

Борзунова Н.С.

Ультразвуковая доплерография как метод диагностики нарушений почечной гемодинамики при хронической болезни почек и артериальной гипертензии

Кафедра пропедевтики внутренних болезней ГБОУ ВПО УГМУ, МАУ Городская клиническая больница №40, г. Екатеринбург

Borzunova N.S.

Doppler ultrasound as a method of diagnosis of renal hemodynamics in patients with chronic kidney disease and hypertension

Резюме

Исследование почечной гемодинамики с использованием показателей почечного кровотока у больных с хронической болезнью почек и артериальной гипертензией позволяет выявить нарушения на ранних стадиях. Имеется взаимосвязь между почечной гемодинамикой и функцией почек - показателями клубочковой фильтрации, уровнем креатинина сыворотки крови. В настоящем обзоре представлены результаты научных исследований, которые показывают информативность метода ультразвуковой доплерографии почечных сосудов у пациентов с хроническим заболеванием почек с целью раннего выявления или предупреждения прогрессирования хронической почечной недостаточности.

Ключевые слова: почечный кровоток, ультразвуковая доплерография, хроническая болезнь почек, артериальная гипертензия

Summary

The study of renal hemodynamics with renal blood flow in patients with chronic kidney disease and hypertension can reveal abnormalities in the early stages. There is a correlation between renal hemodynamics and renal function - an indicator of glomerular filtration rate, serum creatinine levels. In this review, the results of scientific studies that show informative method Doppler ultrasound renal vessels in patients with chronic kidney disease for early detection or prevention of the progression of chronic renal failure.

Keywords: renal blood flow, Doppler ultrasound, chronic kidney disease, arterial hypertension

Введение

На сегодняшний день в связи с высоким ростом заболеваемости артериальной гипертензией и хроническими болезнями почек поиск диагностических методов обследования пациентов, способствующих выявлению заболеваний еще на ранних стадиях, остается актуальным. Ультразвуковое доплеровское исследование почечных сосудов у больных хроническим заболеванием почек в сочетании с артериальной гипертензией (АГ) позволяет выявить нарушения внутрипочечной гемодинамики, являющиеся проявлением ранней почечной дисфункции, и, как следствие, прогрессированием хронической почечной недостаточности (ХПН). Раннее выявление нарушений почечного кровотока является важной задачей для предотвращения прогрессирования хронического процесса или минимизации его выраженности путем медикаментозной коррекции.

Хочется отметить, что в настоящее время имеется ряд работ, посвященных изучению взаимосвязи показателей почечной гемодинамики с артериальной гипертензией и изменениями почечной функции, которые являются факторами риска хронической болезни почек (ХБП) [1,2]. По данным National Kidney Foundation, под ХБП понимают повреждение почек или снижение их функции в течение 3 и более месяцев, независимо от заболевания. Основными критериями ХБП являются снижение скорости клубочковой фильтрации (СКФ) менее 60 мл/мин/1,73 м² в течение 3 месяцев и более, либо структурные и/или функциональные нарушения органа (выявленные нарушения в крови, моче, томографии, а в случае необходимости, биопсия почки) как со снижением СКФ, так и без нее [3-7]. Несомненным остается тот факт, что артериальная гипертензия является важнейшим маркером прогрессирования хронического заболевания почек. У пациентов с ХБП и АГ происходит

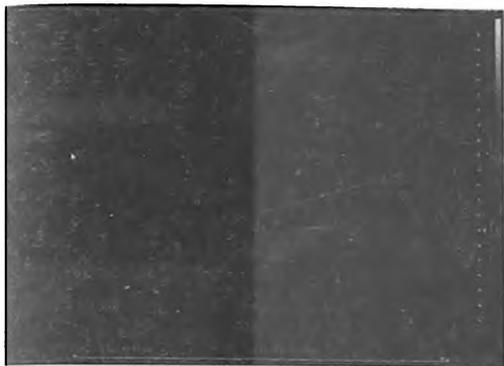


Рис.1. Нормальная УЗ- картина почки, с определением продольного, поперечного размера и толщины коркового слоя.

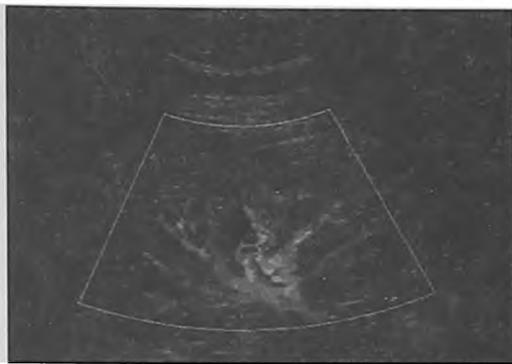


Рис.2. Нормальная картина цветовой доплерографии.

более быстрое снижение функции почек, по сравнению с пациентами, имеющими ХБП и нормальным артериальным давлением. Системная гипертензия вызывает внутриклубочковую гипертензию, что приводит к их повреждению [7-10]. По данным Staples A., Wong C. и др. повреждение клубочков начинается уже при артериальной гипертензии I степени, при этом в процесс нефросклероза начинают вовлекаться структуры клубочка и интерстиция, что сопровождается дезадаптивной перестройкой внутривисцерального сосудистого русла [11-14]. Так, ранняя диагностика изменений внутривисцерального кровотока позволяет визуализировать и оценить нарушения гемодинамики уже на ранних стадиях почечного заболевания и предупредить наступление или прогрессирование почечной недостаточности [15-17]. Исследование состояния почечного кровотока, включающее его характеристику на уровне различных звеньев циркуляции крови, дает ценную информацию, необходимую для определения диагноза заболевания и выбора адекватной тактики лечения больного [18].

Ультразвуковое исследование почек и почечных сосудов, параметры почечного кровотока

На сегодняшний день одним из наиболее доступных и современных неинвазивных методов диагностики поражения почечных сосудов и количественной оценки показателей почечного кровотока у больных с подозрением или уже установленным заболеванием почек, является ультразвуковое доплерографическое исследование. Доплерографический метод оценки интенсивности кровотока у больных хроническими нефропатиями вследствие высокой чувствительности и информативности все больше привлекает внимание клиницистов [19,20]. Данный метод исследования включает в себя В-режим сканирования (двухмерный сканер, серошкальное исследование), работающий в режиме реального времени и исследование почечных сосудов в доплеровском режиме для полноценной визуализации основных артериальных и венозных сосудов почек и характеристики кривой доплеровского спектра [21-25].

Исследование почек в В-режиме (рисунок 1) основано на получении на экране дисплея органа в двух пространственных измерениях. Проводится в положении пациента лежа на спине, на правом и левом боку, а также сидя спиной к врачу. Основными морфологическими параметрами, которые оцениваются в этом режиме, являются локализация почки, ее контур, продольный и поперечный размер, толщина паренхимы и оценка экзогенности органа, структура и состояние мочевых путей, наличие врожденных аномалий почек, а также обнаружение очаговых поражений, кист и почечных камней [18,26,27].

После определения морфологических показателей почек, полученных в В-режиме, методом цветового доплеровского сканирования проводится визуализация почечных сосудов (рисунок 2, рисунок 3). Режим цветового доплеровского картирования улучшает дифференцировку между сосудистыми и несосудистыми образованиями, позволяет визуализировать мелкие сосуды, находящиеся в паренхиме органа [28].

При исследовании натошак определяется практически полное совпадение всех эконегативных образований почечного синуса с зонами определяемого кровотока [29]. В связи с высокой интенсивностью почечного кровотока и густой сосудистой сети, качество цветового кодирования приближается к истинному строению артериального почечного русла [29,30].

После визуальной оценки почечного кровотока в режиме цветового картирования, необходимо получить доплеровскую кривую, по спектральной характеристике потока которой можно судить о профиле кровотока и его скоростных характеристиках. Такую кривую получают с помощью режима импульсной доплерографии. Доплеровская кривая несет в себе информацию о типе сосуда (артерия или вена), о его скоростных показателях кровотока и состоянии сосудистой стенки [31-33].

Измерения осуществляются на уровне магистральной почечной артерии, сегментарных, междольковых (интерлобарных) артерий, которые располагаются в почечных столбах и проникают до основания почечных пирамид, на уровне дуговых (аркуатных) артерий и междольковых (интерлобулярных) артерий, которые радиально ветвятся и направляются в корковое вещество [18,30].



Рис.3. Почечный кровоток в режиме цветового доплеровского картирования. Хорошая визуализация магистральной артерии.

Анализ спектральной доплеровской кривой проводят, учитывая качественные и количественные показатели. К качественным характеристикам относят форму кривой, локализацию максимума спектрального расширения. Поскольку почечные артерии являются сосудами с низким периферическим сопротивлением и высокой степенью перфузии, то при оценке в них кровотока имеются свои особенности. Сигнал в почечных артериях представляет собой быстрый систолический подъем (или ранний систолический пик, изображенный на рисунке 4, который в норме может быть расщеплен) и длительную диастолическую кривую, которая никогда не опускается ниже базальной линии вследствие отсутствия обратного тока во время диастолы [18,34,35].

Оценка количественных показателей почечного кровотока включает в себя следующие параметры:

- Максимальная систолическая (пиковая) скорость (V_{max} , S , V_{ps}) - характеризует наибольшую линейную скорость движения частиц крови в потоке в момент максимального ускорения в систолу, выраженная в мм/с, см/с или м/с. Основным фактором, который оказывает влияние на величину пиковой систолической скорости кровотока, является ударный объем (или сердечный выброс при установившейся частоте сердечных сокращений). Менее существенное влияние на нее оказывают свойства сосудистой стенки и реологические характеристики крови.

- Конечная (минимальная) диастолическая скорость (V_{min} , D , V_{ed}) - минимальная величина скорости кровотока в фазе диастолы.

Следует отметить, что пиковая систолическая и конечная диастолическая скорости кровотока характеризуют показатели кровотока в конкретные периоды сердечного цикла, не давая информации об истинной скорости кровотока в сосуде за весь сердечный цикл [18,33,36,37].

- Усредненная по времени максимальная скорость кровотока ($TAMx$) - величина усредненной по времени максимальной скорости кровотока за несколько сердечных циклов.

- Усредненная по времени средняя скорость кровотока (F_{mean}, TAV) - усреднение по времени всех состав-

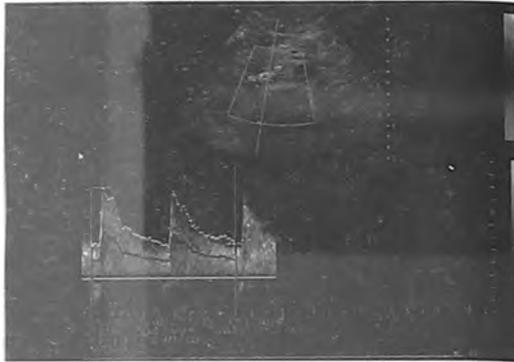


Рис.4. Максимальный подъем - систолический пик, соответствует максимальной систолической скорости.

ляющих доплеровского спектра за несколько сердечных циклов. Эта величина отражает среднюю линейную скорость кровотока, являясь одним из наиболее чувствительных параметров артериальной патологии, тогда как параметры пиковых скоростей меняются на более поздних стадиях патологического процесса [18,37].

Представленные показатели средних скоростей кровотока дают наиболее полное представление об истинной скорости движения частиц в сосуде.

- Объемный кровоток (объемная скорость кровотока, V_{vol}) - определяется с помощью произведения площади сечения сосуда и средней скорости кровотока. Подсчет объемной скорости кровотока может быть выполнен автоматически в случае использования ультразвуковых аппаратов с объемным изображением.

- Минутная перфузия почки (минутный объем кровотока) - произведение объемного кровотока на 60, определяемое в мл за минуту. Увеличение минутного объема может быть связано как с ростом градиента давления, так и со снижением сосудистого сопротивления [17].

Кроме вышперечисленных показателей почечного кровотока имеются величины, характеризующие начальную часть кривой доплеровского спектра.

- Время ускорения (AT) - это время от начала систолической фазы до момента максимального возрастания скорости кровотока раннего систолического пика. В норме этот показатель колеблется от 40 до 90 мсек.

- Индекс ускорения (AI , акселерация) - отношение значения доплеровского сдвига частот (в кГц) через 1 с после начала систолы к излучаемой частоте (в МГц), измеряется в 1/с.

- Ускорение (Ace) - представлено отношением разницы максимальной систолической и конечной диастолической скоростей кровотока к времени ускорения.

$$Ace = (V_{max} - V_{min}) / AT.$$

Данные показатели ускорения характеризуют скорость распространения пульсовой волны кровотока, тонус сосудистой стенки [18,30,37].

В своих трудах Квятковский Е.А. с соавт., Гендлин Г.Е. с соавт., Байбарина Е.Н. с соавт. и др. указывают на то, что следует отличать угол-зависимые показатели по-

Таблица 1.

V max (Vps), см/с	80 – 100* 60 – 140
V min (Ved), см/с	33 – 37* 24 – 44
RI	0,57 – 0,64* 0,56 – 0,70
PI	0,9 – 1,20* 0,7 – 1,40
S/D	2,4 – 2,8* 2,1 – 3,8
TAMx, см/с	48 – 58* 36 – 66
Время ускорения (AT), с	0,042 – 0,057* 0,04 – 0,09
Индекс ускорения (AI), м/с ²	2,5 – 3,8* 2,2 – 4,3
Минутный объем кровотока, мл/мин	330 – 830
Рено-аортальный индекс	1,4* < 3,0**

* - наиболее вероятные значения для лиц в возрасте от 20 до 60 лет

** - индекс более 3,0 является достоверным критерием стеноза почечной артерии > 60%, а более 3,5 указывает на степень стеноза 60-99% [40].

чечного кровотока, правильность определения которых будет зависеть от угла между направлением распространения ультразвука и продольной осью сосуда, и угол-независимые. К угол-зависимым относят линейные и объемные скорости, из которых наиболее информативным считают TAMx, а наиболее переменным объемный кровотока и минутную перфузию почки [18,38-39]. С этой же целью Гендлин Г.Е., Эттингер О.А., Резник Е.В., Тронина О.А., Соломонова Л.Н. [38] выделяют группу абсолютных показателей почечного кровотока, к которым относят угол-зависимые, и группу относительных показателей, к которым относят угол-независимые.

К угол-независимым показателям относят следующие:

- Индекс резистентности (RI, индекс Пурсело, Пурселота) – определяется отношением разности максимальной систолической и конечной диастолической скоростей кровотока к максимальной систолической скорости кровотока.

$$RI = (V_{max} - V_{min}) / V_{max}$$

- Пульсационный индекс (PI, индекс Гослинга) - определяется отношением разности между максимальной систолической скоростью и конечной диастолической скоростью кровотока к усредненной по времени максимальной (а) или средней (в) скорости кровотока.

$$A) PI = (V_{max} - V_{min}) / TAMx;$$

$$B) PI' = (V_{max} - V_{min}) / TAV.$$

Индексы пульсации и резистивный индекс отражают состояние микроциркуляторного русла и позволяют косвенно судить о величине периферического сопротивления. У здоровых лиц значения индексов сопротивления могут иметь небольшие различия между собой. В таком случае подсчитывается среднее значение из индексов сопротивления для каждой почки. Стоит также отметить, что в магистральной почечной артерии они выше в области ворот, по сравнению с дистальными отделами и ниже всего они в междолевых артериях. Наиболее часто для

оценки показателей кровотока используют сегментарные и междолевые артерии, поскольку они более доступны для визуализации.

- Индекс спектрального расширения (Стюарта, SBI) – определяется отношением разности максимальной систолической скорости кровотока и усредненной по времени средней скорости к максимальной систолической скорости. Данный индекс косвенно характеризует степень турбулентности потока крови и используется чаще всего при диагностике стеноза почечной артерии.

$$SBI = (V_{max} - TAV) / V_{max}$$

- Систола-диастолическое соотношение (S/D) – определяется отношением максимальной систолической и конечной диастолической скорости кровотока. Является косвенным признаком периферического сопротивления и эластичности сосудистой стенки. Имеются данные, в которых отмечается взаимосвязь между изменениями S/D и развитием АГ [17].

$$S/D = V_{max} / V_{min}$$

- Диастолический индекс (D/S) – отношение между конечной диастолической и максимальной систолической скоростями.

$$D/S = V_{min} / V_{max}$$

- Рено-аортальный индекс (РАИ, RAR) – представляет собой отношение пиковой систолической скорости кровотока в почечной артерии к пиковой систолической скорости в аорте. Данный индекс зависит как от диаметра почечной артерии, так и от сердечного выброса и скорости кровотока в аорте.

$$RAR = V_{max} (a.ren) / V_{max} (aорта).$$

В таблице 1 приводятся нормативные данные о средних показателях почечного кровотока и показателях, наиболее часто встречающихся у взрослых в возрасте от 20 до 60 лет (Квятковский Е.А., Квятковская Т.А., 2005).

При исследовании почечной гемодинамики нередко оценивается венозный кровоток. Он осуществляется в тех же режимах, что и артериальный [18,30]. Основ-

ными показателями, характеризующими венозный кровоток, являются максимальная скорость кровотока в вене (V_{\max}), усредненная по времени средняя скорость кровотока (V_{avg}), и объемная скорость кровотока (V_{vol}). Следует отметить, что скоростные показатели и давление в венах связаны с актом дыхания (как правило, на вдохе, кровоток в вене снижается, а на выдохе возрастает).

Изменения гемодинамических показателей почечного кровотока у пациентов с хроническим заболеванием почек

В исследовании, где использовали доплеровский метод на уровне межлобковых вен, вен почечного синуса и магистральной почечной вены, оценивали состояние почечного венозного кровотока у больных с диффузным заболеванием почек в сочетании с симптоматической артериальной гипертензией было выявлено достоверное снижение объемного кровотока и артерио-венозного отношения у больных с диффузными заболеваниями почек [41].

В 2008 году Татаркина Н.Д. и Коваль Н.В. проводили исследование почечного кровотока у больных с хроническим гломерулонефритом и хроническим пиелонефритом, сочетающимися с синдромом артериальной гипертензии [11]. Оценивались пиковая систолическая скорость кровотока, максимальная конечная диастолическая скорость кровотока, усредненная скорость кровотока и резистивный (RI) и пульсационный (PI) индексы. Перечисленные показатели изучались на уровне магистральной почечной артерии, а также сегментарных, межлобковых и дуговых артериях. У всех пациентов с ренопаренхиматозной АГ на уровне магистральной почечной артерии было отмечено повышение индексов периферического сопротивления, конечная диастолическая скорость кровотока определялась выше нормы в группе больных хроническим гломерулонефритом (ХГН) и проявила тенденцию к увеличению при хроническом пиелонефрите. Систолические скоростные параметры в этих группах не отличались от норм. На уровне сегментарных артерий у больных в обеих группах были отмечены только увеличение резистивных индексов. В межлобковых артериях авторы отмечали снижение скоростных показателей как в систолу, так и в диастолу. Наибольшие изменения были зарегистрированы на уровне дуговых почечных артерий как при гломерулонефрите, так и при пиелонефрите. Наряду с увеличением резистивных индексов, наблюдалось снижение скоростных параметров. Полученные результаты свидетельствовали о том, что почечный кровоток при гломерулонефрите и пиелонефрите, сочетающихся с синдромом АГ характеризуется увеличением сопротивляемости сосудов и снижением (на уровне дуговых артерий) или тенденцией к снижению скоростных параметров.

Авторами Глазуном Л.О., Полухиной Е.В. и др. в 2002 году был предложен метод оценки прогрессирования хронической почечной недостаточности при ХГН, основанный на доплерографии [42]. Данный метод заключался в определении средней скорости кровотока

в почечных артериях на уровне межлобковых артерий паренхимы почки. По результатам проведенных исследований, при средней скорости кровотока менее 9 см/с – считали наличие хронической почечной недостаточности, а при скорости менее 5 см/с наличие терминальной стадии ХПН.

По данным исследований Хрущевой Н. А., Мирановой Н. В. с соавт., проведенных среди детей с хроническими заболеваниями почек в период частичной или полной клинико-лабораторной ремиссии было выявлено нарушение почечной гемодинамики в виде снижения конечной диастолической скорости и вариабельности индекса резистентности на уровне паренхиматозных артерий [43]. При нефросклерозе с развитием ХПН было диагностировано снижение максимальной систолической и конечной диастолической скоростей на магистральной и паренхиматозных почечных артериях. Была установлена взаимосвязь между показателями ренальной гемодинамики и степенью снижения функции почки (в данном исследовании функция почек оценивалась с помощью динамической нефросцинтиграфии), что дает возможность использования метода доплерографии на раннем этапе диагностики с целью выявления структурно-функциональных нарушений в почках.

Макаренко Е.С. с соавт. с помощью метода дуплексного сканирования оценивали количественные и временные параметры кровотока в почечных артериях у пациентов с 1-2 степенью артериальной гипертензии. Было выявлено увеличение показателей сосудистого сопротивления и индекса ускорения, а также снижения показателя конечного систолического объема [44]. Выявлена корреляционная взаимосвязь временных параметров кровотока в почечных артериях с возрастом и липидами.

Значимость доплеровского метода в оценке почечной гемодинамики подтверждают работы Nezami N., Tarzami M.K. и др., в которых авторы с помощью пульсационного индекса, резистивного индекса и венозного кровотока в почечных сосудах, изучали нарушения функции почечного трансплантата и связанных с ним сосудистых осложнений. PI и RI имели прямую корреляцию с уровнем креатинина и степенью поражения почечных артерий [45].

Chudek J. с соавторами обнаружили выраженную обратную корреляцию между уровнем клубочковой фильтрации и показателями PI и RI у пациентов с почечным трансплантатом [46]. Пациенты с более высоким уровнем креатинина имеют высокие показатели RI и PI. Хотя изменения этих индексов могут свидетельствовать об измененной перфузии почек, по мнению авторов, они могли бы повлиять на повышение уровня артериального давления, изменение частоты сердечных сокращений (ЧСС) и сосудистые реакции реципиента почечного трансплантата [47]. С другой стороны, сосуды трансплантата могут иметь другие доплеровские показатели почечного кровотока [48].

Huang J., Wu Y. с соавт. в 2011 году проводили исследование, в котором с помощью метода дуплексного сканирования оценивали индекс сопротивления в почечной

артерии трансплантата в ранние сроки после пересадки и его взаимосвязь с показателями креатинина сыворотки крови. В исследовании участвовали 123 реципиента, которые по показателю RI были разделены на 2 группы (RI $\geq 0,75$ и RI $<0,75$ соответственно) [49]. У больных с RI $\geq 0,75$ была выявлена значительная положительная корреляция ($P < 0,05$) между уровнями RI и креатинина, в то же время отмечалась обратная корреляция у пациентов с RI $<0,75$ ($P < 0,05$). Пациенты с RI $<0,75$ имели значительно более низкий уровень креатинина, чем пациенты с RI $\geq 0,75$.

В 2010 году испанскими биологами Novellas R., Ruiz de Gopegui R., Espada Y. был проведен эксперимент с участием 20 кошек и 50 собак с почечной недостаточностью [50]. Оценивались показатели почечного сосудистого сопротивления (PI, RI) и артериального давления. У собак была выявлена положительная корреляция между PI и уровнем креатинина сыворотки. У кошек была обнаружена положительная корреляция между RI и мочевиной, между PI и уровнем креатинина сыворотки крови, а также между PI и мочевиной. Взаимосвязи между RI, PI и уровнем систолического артериального давления выявлено не было.

Petersen L.J., Petersen J.R. и соавт. с помощью метода доплеровского сканирования сравнивали PI и RI почечных артерий у здоровых добровольцев и у пациентов с артериальной гипертензией и хронической почечной недостаточностью, а также изучали их взаимосвязи с показателями функции почек и гемодинамики [51]. В первую группу вошли пациенты с СКФ менее 50 мл/мин, систолическим артериальным давлением выше 140 мм рт. ст. и диастолическим выше 95 мм. рт. ст., в группу контроля вошли здоровые добровольцы без признаков почечной патологии и нормальным уровнем АД. Индексы PI и RI были значительно выше в основной группе, чем в группе контроля. PI и RI достоверно коррелировали с эффективным почечным плазмотоком, величиной сосудистого

сопротивления и клиренсом креатинина, определена достоверная корреляционная взаимосвязь между RI и СКФ.

Взаимосвязь между резистивным индексом в почечной артерии и уровнем креатинина сыворотки изучали Kim S.H., Kim W.H. и соавт., обследуя 40 пациентов с диффузными заболеваниями почек и 28 пациентов без почечной патологии методом доплеровского сканирования [52]. Резистивный индекс в контрольной группе и в группе с почечной патологией был $0,627 \pm 0,042$ и $0,823 \pm 0,237$ соответственно. В группе пациентов, имеющих ХБП, не отмечено статистически значимой корреляции между RI и уровнем креатинина сыворотки. Полученные результаты остаются противоречивыми и не совпадают с мнениями других исследователей, однако, авторы утверждают, что дуплексная доплерография может быть использована в качестве оценки функционального состояния почек у пациентов с ХБП.

Заключение

По результатам полученных исследований, имеющих в отечественной и зарубежной литературе, показана взаимосвязь между показателями почечной гемодинамики, особенно скоростных параметров и индексов сосудистого сопротивления у пациентов, страдающих ХБП и АГ, и уровнем клубочковой фильтрации и креатинина сыворотки крови. Однако, предоставленные данные носят противоречивый характер, что обуславливает необходимость дальнейшего углубленного изучения корреляции показателей почечного кровотока с помощью метода доплеровского сканирования почечных сосудов, которые могли бы быть прогностическими критериями прогрессирования хронической почечной недостаточности. ■

Борзунова Н.С. - очный аспирант кафедры пропедевтики внутренних болезней ГБОУ ВПО УГМУ Минздрава РФ. Адрес для переписки – 620000, г. Екатеринбург, ул. Волгоградская 189, natuskroshk@rambler.ru

Литература:

1. Нанчикеева М.Л., Конечная Е.Л., Буланов М.Н. и др. Возможности ранней диагностики поражения почек у больных гипертонической болезнью. *Терапевтический архив*. 2004; 76(9): 29-34.
2. Шилов Е.М., Фомин В.В., Шведов М.Ю. Хроническая болезнь почек. *Терапевтический архив*. 2007; 6: 75-78.
3. Назаров А.В., Жданова Т.В. Хроническая болезнь почек. Раннее направление к нефрологу. *Уральский медицинский журнал*. 2007; 9: 55-59.
4. National Kidney Foundation: K/DOQI clinical practice guidelines for chronic kidney disease: Evaluation, classification and stratification. *Am.J.Kidney Dis*. 2002; 39 (Suppl 1): 1.
5. Смирнов А.В., Есаиян А.М., Каюков И.Г. и др. Современные подходы к замедлению прогрессирования хронической болезни почек. *Нефрология*. 2004; 8(3): 89-99.
6. Vassalotti J.A., Stevens L.A., Levey A.S. Testing for chronic kidney disease: a position statement from the National Kidney Foundation. *American journal of kidney diseases*. 2007; 50 (2):169-80.
7. Staples A., Wong C. Risk factors for progression of chronic kidney disease. *Current opinion in pediatrics*. 2010; 22(2):161-9.
8. Locatelli F., Marcelli D., Comelli M., et al. Proteinuria and blood pressure as causal components of progression to end-stage renal failure. Northern Italian Cooperative Study Group. *Nephrology, dialysis, transplantation*. 1996; 11(3):461-7.
9. Klag M.J., Whelton P.K., Randall B.L. et al. Blood pressure and end-stage renal disease in men. *The New England journal of medicine*. 1996; 4(1):13-8.
10. Mitsnefes M., Ho P.L., McEnery P.T. Hypertension and progression of chronic renal insufficiency in children: a report of the North American Pediatric Renal Transplant Cooperative Study (NAPRTCS). *Journal of the American Society of Nephrology*. 2003; 14(10): 2618-2622.
11. Татаркина Н.Д., Коваль Н.В. Состояние почечного кровотока у больных артериальной гипертензией. *Тихоокеанский медицинский журнал*. 2008; 1: 56-58.
12. Coresh J., Byrd-Holt D., Astor B.C., et al. Chronic kidney disease awareness, prevalence, and trends among U.S. adults, 1999 to 2000. *Journal of the American Society*

- of Nephrology : JASN. 2000; 16: 180-188.
13. Iseki K, Kohagura K, Sakima A, et al. Changes in the demographics and prevalence of chronic kidney disease in Okinawa, Japan (1993 to 2003). Hypertension research : official journal of the Japanese Society of Hypertension. 2007; 30(1): 55-62.
 14. Iseki K The okinawa screening program. Journal of the American Society of Nephrology : JASN. 2003; 7: 127-130.
 15. Skvorzova N. V., Chekhonatskaya M. L., Rossolovsky A. N., Kondratieva O. A., Sedova L. N., Abramova A. P. Ultrasonic diagnostics perspectives in patients with urolithiasis (review). Saratov Journal of Medical Scientific Research. 2011; 7(3): 718-722.
 16. Burns P.N. The physical principles of Doppler and spectral analysis. Journal of clinical ultrasound. 1987; 15(9):567-90.
 17. Богмат Л.Ф., Евдокимова Т.В., Введенская Т.С. Особенности почечного кровотока у пациентов с первичной артериальной гипертензией. Артериальная гипертензия. 2009; 5 (7).
 18. Квятковский Е.А., Квятковская Т.А. Ультрасонография и доплерография в диагностике заболеваний почек. Днепропетровск: Новая идеология. 2005.
 19. Bertolotto M., Perrone R., Rimondini A. Kidney obstruction: potential use of ultrasonography and Doppler color ultrasonography. Archivio italiano di urologia, andrologia. 2000; 72(4): 127-34.
 20. Platt J.F. Duplex Doppler evaluation of acute renal obstruction. Seminars in ultrasound, CT, and MR. 1997; 18(2):147-53.
 21. Зубарев А.В. Исследование почечного кровотока: новые возможности эхографии. Терапевтический архив. 2006; 4: 26-28.
 22. Fenster A., Downey D.B., Cardinal H.N. Three-dimensional ultrasound imaging. Physics in medicine and biology. 2001; 46(5): 67-99.
 23. Лелюк В.Г., Лелюк С.Э. Основные принципы гемодинамики и ультразвукового исследования сосудов. Клиническое руководство по ультразвуковой диагностике. М.: 1997; 4: 185-220.
 24. Zubarev A.V. Ultrasound of renal vessels. European radiology. 2001; 11(10): 1902-1915.
 25. Ушакова Л.Ю. Ультразвуковое исследование сосудов. Медицинские новости. 2009; 13: 12-16.
 26. Meola M., Petrucci L., Giovannini L., Samoni S., Dellafiore C. Ultrasound and color Doppler applications in nephrology. The normal kidney: anatomy, vessels and congenital anomalies. Giornale italiano di nefrologia. 2012; 29(3):333-347.
 27. Radermacher J. Ultrasound of the kidney and renal vessels. I: Normal findings, congenital diseases, diseases of the kidney parenchyma. Der Internist. 2003; 44(10):1283-97.
 28. Кунцевич Г.И., Белолопатко Е.А. Цветовое доплеровское картирование и импульсная доплерография абдоминальных сосудов. Ультразвуковая доплерографическая диагностика сосудистых заболеваний. Видар. 1998.
 29. Митьков В.В., Брюховецкой Ю.А., Соколов А.И., Стручкова Т.Я., Хитрова А.Н., Шолохов В.Н. Клиническое руководство по ультразвуковой диагностике. Видар. 1996; 1: 1-336.
 30. Лелюк В.Г., Лелюк С.Э. Ультразвуковая ангиология. М.: 2003; 336.
 31. Bude R.O., Rubin J.M. Power Doppler sonography. Radiology. 1996; 200(1):21-23.
 32. Bude R.O., Rubin J.M., Adler R.S. Power versus conventional color Doppler sonography: comparison in the depiction of normal intrarenal vasculature. Radiology. 1994; 192(3):777-780.
 33. Taylor K.J., Holland S. Doppler US. Part I. Basic principles, instrumentation, and pitfalls. Radiology. 1990; 174(2):297-307.
 34. Зубарев А.В., Гажонова В.Е. Диагностический ультразвук. Уронефрология. Практическое руководство. М.: 2002.
 35. Halpern E.J., Deane C.R., Needleman L., Merton D.A., East S.A. Normal renal artery spectral Doppler waveform: a closer look. Radiology. 1995; 196(3):667-73.
 36. Берестень Н.Ф., Цыпунюк А.О. Допплеросонография периферических сосудов. Часть I. SonoAce-Ultrasound. 2009; 4: 83-90.
 37. Хайт Г.Я., Сохач А.Я., Павлюк Н.Н. Ультразвуковое исследование при заболеваниях органов брюшной полости и забрюшинного пространства. Методическое пособие. Ставрополь; 2006.
 38. Гендлин Г.Е., Этгингер О.А., Резник Е.В., Тронина О.А., Соломонова Л.Н. Ультразвуковое исследование почек: возможности и границы метода. Клиническая нефрология. 2009; 2:17 – 25.
 39. Байбарина Е.Н., Антонов А.Г., Шарипова Л.В. Допплерометрия почечной артерии и ее значение в терапии новорожденных. Ультразвуковая диагностика. 1999; 1: 56-60.
 40. Пол С. Сиду, Вуи К. Чонг. Измерения при ультразвуковом исследовании. Практический справочник, М.: 2000.
 41. Соломка О.В., Прокопьев А.О. Допплеровское исследование венозного почечного кровотока при диффузных заболеваниях почек и симптоматической артериальной гипертензии. Bulletin of the International Surgical Association. 2008; 3(1):91-02.
 42. Глазун Л.О., Полухина Е.В., Петричко М.И. Способ оценки прогрессирования хронической почечной недостаточности у больных хроническим гломерулонефритом. Патент RU 2218870; 2002.
 43. Хрущева Н.А., Миронова Н.В., Клейн А.В. и др. Клинико-гемодинамические и структурно-функциональные взаимосвязи у детей с хроническими заболеваниями почек. Уральский медицинский журнал. 2012; 7 (99): 44-49.
 44. Макаренко Е.С., Домбровский В.И., Неласов Н.Ю. Ультрасонографическое исследование кровотока в почечных артериях у больных артериальной гипертензией. Вестник рентгенологии и радиологии. 2012; 1:34-37.
 45. Nezami N., Tarzami M.K., Argani H., Nourifar M. Doppler ultrasonographic indexes in kidney transplant recipients: its relationship with kidney function. Iranian journal of kidney diseases. 2007; 1(2): 82-87.
 46. Chudek J., Kolonko A., Krol R., Ziaja J., Cierpka L., Wiecek A. The intrarenal vascular resistance parameters measured by duplex Doppler ultrasound shortly after kidney transplantation in patients with immediate, slow and delayed graft function. Transplant Proc. 2006; 38:42-45.
 47. Loubeyre P., Abidi H., Cahen R., Tran Minh V.A. Transplanted renal artery: detection of stenosis with color Doppler US. Radiology. 1997; 203:661-665.
 48. Breitenseher M., Helbich T., Kainberger F., et al. Doppler ultrasound of kidney transplants. Does the resistance index facilitate diagnosis of chronic kidney failure? Ultraschall Med. 1994; 15:24-28.
 49. Huang J., Wu Y., Su Z.X., Zhuo Y.M. Correlation between renal artery resistance index and serum creatinine level early after renal transplantation. Journal of Southern Medical University. 2011; 31(6):1105-6.
 50. Novellas R., Ruiz de Gopegui R., Espada Y. Assessment of renal vascular resistance and blood pressure in dogs and cats with renal disease. The Veterinary record. 2010; 15:618-623.
 51. Petersen L.J., Petersen J.R., Ladefoged S.D., Mehlsen J., Jensen H.A. The pulsatility index and the resistive index in renal arteries in patients with hypertension and chronic renal failure. Nephrology, dialysis, transplantation. 1995; 10(11):2060-2064.
 52. Kim S.H., Kim W.H., Choi B.I., Kim C.W. Duplex Doppler US in patients with medical renal disease: resistive index vs serum creatinine level. Clinical radiology. 1992; 45(2):85-87.