ретроградным образом в пространство Боумена. Повышенное давление приводит к снижению чистого давления клубочковой фильтрации через стенку капилляров клубочка из-за сил Старлинга. На ранней стадии острой обструктивной уропатии (первые 2–3 часа) общий почечный кровоток фактически увеличивается из-за усиления местного вазодилататорного синтеза простагландина, а затем возвращается к исходному уровню в течение 5 часов, опосредованного миогенными изменениями в афферентной артерии. В течение первых 24 часов внутрипочечная продукция тромбоксана А2 и ангиотензина II приводит к снижению внутриклубочкового кровотока, вызывая вазоконстрикцию афферентных и эфферентных артериол. Через 24–48 часов почечный кровоток уменьшается до 60% в результате увеличения тромбоксана А2 и повышения внутрипочечного давления [9].

После этого гемодинамические изменения остаются неизменными при односторонней обструкции со сниженным почечным кровотоком.

Двусторонняя обструкция отличается от односторонней обструкции только тем, что поток плазмы в клубочках и давление капилляров в клубочках возвращаются к норме. Интересно, но необъяснимо, что при односторонней обструкции преобладающим местом сужения гломерул является афферентная артериола, а при двусторонней обструкции — эфферентная артериола [10].

Гемодинамические изменения можно разделить на раннюю фазу вазодилатации (1–2 ч односторонней обструкции) и позднюю вазоконстриктивную фазу (>3 ч односторонней обструкции) [11].

После начала обструкции мочеточника следуют три отдельные фазы: фаза I (0–1,5 ч), характеризующаяся увеличением как давления в мочеточнике, так и почечного кровотока, возможно, из-за преобладающей прегломерулярной вазодилатации; фаза II (1,5–5 ч), характеризующаяся увеличением давления в мочеточнике и уменьшением почечного кровотока, что объясняется постгломерулярной вазоконстрикцией; и фаза III (5–18 ч), характеризующаяся снижением как давления в мочеточнике, так и почечного кровотока, что объясняется преобладающей прегломерулярной вазоконстрикцией [12].

 © Авторы статьи / Authors of the article

При продолжающейся обструкции происходит повреждение клеток проксимальных канальцев, включая апикальное отторжение мембраны, повреждение клеток и апоптоз [13].

Устранение обструкции приводит к обратному развитию событий, описанных выше. Скорость обратного развития зависит от тяжести и продолжительности обструкции, при этом длительная обструкция приводит к медленному и лишь частичному восстановлению [14].

При нормальной ультразвуковой картине: почки овальной формы. Имеют диаметр по длинной оси 9–12 см, ширину 5–7 см, толщину паренхимы и коры около 1–2 см и 0,8–0,8 см. 1 см соответственно, корковое вещество равноэхогенно или несколько меньше паренхимы, а мозговое вещество гипоэхогенно. Граница между корковым и мозговым веществом относительно четкая. Почечный синус занимает около 1/2–2/3 почки с гипер- и гетерогенной эхогенностью [15].

Объем почки, особенно толщина почечной паренхимы, отражает количество функциональных нефронов, тем больше нарушений функции почек независимо от подтипа ОКИ, часто наблюдаются увеличение объема и утолщение паренхимы с повышенной эхогенностью. указывает на острое поражение, напротив, уменьшенный объем и истонченная паренхима с повышенной эхогенностью часто указывают на хроническое поражение [16].

В современной клинической практике наибольшее применение нашёл метод ультразвуковой импульсно-волновой доплерометрии. Это обусловлено его высокой селективностью, информативностью, неинвазивностью и универсальностью. Получаемое с помощью данного метода изображение-допплерограмма представляет собой спектр скоростей кровотока в сосуде в течение одного сердечного цикла [17].

Цветное доплеровское сканирование (ЦДС) является альтернативным методом контрастной ангиографии. По данным различных исследований, его точность варьирует от 85 до 100%. ЦДС обладает явными преимуществами перед ангиографией, главным из которых является неинвазивность. Совершенствование технологий ультразвукового исследования и использование ультразвуковых контрастов позволяют детально изучить ветвление почечной артерии до капсульных отделов. Благодаря внутривенному введению эхоконтрастных препаратов можно оценить истинную перфузию органа и выявить зоны ишемии или деструкции на самых ранних стадиях [18].

У пациентов с нарушенной функцией почек использование традиционных методов исследования почечного кровотока (например, с радиоизотопами или контрастными веществами) может быть рискованным и усугубить острое почечное повреждение. При этом получаемая информация не всегда оправдывает потенциальный вред [19].

В связи с этим врачи заинтересованы в быстрых и безопасных способах оценки кровотока в почках, например, с помощью допплерографии. Ультразвуковое исследование (УЗИ) с импульсно-волновой допплерографией позволяет видеть сосуды почек и анализировать артериальный и венозный кровоток в почках и аорте, как качественно, так и количественно [20].

При обычном цветном допплеровском исследовании почечная кровь течет непосредственно из ворот почки в корковое вещество почки, заполняя почку.

Выбирается импульсная допплерография, и линия отбора проб размещается в потоке крови, насколько это возможно, параллельно потоку крови. Снимается примерно 2–5 мм образца, и за одно дыхание получается от 3 до 5 аналогичных последовательных сигналов.

Важным преимуществом допплеровских показателей, основанных на соотношении амплитуд или усредненных значений на протяжении сердечного цикла, является то, что они не зависят от угла, под которым проводится исследование. Одним из первых таких показателей, предложенных L. Pourselot в 1974 году, стал индекс резистентности [21].

RI (индекс резистентности) рассчитывается следующим образом: RI = (пиковая систолическая скорость минус конечная диастолическая скорость), деленная на пиковую систолическую скорость. Затем выбирается среднее значение. контралатеральную почку исследуют для получения RI.

Выделяют три типа формы волны почечной артерии. Нормальная имеет типичную картину низкого сопротивления, которая характеризуется быстрым увеличением систолической скорости кровотока и медленным снижением диастолической скорости кровотока на 30–50%. Систолическая скорость кровотока при значении RI 0,5–0,7 указывает на то, что скорость кровотока во время систолы и диастолы медленная, а волна высокого сопротивления может проявляться как в быстром увеличении скорости кровотока во время систолы, так и в быстром падении или даже исчезновении кровотока во время диастолы. Как малая медленная волна, так и волна с высоким сопротивлением представляют собой аномальные спектры со значением RI <0,5 и >0,7 соответственно [22].

2.1. Основные гемодинамические параметры доплерометрии сосудов почек

В научной литературе встречается большое количество данных о нормативных значениях доплерометрии артерий почек. Каждый из показателей имеет свое практическое значение и уровень информативности, а в совокупности они составляют остаточный набор критериев оценки. В практической деятельности одни показатели часто предпочитаются перед другими, часто в качестве диагностического критерия используется только один показатель. Поскольку состояние почечного кровотока зависит от множества факторов, а каждый параметр может варьировать в широких пределах, лишь их комплексное рассмотрение и оценка позволяют получить более полное представление о происходящих изменениях.

На основании проанализированной литературы по данной теме мы составили таблицу, в которой отражены показатели основных доплерометрических параметров кровотока в почечных артериях у взрослых людей в норме *см табл.1* [23].

 © Авторы статьи / Authors of the article

Таблица 1 - Основные доплерометрические параметры кровотока в почечных артериях у взрослых людей по данным проанализированной литературы

DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.154.52.1

Индекс резистенстности (IR)	Пульсационный индекс (PI)	Максимальная скорость кровотока (Vps), м/с	Минимальная скорость кровотока (Ved), м/с	TAMAx, м/с
0,57-0,70	0,70-1,4	0,6-1,4	0,25-0,45	0,36-0,66

Мы наблюдаем, что средние значения колеблются, что, вероятно, обусловлено численностью выборки, возрастом исследуемых лиц, а также возможными неучтенными сопутствующими заболеваниями других органов и систем. Кроме того, на результаты могла влиять и зависимость от оператора.

Индекс почечного предсердного сопротивления (RI), измеряемый с помощью допплеровского ультразвукового исследования, является недорогим и неинвазивным инструментом для выявления заболеваний почек; он широко использовался для оценки почечного кровотока.

Один из наиболее информативных и часто используемых показателей для оценки кровотока в почках – индекс резистентности (RI), отражающий профиль кровотока в почечных артериях, часто применяется для прогнозирования обратимости почечной дисфункции и для подбора гемодинамической поддержки [24].

Формула расчета индекса резиситентности: RI = [(Vps – Ved) / Vps] [25].

RI рассчитывается как отношение разницы между пиковой систолической скоростью (PSV) и конечной диастолической скоростью (EDV), деленной на пиковую систолическую скорость (PSV), полученную с помощью анализа допплеровского спектра сегментарных или междолевых артерий. PSV в основном отражает степень наполнения и кровоснабжения почечных сосудов, в то время как EDV отражает перфузию почечной крови, а RI в основном отражает сопротивление сосудистого русла.

Мнения различных авторов расходятся в отношении того, какой показатель является наиболее достоверным в отношении гемодинамики. Одни из исследователей считают, что пульсационный индекс наиболее полно отражает гемодинамическую картину, так как при его расчете учитывается средняя скорость кровотока, другие отдают предпочтение индексу резистентности. Формула для расчета пульсационного индекса такова: разность пиковой систолической скорости (ПСС) и конечной диастолической скорости (КДС) необходимо разделить на значение средней скорости (СС).

PI = (ПСС-КДС)/СС [25].

Использование индексов резистентности почек (ИРП) для изучения микроциркуляции почек в прошлом предлагалось для идентификации повреждения почечных органов или даже для специфической идентификации повреждения некоторых областей почечной паренхимы.

В настоящее время индекс почечной регургитации уже не воспринимается только как мера сопротивления почечных сосудов, а скорее как параметр, отражающий гемодинамические условия как микроциркуляции почек, так и системного кровообращения в различных пропорциях, обусловленных определенными патологическими контекстами.

Первая категория аргументов в пользу этого утверждения — теоретические. Чарльз О'Нил показал, что, переставляя общее уравнение RRI и заменяя скорости соотношением градиента давления (ΔP) и произведения сопротивления на площадь просвета (R × LA), получается, что RRI не зависит от сосудистого сопротивления:

RRI=

где P_0 представляет собой комбинацию интерстициального давления и венозного давления (давление заклинивания почечных капилляров), доля давлений является функцией пульсового давления, а доля площадей просвета в систолу и диастолу является функцией податливости.

Этот тип расчета ясно показывает, что RRI изменяется в зависимости от интерстициального и капиллярного давления в почке (P_0); он напрямую связан с пульсовым давлением (PP) и обратно связан с сосудистой податливостью.

В исследованиях Хайян Ли, Юнчжу Шэнь и других, подтвердили, что RI выше у недавно диагностированных и нелеченных пациентов с диабетической нефропатией, чем у здоровых лиц контрольной группы, даже до начала микроальбуминурии, что подтверждает динамическую оценку почечного RI как раннего детектора изменений сосудов почек при наличии сахарного диабета 2 типа [26].

Исследование Е.К. Шраменко и соавторов показало, что у пациентов с острым почечным повреждением (ОПП) более высокие значения индекса резистентности (RI) при поступлении в больницу соответствовали более длительной стадии олигоанурии (сниженному или отсутствующему мочеиспусканию). В частности, при RI в основной почечной артерии выше 0.79, стадия олигоанурии длилась более 18 дней; при RI от 0.71 до 0.79 – от 8 до 18 дней; а при RI ниже 0.71 – менее 8 дней [27]. Резюмируя вышесказанное можно сделать вывод о том, что уже на начальных этапах обследования больного, определив величину RI, можно судить о степени тяжести ОПП.

Впечатляющее количество данных в настоящее время подтверждает прогностическое значение RRI при ХБП.

Несмотря на некоторые предыдущие сообщения об обратном, вклад RRI в диагностические подходы к стенозу почечной артерии считается ограниченным, даже в случае критического стеноза (>80%). Эта цель может быть лучше достигнута с помощью комбинированного параметра, полученного путем вычитания индекса сопротивления селезенки из RRI, который имеет значительно более низкие значения (−0,05 против 0,068) при наличии стеноза почечной артерии, но для подтверждения этой гипотезы необходимы дополнительные данные [29].

 © Авторы статьи / Authors of the article

RRI изучался с большим интересом в связи с его способностью предсказывать успех реваскуляризации при реноваскулярном заболевании. Начиная с работы Радермахера и др., подчеркивалось, что RRI ≥ 0,80 может быть предиктором отсутствия улучшения артериального давления, функции почек и выживаемости почек [30].

Соулз и др. пошли дальше и проанализировали прогностические значения RRI до и после введения каптоприла или в сочетании с длиной почки [31]. Однако, как отметили некоторые авторы, на RRI влияет слишком много гемодинамических факторов, чтобы быть надежным определяющим фактором успеха почечной реваскуляризации. Например, низкий внутрипочечный постстенотический RRI может указывать на стеноз повышенной тяжести, который с большей вероятностью поддастся вмешательству, чем стеноз низкой или средней степени. Кроме того, остается открытым вопрос о том, не будет ли RRI в контралатеральной почке лучшим предиктором почечных результатов после вмешательства по поводу одностороннего стеноза почечной артерии [32].

Индекс резистентности почек (RI), основанный на допплеровском исследовании, может помочь отличить транзиторное от персистирующего острого повреждения почек (ОПП).

Среди 154 уникальных статей, выявленных, было включено 9 исследований. Из 176 пациентов в этих исследованиях с повышенным RI или индексом пульсативности, 146 (83%) имели постоянное ОПН против 44 (16%) из 273 пациентов с нормальными значениями. Повышенный RI или индекс пульсативности был связан с повышенным риском постоянного ОПН [33].

В исследование были включены девяносто девять пациентов, медиана возраста составила 67 лет (межквартильный размах 59–75), оценка по шкале APACHE III — 67 (межквартильный размах 53–89). У сорока девяти пациентов (49%) ОПН развилась в течение первой недели. У пациентов с ОПН при поступлении был более высокий RRI, чем у тех, у кого его не было: 0,71 (0,69–0,73) против 0,65 (0,63–0,68), p = 0,001. Разница была значимой для стадии ОПН 2: RRI = 0,72 (0,65–0,80) и 3: RRI = 0,74 (0,67–0,81), но не для стадии ОПН 1: RRI = 0,67 (0,61–0,74). При однофакторном анализе RRI достоверно предсказывал ОПН 2–3: OR 1,012 (1,006–1,019); Площадь под кривой (AUC) RRI для ОПН 2–3 составила 0,72 (0,61–0,83), оптимальное отсечение 0,74, чувствительность 53% и специфичность 87%. При многофакторном анализе RRI оставался значимым, независимо от APACHE III и баланса жидкости; скорректированный OR: 1,008 (1,000–1,016).

Высокий RRI при поступлении в отделение интенсивной терапии был значимым предиктором развития ОПН 2–3 стадии в течение первой недели. Высокий RRI может использоваться в качестве раннего предупреждающего сигнала RRI из-за его высокой специфичности [34].

Повышенный индекс резистентности почек (ИРП) и протеинурия могут предсказать снижение расчетной скорости клубочковой фильтрации (СКФ) у пациентов с хронической болезнью почек (ХБП) различной этиологии. Повышенный ИРП может указывать на преждевременное системное гемодинамическое изменение и микрососудистое повреждение, которые характеризуют пациентов с повышенным сердечно-сосудистым риском и начальными аномалиями почек [35]. Поскольку повышенный ИРП может быть обнаружен у пациентов с ХБП, у которых еще не развилась протеинурия или она разовьется позже, он может быть более надежным индикатором повреждения почек, чем протеинурия

Заключение

В заключение, ультразвуковая оценка гемодинамических параметров почек представляет собой ценный инструмент в диагностике и мониторинге патологий верхних мочевых путей. Растущая распространенность заболеваний почек подчеркивает важность неинвазивных и информативных методов исследования. Анализ скорости кровотока, индексов резистентности и пульсации, полученных с помощью УЗИ, позволяет врачам своевременно выявлять нарушения, оценивать тяжесть состояния и прогнозировать риски, что в конечном итоге способствует более эффективному лечению и улучшению исходов для пациентов. Дальнейшие исследования в этой области будут способствовать оптимизации протоколов УЗИ и расширению возможностей ранней диагностики заболеваний почек.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Sequeira-Lopez M.L.S. Renin Cells, the Kidney, and Hypertension / M.L.S. Sequeira-Lopez, R.A. Gomez // Circ Res. — 2021. — № 128 (7). — P. 887–907. — DOI: 10.1161/CIRCRESAHA.121.318064. — PMID: 33793334. — PMCID: PMC8023763.

2. Шорманов И.С. Патогенетические особенности нарушений функционального состояния единственной оставшейся почки в раннем послеоперационном периоде радикальной нефрэктомии / И.С. Шорманов, М.В. Косенко, Д.Н. Щедров [и др.] // Пациентоориентированная медицина и фармация. — 2024. — № 2 (4). — С. 30–38. — DOI: 10.37489/2949-1924-0065.

3. Päivärinta J. Renal Perfusion, Oxygenation and Metabolism: The Role of Imaging / J. Päivärinta, I.A. Anastasiou, N. Koivuviita [et al.] // J Clin Med. — 2023. — № 12 (15). — P. 5141. — DOI: 10.3390/jcm12155141. — PMID: 37568543. — PMCID: PMC10420088.

 © Авторы статьи / Authors of the article

4. Guven G. Microcirculation: Physiology, Pathophysiology, and Clinical Application / G. Guven, M.P. Hilty, C. Ince // Blood Purif. — 2020. — № 49 (1-2). — P. 143–150. — DOI: 10.1159/000503775. — PMID: 31851980. — PMCID: PMC7114900.

5. Lee B. Renoprotective effects of GLP-1 receptor agonists and SGLT-2 inhibitors-is hemodynamics the key point? / B. Lee, N.H. Holstein-Rathlou, O. Sosnovtseva [et al.] // Am J Physiol Cell Physiol. — 2023. — № 325 (1). — P. C243–C256. — DOI: 10.1152/ajpcell.00147.2023. — PMID: 37273240.

6. Balzer M.S. How Many Cell Types Are in the Kidney and What Do They Do? / M.S. Balzer, T. Rohacs, K. Susztak [et al.] // Annu Rev Physiol. — 2022 Feb 10. — № 84. — P. 507–531. — DOI: 10.1146/annurev-physiol-052521-121841. — PMID: 34843404. — PMCID: PMC9233501.

7. Verbrugge F.H. Altered Hemodynamics and End-Organ Damage in Heart Failure: Impact on the Lung and Kidney / F.H. Verbrugge, M. Guazzi, J.M. Testani [et al.] // Circulation. — 2020. — № 142 (10). — P. 998–1012. — DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.119.045409. — PMID: 32897746. — PMCID: PMC7482031.

8. Koratala A. Seeing through the myths: Practical aspects of diagnostic point-of-care ultrasound in nephrology / A. Koratala, A. Kazory // World J Nephrol. — 2023. — № 12 (5). — P. 112–119. — DOI: 10.5527/wjn.v12.i5.112. — PMID: 38230300. — PMCID: PMC10789085.

9. Molitoris B.A. Low-Flow Acute Kidney Injury: The Pathophysiology of Prerenal Azotemia, Abdominal Compartment Syndrome, and Obstructive Uropathy / B.A. Molitoris // CJASN. — № 17 (7). — P 1039–1049. — DOI: 10.2215/CJN.15341121.

10. Акименко М.А. Патогенетические механизмы адаптации и повреждения нефрона обструктивной и контралатеральной почек при односторонней обструкции мочеточника / М.А. Акименко М. А., Т.С. Колмакова, О.В. Воронова [и др.] // Крымский журнал экспериментальной и клинической медицины. — 2022. — № 3.

11. Nørregaard R. Obstructive nephropathy and molecular pathophysiology of renal interstitial fibrosis / R. Nørregaard, H.A.M. Mutsaers, J. Frøkiær [et al.] // Physiol Rev. — 2023. — № 103 (4). — P. 2827–2872. — DOI: 10.1152/physrev.00027.2022. — PMID: 37440209. — PMCID: PMC10642920.

12. Singh P. The genetics of kidney stone disease and nephrocalcinosis / P. Singh, P.C. Harris, D.J. Sas [et al.] // Nat Rev Nephrol. — 2022. — № 18. — P. 224–240. — DOI:10.1038/s41581-021-00513-4.

13. Соснин Д.А. Механизм повреждения почечной ткани при неполной обструкции нижних мочевыводящих путей / Д.А. Соснин, О.В. Островский, Л.Н. Рогова [и др.] // Крымский журнал экспериментальной и клинической медицины. — 2022. — № 2.

14. Гришина И.Ф. ХОБЛ в вопросах и ответах / И.Ф. Гришина, Н.Б. Полетаева, О.В. Теплякова. — Екатеринбург, 2021. — 120 с.

15. Столова Э.Н. Возможности ультразвукового исследования в дифференциальной диагностике объемных образований почек / Э.Н. Столова, Е.В. Синельникова, Н.В. Крашенинникова [и др.] // Визуализация в медицине. — 2022. — № 3.

16. Dai J.C. Innovations in Ultrasound Technology in the Management of Kidney Stones / J.C. Dai, M.R. Bailey, M.D. Sorensen [et al.] // Urol Clin North Am. — 2019. — № 46 (2). — P. 273–285. — DOI: 10.1016/j.ucl.2018.12.009. — PMID: 30961860. — PMCID: PMC6461360.

17. Sellitto S. Contrast-Enhanced Ultrasound as a Diagnostic Procedure in Renal Diseases: A Case Report / S. Sellitto, L. Tarantino, F. Barone [et al.] // G Ital Nefrol. — 2024. — № 41 (2). — Vol. 2. — PMID: 38695227.

18. Skvorzova N.V. Ultrasonic diagnostics perspectives in patients with urolithiasis (review) / N.V. Skvorzova, M.L. Chekhonatskaya, A.N. Rossolovsky [et al.] // Saratov Journal of Medical Scientific Research. — 2011. — Vol. 7. — № 3. — P. 718–723.

19. Li Y. Contrast-induced acute kidney injury: a review of definition, pathogenesis, risk factors, prevention and treatment / Y. Li, J. Wang // BMC Nephrol. — 2024. — № 25 (140). — DOI: 10.1186/s12882-024-03570-6.

20. Шраменко Е.К. Нарушения внутрипочечной гемодинамики при остром повреждении почек / Е.К. Шраменко, И.В. Кузнецова, В.В. Потапов [и др.] // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Медицинские науки. — 2018. — № 2 (46). — С. 107–119. — DOI: 10.21685/2072-3032-2018-2-12.

21. Gazhonova V.E. Prognostic value of renal resistance index in estimating the progression of chronic kidney disease / V.E. Gazhonova, A.S. Zykova, A.A. Chistyakov [et al.] // Therapeutic Archive. — 2015. — № 87 (6). — P. 29–33.

22. Liu L. Renal hemodynamic evaluation protocol based on the pathophysiological mechanism of acute kidney injury: Critical Care UltraSound Guided-A(KI)BCDE / L. Liu, D. Liu, Z. Hu [et al.] // Renal Failure. — 2023. — № 45 (2). — DOI: 10.1080/0886022X.2023.2284842.

23. Сережников А.В. Оценка эффективности иммунотерапии в комплексном лечении хронического пиелонефрита в активной фазе воспаления: автореф. дис. … канд. мед. наук / Сереженков Александр Владимирович. — Москва, 2016.

24. Qian X. Intrarenal Doppler approaches in hemodynamics: A major application in critical care / X. Qian, J. Zhen, Q. Meng [et al.] // Front. Physiol. — 2022. — № 13. — P. 951307. — DOI: 10.3389/fphys.2022.951307.

25. Romano G. Effect of Combined Proteinuria and Increased Renal Resistive Index on Chronic Kidney Disease Progression: A Retrospective Longitudinal Study / G. Romano, N. Fiorini, M. Bertoni [et al.] // J Clin Med. — 2025. — № 14 (1). — P. 228. — DOI: 10.3390/jcm14010228. — PMID: 39797308. — PMCID: PMC11721810.

26. Li H. Potential Role of the Renal Arterial Resistance Index in the Differential Diagnosis of Diabetic Kidney Disease / H. Li, Y. Shen, Z. Yu [et al.] // Front Endocrinol (Lausanne). — 2022. — № 12. — P. 731187. — DOI: 10.3389/fendo.2021.731187. — PMID: 35095752. — PMCID: PMC8796316.

27. Кинванлун И.Г. Клинико-функциональная характеристика допплерографической картины почек / И.Г. Кинванлун, А.Ф. Юсупов, А.А. Юлдашев [и др.] // The Scientific Heritage. — 2021. — № 67–2.

 © Авторы статьи / Authors of the article

28. Beloncle F. Determinants of Doppler-based renal resistive index in patients with septic shock: impact of hemodynamic parameters, acute kidney injury and predisposing factors / F. Beloncle, N. Rousseau, J.F. Hamel [et al.] // Ann Intensive Care. — 2019. — № 9 (1). — P. 51. — DOI: 10.1186/s13613-019-0525-8. — PMID: 31020427. — PMCID: PMC6482198.

29. Grupp C. Difference between renal and splenic resistive index as a novel criterion in Doppler evaluation of renal artery stenosis / C. Grupp, M.J. Koziolek, M. Wallbach [et al.] // J. Clin. Hypertens. — 2018. — № 20. — P. 582–588. — DOI: 10.1111/jch.13212.

30. Radermacher J. Use of Doppler ultrasonography to predict the outcome of therapy for renal-artery stenosis / J. Radermacher, A. Chavan, J. Bleck [et al.] // N. Engl. J. Med. — 2001. — № 344. — P. 4104–4117. — DOI: 10.1056/NEJM200102083440603.

31. Soulez G. Prediction of clinical response after renal angioplasty: Respective value of renal Doppler sonography and scintigraphy / G. Soulez, E. Therasse, S.D. Qanadli [et al.] // AJR Am. J. Roentgenol. — 2003. — № 181. — P. 1029–1035. — DOI: 10.2214/ajr.181.4.1811029.

32. Bruno R.M. Predictive role of renal resistive index for clinical outcome after revascularization in hypertensive patients with atherosclerotic renal artery stenosis: A monocentric observational study / R.M. Bruno, E. Daghini, D. Versari [et al.] // Cardiovasc. Ultrasound. — 2014. — № 12. — P. 9. — DOI: 10.1186/1476-7120-12-9.

33. Ninet S. Doppler-based renal resistive index for prediction of renal dysfunction reversibility: A systematic review and meta-analysis / S. Ninet, D. Schnell, A. Dewitte [et al.] // J Crit Care. — 2015. — № 30 (3). — P. 629–635. — DOI: 10.1016/j.jcrc.2015.02.008. — PMID: 25746587.

34. Haitsma Mulier J.L.G. Renal resistive index as an early predictor and discriminator of acute kidney injury in critically ill patients; A prospective observational cohort study / J.L.G. Haitsma Mulier, S. Rozemeijer, J.G. Röttgering [et al.] // PLoS One. — 2018. — № 13 (6). — P. e0197967. — DOI: 10.1371/journal.pone.0197967. — PMID: 29889830. — PMCID: PMC5995360.

35. Hu C. Kidney Function and Cardiovascular Diseases: A Large-Scale Observational and Mendelian Randomization Study / C. Hu, Y. Li, Y. Qian [et al.] // Front. Immunol. — 2023. — № 14. — P. 1190938. — DOI: 10.3389/fimmu.2023.1190938.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Sequeira-Lopez M.L.S. Renin Cells, the Kidney, and Hypertension / M.L.S. Sequeira-Lopez, R.A. Gomez // Circ Res. — 2021. — № 128 (7). — P. 887–907. — DOI: 10.1161/CIRCRESAHA.121.318064. — PMID: 33793334. — PMCID: PMC8023763.

2. Shormanov I.S. Patogeneticheskie osobennosti narushenij funkcional'nogo sostojanija edinstvennoj ostavshejsja pochki v rannem posleoperacionnom periode radikal'noj nefrjektomii [Pathogenetic features of disorders of the functional state of the sole remaining kidney in the early postoperative period of radical nephrectomy] / I.S. Shormanov, M.V. Kosenko, D.N. Shhedrov [et al.] // Pacientoorientirovannaja medicina i farmacija [Patient-oriented medicine and pharmacy]. — 2024. — № 2 (4). — P. 30–38. — DOI: 10.37489/2949-1924-0065. [in Russian]

3. Päivärinta J. Renal Perfusion, Oxygenation and Metabolism: The Role of Imaging / J. Päivärinta, I.A. Anastasiou, N. Koivuviita [et al.] // J Clin Med. — 2023. — № 12 (15). — P. 5141. — DOI: 10.3390/jcm12155141. — PMID: 37568543. — PMCID: PMC10420088.

4. Guven G. Microcirculation: Physiology, Pathophysiology, and Clinical Application / G. Guven, M.P. Hilty, C. Ince // Blood Purif. — 2020. — № 49 (1-2). — P. 143–150. — DOI: 10.1159/000503775. — PMID: 31851980. — PMCID: PMC7114900.

5. Lee B. Renoprotective effects of GLP-1 receptor agonists and SGLT-2 inhibitors-is hemodynamics the key point? / B. Lee, N.H. Holstein-Rathlou, O. Sosnovtseva [et al.] // Am J Physiol Cell Physiol. — 2023. — № 325 (1). — P. C243–C256. — DOI: 10.1152/ajpcell.00147.2023. — PMID: 37273240.

6. Balzer M.S. How Many Cell Types Are in the Kidney and What Do They Do? / M.S. Balzer, T. Rohacs, K. Susztak [et al.] // Annu Rev Physiol. — 2022 Feb 10. — № 84. — P. 507–531. — DOI: 10.1146/annurev-physiol-052521-121841. — PMID: 34843404. — PMCID: PMC9233501.

7. Verbrugge F.H. Altered Hemodynamics and End-Organ Damage in Heart Failure: Impact on the Lung and Kidney / F.H. Verbrugge, M. Guazzi, J.M. Testani [et al.] // Circulation. — 2020. — № 142 (10). — P. 998–1012. — DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.119.045409. — PMID: 32897746. — PMCID: PMC7482031.

8. Koratala A. Seeing through the myths: Practical aspects of diagnostic point-of-care ultrasound in nephrology / A. Koratala, A. Kazory // World J Nephrol. — 2023. — № 12 (5). — P. 112–119. — DOI: 10.5527/wjn.v12.i5.112. — PMID: 38230300. — PMCID: PMC10789085.

9. Molitoris B.A. Low-Flow Acute Kidney Injury: The Pathophysiology of Prerenal Azotemia, Abdominal Compartment Syndrome, and Obstructive Uropathy / B.A. Molitoris // CJASN. — № 17 (7). — P 1039–1049. — DOI: 10.2215/CJN.15341121.

10. Akimenko M.A. Patogeneticheskie mehanizmy adaptacii i povrezhdenija nefrona obstruktivnoj i kontralateral'noj pochek pri odnostoronnej obstrukcii mochetochnika [Pathogenetic mechanisms of adaptation and damage to the nephron of the obstructive and contralateral kidneys in unilateral ureteral obstruction] / M.A. Akimenko M. A., T.S. Kolmakova, O.V. Voronova [et al.] // Krymskij zhurnal jeksperimental'noj i klinicheskoj mediciny [Crimean Journal of Experimental and Clinical Medicine]. — 2022. — № 3. [in Russian]

 © Авторы статьи / Authors of the article

11. Nørregaard R. Obstructive nephropathy and molecular pathophysiology of renal interstitial fibrosis / R. Nørregaard, H.A.M. Mutsaers, J. Frøkiær [et al.] // Physiol Rev. — 2023. — № 103 (4). — P. 2827–2872. — DOI: 10.1152/physrev.00027.2022. — PMID: 37440209. — PMCID: PMC10642920.

12. Singh P. The genetics of kidney stone disease and nephrocalcinosis / P. Singh, P.C. Harris, D.J. Sas [et al.] // Nat Rev Nephrol. — 2022. — № 18. — P. 224–240. — DOI:10.1038/s41581-021-00513-4.

13. Sosnin D.A. Mehanizm povrezhdenija pochechnoj tkani pri nepolnoj obstrukcii nizhnih mochevyvodjashhih putej [Mechanism of renal tissue damage in incomplete obstruction of the lower urinary tract] / D.A. Sosnin, O.V. Ostrovskij, L.N. Rogova [et al.] // Krymskij zhurnal jeksperimental'noj i klinicheskoj mediciny [Crimean Journal of Experimental and Clinical Medicine]. — 2022. — № 2. [in Russian]

14. Grishina I.F. HOBL v voprosah i otvetah [COPD in questions and answers] / I.F. Grishina, N.B. Poletaeva, O.V. Tepljakova. — Yekaterinburg, 2021. — 120 p. [in Russian]

15. Ctolova Je.N. Vozmozhnosti ul'trazvukovogo issledovanija v differencial'noj diagnostike ob'emnyh obrazovanij pochek [Possibilities of ultrasound in differential diagnostics of renal volumetric masses] / Je.N. Ctolova, E.V. Sinel'nikova, N.V. Krasheninnikova [et al.] // Vizualizacija v medicine [Visualisation in medicine]. — 2022. — № 3. [in Russian]

16. Dai J.C. Innovations in Ultrasound Technology in the Management of Kidney Stones / J.C. Dai, M.R. Bailey, M.D. Sorensen [et al.] // Urol Clin North Am. — 2019. — № 46 (2). — P. 273–285. — DOI: 10.1016/j.ucl.2018.12.009. — PMID: 30961860. — PMCID: PMC6461360.

17. Sellitto S. Contrast-Enhanced Ultrasound as a Diagnostic Procedure in Renal Diseases: A Case Report / S. Sellitto, L. Tarantino, F. Barone [et al.] // G Ital Nefrol. — 2024. — № 41 (2). — Vol. 2. — PMID: 38695227.

18. Skvorzova N.V. Ultrasonic diagnostics perspectives in patients with urolithiasis (review) / N.V. Skvorzova, M.L. Chekhonatskaya, A.N. Rossolovsky [et al.] // Saratov Journal of Medical Scientific Research. — 2011. — Vol. 7. — № 3. — P. 718–723.

19. Li Y. Contrast-induced acute kidney injury: a review of definition, pathogenesis, risk factors, prevention and treatment / Y. Li, J. Wang // BMC Nephrol. — 2024. — № 25 (140). — DOI: 10.1186/s12882-024-03570-6.

20. Shramenko E.K. Narushenija vnutripochechnoj gemodinamiki pri ostrom povrezhdenii pochek [Intrarenal haemodynamic disorders in acute kidney injury] / E.K. Shramenko, I.V. Kuznecova, V.V. Potapov [et al.] // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Povolzhskij region. Medicinskie nauki [Proceedings of Universities. Volga region. Medical Sciences]. — 2018. — № 2 (46). — P. 107–119. — DOI: 10.21685/2072-3032-2018-2-12. [in Russian]

21. Gazhonova V.E. Prognostic value of renal resistance index in estimating the progression of chronic kidney disease / V.E. Gazhonova, A.S. Zykova, A.A. Chistyakov [et al.] // Therapeutic Archive. — 2015. — № 87 (6). — P. 29–33.

22. Liu L. Renal hemodynamic evaluation protocol based on the pathophysiological mechanism of acute kidney injury: Critical Care UltraSound Guided-A(KI)BCDE / L. Liu, D. Liu, Z. Hu [et al.] // Renal Failure. — 2023. — № 45 (2). — DOI: 10.1080/0886022X.2023.2284842.

23. Serezhnikov A.V. Ocenka jeffektivnosti immunoterapii v kompleksnom lechenii hronicheskogo pielonefrita v aktivnoj faze vospalenija [Evaluation of the effectiveness of immunotherapy in the complex treatment of chronic pyelonephritis in the active phase of inflammation]: abst. dis. … PhD in Medicine / Serezhenkov Aleksandr Vladimirovich. — Moscow, 2016. [in Russian]

24. Qian X. Intrarenal Doppler approaches in hemodynamics: A major application in critical care / X. Qian, J. Zhen, Q. Meng [et al.] // Front. Physiol. — 2022. — № 13. — P. 951307. — DOI: 10.3389/fphys.2022.951307.

25. Romano G. Effect of Combined Proteinuria and Increased Renal Resistive Index on Chronic Kidney Disease Progression: A Retrospective Longitudinal Study / G. Romano, N. Fiorini, M. Bertoni [et al.] // J Clin Med. — 2025. — № 14 (1). — P. 228. — DOI: 10.3390/jcm14010228. — PMID: 39797308. — PMCID: PMC11721810.

26. Li H. Potential Role of the Renal Arterial Resistance Index in the Differential Diagnosis of Diabetic Kidney Disease / H. Li, Y. Shen, Z. Yu [et al.] // Front Endocrinol (Lausanne). — 2022. — № 12. — P. 731187. — DOI: 10.3389/fendo.2021.731187. — PMID: 35095752. — PMCID: PMC8796316.

27. Kinvanlun I.G. Kliniko-funkcional'naja harakteristika dopplerograficheskoj kartiny pochek [Clinical and functional characterisation of renal Doppler pattern] / I.G. Kinvanlun, A.F. Jusupov, A.A. Juldashev [et al.] // The Scientific Heritage. — 2021. — № 67–2. [in Russian]

28. Beloncle F. Determinants of Doppler-based renal resistive index in patients with septic shock: impact of hemodynamic parameters, acute kidney injury and predisposing factors / F. Beloncle, N. Rousseau, J.F. Hamel [et al.] // Ann Intensive Care. — 2019. — № 9 (1). — P. 51. — DOI: 10.1186/s13613-019-0525-8. — PMID: 31020427. — PMCID: PMC6482198.

29. Grupp C. Difference between renal and splenic resistive index as a novel criterion in Doppler evaluation of renal artery stenosis / C. Grupp, M.J. Koziolek, M. Wallbach [et al.] // J. Clin. Hypertens. — 2018. — № 20. — P. 582–588. — DOI: 10.1111/jch.13212.

30. Radermacher J. Use of Doppler ultrasonography to predict the outcome of therapy for renal-artery stenosis / J. Radermacher, A. Chavan, J. Bleck [et al.] // N. Engl. J. Med. — 2001. — № 344. — P. 4104–4117. — DOI: 10.1056/NEJM200102083440603.

31. Soulez G. Prediction of clinical response after renal angioplasty: Respective value of renal Doppler sonography and scintigraphy / G. Soulez, E. Therasse, S.D. Qanadli [et al.] // AJR Am. J. Roentgenol. — 2003. — № 181. — P. 1029–1035. — DOI: 10.2214/ajr.181.4.1811029.

32. Bruno R.M. Predictive role of renal resistive index for clinical outcome after revascularization in hypertensive patients with atherosclerotic renal artery stenosis: A monocentric observational study / R.M. Bruno, E. Daghini, D. Versari [et al.] // Cardiovasc. Ultrasound. — 2014. — № 12. — P. 9. — DOI: 10.1186/1476-7120-12-9.

 © Авторы статьи / Authors of the article

33. Ninet S. Doppler-based renal resistive index for prediction of renal dysfunction reversibility: A systematic review and meta-analysis / S. Ninet, D. Schnell, A. Dewitte [et al.] // J Crit Care. — 2015. — № 30 (3). — P. 629–635. — DOI: 10.1016/j.jcrc.2015.02.008. — PMID: 25746587.

34. Haitsma Mulier J.L.G. Renal resistive index as an early predictor and discriminator of acute kidney injury in critically ill patients; A prospective observational cohort study / J.L.G. Haitsma Mulier, S. Rozemeijer, J.G. Röttgering [et al.] // PLoS One. — 2018. — № 13 (6). — P. e0197967. — DOI: 10.1371/journal.pone.0197967. — PMID: 29889830. — PMCID: PMC5995360.

35. Hu C. Kidney Function and Cardiovascular Diseases: A Large-Scale Observational and Mendelian Randomization Study / C. Hu, Y. Li, Y. Qian [et al.] // Front. Immunol. — 2023. — № 14. — P. 1190938. — DOI: 10.3389/fimmu.2023.1190938.