

© Коллектив авторов, 2013

А.И. ГУС, К.В. КОСТЮКОВ, Е.С. ЛЯШКО

ТРЕХМЕРНАЯ ДОППЛЕРОГРАФИЧЕСКАЯ АНГИОГРАФИЯ В ОЦЕНКЕ ПОЧЕЧНОЙ ГЕМОДИНАМИКИ ПРИ ВРОЖДЕННЫХ ОБСТРУКТИВНЫХ УРОПАТИЯХ У ПЛОДА

ФГБУ Научный центр акушерства, гинекологии и перинатологии им. академика В.И. Кулакова
Минздрава России, Москва

Цель исследования. Оценка роли трехмерной доплерографической ангиографии при обструктивных уропатиях у плода.

Материал и методы. Проспективно методом случай-контроль у 45 плодов с обструктивными пороками мочевыделительной системы (МВС) и 45 плодов с отсутствием каких-либо пороков развития в сроке от 20 до 40 недель беременности проанализированы полученные с помощью импульсно-волновой доплерометрии и 3D-доплерографической ангиографии параметры кровотока в почечной артерии с учетом степени расширения ЧЛК.

Результаты исследования. Применение импульсно-волновой доплерометрии почечной артерии позволило выявить в исследуемых группах, начиная с 25 недель беременности, статистически значимые различия показателей кровотока. Анализ данных 3D-доплерографической ангиографии в неизмененных почках показал наличие прямо пропорциональной зависимости сосудистых индексов (VI, FI и VFI) от срока беременности, объема органа и толщины паренхимы. При обструктивных уропатиях по сравнению с таковыми в контрольной группе независимо от срока беременности данные индексы были значительно снижены, в то время как коррелировали значения VI и VFI с объемом почки и ЧЛК, степенью расширения последней, а также толщиной сохраненной паренхимы.

Заключение. Трехмерная доплеровская ангиография объективно отражает анатомо-функциональное состояние органов МВС плода при обструктивных уропатиях и может эффективно использоваться для дифференциальной диагностики и прогнозирования состояния новорожденного.

Ключевые слова: трехмерная доплерографическая ангиография, VOCAL, обструктивные уропатии, гидронефроз, доплерометрия, врожденные пороки развития.

A.I. GUS, K.V. KOSTYUKOV, E.S. LYASHKO

VALUE OF THREE-DIMENSIONAL POWER DOPPLER ANGIOGRAPHY IN CONGENITAL FETAL OBSTRUCTIVE UROPATHIES

Academician V. I. Kulakov Research Center of Obstetrics, Gynecology, and Perinatology,
Ministry of Health of Russia, Moscow

Objective. To assess the role of three-dimensional (3D) power Doppler angiography in obstructive uropathies, the relationship of vascular indices to fetal renal artery blood flow values and the magnitude of dilation of the renal collecting system in the antenatal period and to determine whether the findings can be used to predict the neonatal status.

Subject and methods. A prospective case-control analysis was made in 45 fetuses with obstructive defects of the urinary tract and in 45 fetuses without any malformations at 20 to 40 weeks of gestation, in whom renal volume, dilatation of the calyco-pelvic system (CPS), renal artery blood flow values, and 3D power Doppler angiographic parameters were analyzed. The set of neonatal studies included physical examination, echography, and contrast-enhanced magnetic resonance imaging of the urinary tract.

Results. In the study group, the renal volumes measured by 3D echography were found to differ from those calculated using three linear dimensions. Pulsed wave Doppler imaging of the renal artery demonstrated statistically significant differences in blood flow values in the study groups, starting at 25 weeks of pregnancy. Analysis of 3D power Doppler angiographic findings showed that the vascular indices (VI, FI, and VFI) in the unaltered kidneys were directly proportional to pregnancy duration, organ volume, and parenchymal thickness. These indices were substantially decreased in obstructive uropathies as compared to the control group regardless of gestational age. Correlation analysis indicated that renal volume, CPS dilation and volume, and parenchymal thickness preservation affected VI and VFI values in obstructive uropathies.

Key words: three-dimensional power Doppler angiography, VOCAL, obstructive uropathies, hydronephrosis, Doppler imaging, congenital malformations.

Врожденные пороки развития (ВПР) по-прежнему остаются одной из наиболее частых причин перинатальной заболеваемости и смертности. В структуре врожденной патологии плода аномалии развития мочевыделительной системы (МВС) занимают одно из лидирующих мест, при этом их доля, согласно данным отдельных авторов, может достигать 36% [1, 2]. Среди последних частота различных вариантов обструктивных уropатий (ОУ) составляет от 40 до 87% [3]. В зависимости от степени выраженности и уровня обструкции формирующиеся при данной патологии анатомические особенности отличаются значительной вариабельностью и в тяжелых случаях характеризуются диспластическими изменениями гломерулярного аппарата почки, канальцев и мелких паренхиматозных сосудов, приводя к нефрогенной гипертензии и почечной недостаточности. Так, по сведениям Первого Российского регистра, хроническая почечная недостаточность, требующая проведения диализа, наблюдается у 65% детей с ВПР МВС [4]. Высокая распространенность указанных пороков, тяжесть их осложнений, бессимптомное течение и низкая частота клинической диагностики, не достигающая 25% у детей до года и 55% — до 5 лет, предъявляют высокие требования к пренатальному выявлению патологически сформированной МВС.

Одним из методов диагностики и прогнозирования течения заболеваний почек является ультразвуковое исследование. Неинвазивная, точная, возведенная в ранг обязательной составляющей протокола скрининговых обследований беременных, начиная с первого триместра, эхография позволила поднять на качественный иной уровень современную пренатальную диагностику пороков развития МВС.

Сегодня не вызывает сомнений важность изучения ангиоархитектоники с помощью цветового доплеровского картирования, особенно для оценки функционального состояния почек, в том числе и при наличии различной степени и локализации обструктивного поражения органов МВС.

Новым инструментом для изучения состояния тканевого и органного кровотока является трехмерная (3D) доплерографическая ангиография. Она не только позволяет оценить структуру и распределение сосудистого русла, но и с помощью сигнала энергетического доплера предоставляет объективную количественную информацию о состоянии его кровотока. Диапазон медицинского применения данной технологии достаточно обширен, что подтверждает рост числа публикаций последних лет [5–7].

В настоящее время для количественной оценки доплеровского сигнала предложено несколько компьютерных программ. Одной из наиболее широко используемых в клинической практике, в том числе

в акушерстве и гинекологии, является программа «Гистограмма объекта». Приложение VOCAL (Virtual Organ Computeraided AnaLysis) позволяет виртуально провести компьютерный анализ исследуемого органа в режиме трехмерных изображений. Количественная оценка относительной доли цветовых пикселей и интенсивности их сигнала в пределах области исследования достигается с помощью представленных в приложении определенных алгоритмов [8].

Известно, что для ОУ характерно, наряду с поражением паренхимы почки и уменьшением количества нефронов, изменение ее васкуляризации. Последнее может быть подтверждено посредством 3D-доплерографической ангиографии, что имеет важное прогностическое значение в пренатальной диагностике уropатий.

Цель данного исследования заключалась в оценке роли трехмерной доплерографической ангиографии в изучении почечной гемодинамики плодов с отсутствием каких-либо пороков и при обструктивных уropатиях.

Материал и методы исследования

Исследование выполняли на базе отделений функциональной диагностики и хирургии, реанимации и интенсивной терапии новорожденных ФГБУ НЦАГиП им. академика В.И. Кулакова Минздрава России в период с 2011 по 2012 год. Критериями включения в исследование были: одноплодная беременность в сроке от 20 до 40 недель, отсутствие у беременной экстрагенитальной патологии и отягощенного акушерско-гинекологического анамнеза. В основной группе у 45 плодов с антенатально выявленными ОУ (с увеличением переднезаднего размера лоханки (ПЗРЛ) более 7 мм) проанализированы степень расширения чашечно-лоханочного комплекса (ЧЛК), состояние кровотока в почечной артерии и параметры 3D-доплерографической ангиографии. Аналогичные исследования проведены в контрольной группе у 45 здоровых плодов с отсутствием каких-либо пороков развития. Критерии исключения — отказ пациентов от исследования и/или невозможность наблюдения.

Проведение исследования двумя независимыми специалистами отделения функциональной диагностики Центра придавало объективность пренатальному ультразвуковому диагнозу. Обследование беременных проводили на ультразвуковом приборе Voluson-E8 (General Electric, США) с использованием трансабдоминального конвексного мультисекторного датчика 4–8 МГц. Для исключения влияния разных технических условий настроек ультразвуковой сис-

Сведения об авторах:

Гус Александр Иосифович, доктор медицинских наук, профессор, заведующий отделением функциональной диагностики отдела визуальной диагностики ФГБУ НЦАГиП им. академика В.И. Кулакова Минздрава России

Адрес: 117997, Россия, Москва, ул. Академика Опарина, д. 4. Телефон: 8 (495) 438-11-77. E-mail: a_gus@oparina4.ru

Костюков Кирилл Витальевич, врач отделения функциональной диагностики отдела визуальной диагностики ФГБУ НЦАГиП им. академика В.И. Кулакова Минздрава России

Адрес: 117997, Россия, Москва, ул. Академика Опарина, д. 4. Телефон: 8 (495) 438-25-29. E-mail: k_kostyukov@oparina4.ru

Ляшко Елена Сергеевна, доктор медицинских наук, профессор кафедры репродуктивной медицины и хирургии ФГДО Московского государственного медико-стоматологического университета им. А.И. Евдокимова

Адрес: 127473, Россия, Москва, ул. Делегатская, д. 20, стр. 1. E-mail: elena-lyashko@yandex.ru

темы при проведении каждого последующего исследования устанавливались одни и те же параметры: Persistence-2; Line filter-Low; Contrast-9; Enhance-2; Reject-0; Quality-normal; Harmonic frequency-high; Smooth-5/7; Frequency- low; Ensemble-13; Flow resistance- Middle 1; Line density-5; PD Map-5; Balance gray-225; Artifact-on; Line filter-off; Quality-normal; WMFlow 1; PRF-0.6 KHz.

В процессе обследования проводились линейные измерения размеров почек. Состояние кровотока в почечной артерии с помощью импульсной доплерометрии последних характеризовалось спектром доплеровских кривых, отражающих систоло-диастолическое соотношение (С/Д), пульсационный индекс (ПИ) и индекс резистентности (ИР).

При использовании приложения VOCAL «Гистограмма объекта» оценивались следующие сосудистые индексы: индекс васкуляризации (Vascularisation Index (VI)), отражающий относительную долю цветных вокселей в зоне интереса, индекс потока (Flow Index (FI)), учитывающий их среднюю интенсивность сигнала, индекс васкуляризации потока (Vascularisation Flow Index (VFI)), представляющий собой сочетание двух вышеуказанных измерений (рис. 1 и 2 см. на вклейке).

В комплекс обследования новорожденных входили общие клинические исследования, для оценки функции почек применялась магниторезонансная томография с контрастированием.

Полученные данные были обработаны методами описательной статистики и представлены в виде среднего стандартного отклонения, а также с использованием программ Excel (Microsoft Office 2007) и STATISTICA 6 (StatSoft). Математические методы обработки данных включали статистический и корреляционный анализы. Для определения значимости различий сопоставляемых величин использовали Kruskal–Wallis ANOVA тест и χ^2 -тест. За уровень статистической достоверности принималось значение коэффициента Пирсона менее 0,05.

Результаты исследования

При обследовании 45 плодов основной группы (с 59 измененными почками) одностороннее поражение почки констатировано у 29 (64,4%), двустороннее – у 16 (35,6%). В зависимости от степени расширения ПЗРЛ все почки были распределены на три группы (табл. 1).

Как видно из представленных в табл. 1 данных, более чем в 1/3 наблюдений у плодов с ОУ отмечалось существенное расширение ПЗРЛ и, соответственно, значительное истончение паренхимы.

Особенностью ангиоархитектоники почек у плодов с выраженной обструкцией мочевыводящих путей (ПЗРЛ более 15 мм) при использовании режима

энергетического доплеровского сканирования было значительное обеднение кровотока в паренхиме, о чем свидетельствовала невозможность визуализации сосудов в паренхиме, прилегающей к капсуле. При этом «сосудистое дерево» характеризовалось смещением сегментарных и междольных его ветвей за счет расширения элементов собирательной системы (рис. 3 см. на вклейке).

При изучении показателей кровотока в почечной артерии при помощи импульсно-волновой доплерометрии было установлено повышение систоло-диастолического отношения (С/Д), пульсационного индекса (ПИ) и индекса резистентности (ИР) у плодов основной группы по сравнению с группой контроля. Статистически значимые различия данных значений в исследуемых группах установлены начиная с 25 недель беременности ($p < 0,05$). Причем эти различия изменялись со сроком беременности и были наиболее выражены в третьем триместре (табл. 2).

По данным корреляционного анализа, на значения показателей кровотока в почечной артерии у плодов с ОУ оказывали влияние выраженность расширения ЧЛК и толщина сохраненной паренхимы почки ($p < 0,01$). Указанная закономерность продемонстрирована на графике 1 на примере показателей ИР.

При оценке данных, полученных с помощью 3D-доплерографической ангиографии сосудов почек плодов контрольной группы, была установлена прямая зависимость показателей индекса васкуляризации (VI), индекса потока (FI) и индекса васкуляризации потока (VFI) от срока беременности (табл. 3), объема почки и толщины паренхимы ($p < 0,01$) (график 2). В то же время у плодов с ОУ значения VI

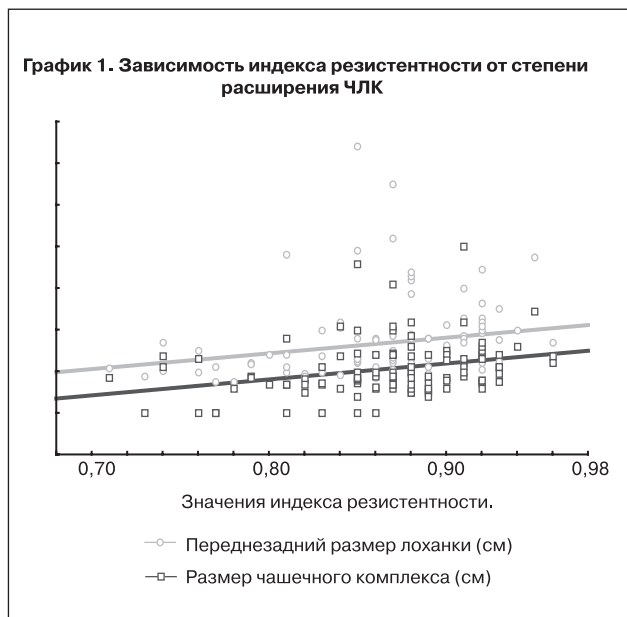
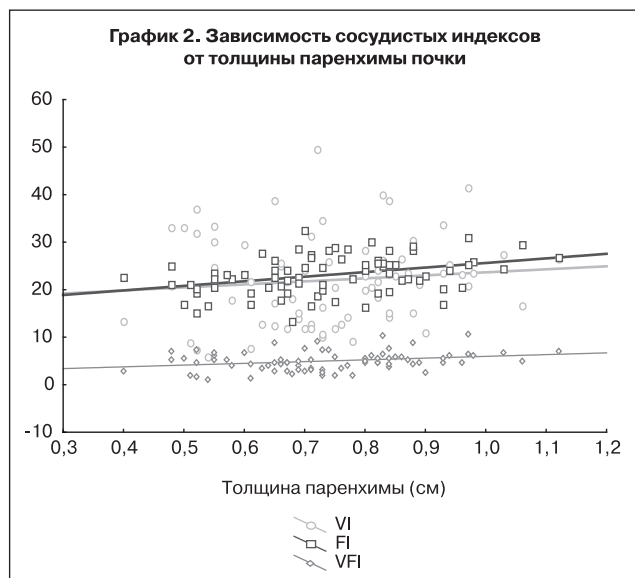


Таблица 1. Распределение почек плодов в зависимости от степени увеличения ПЗРЛ

Степень расширения ПЗРЛ	незначительное расширение 7–9 мм (I степень)	умеренное расширение 9–15 мм (II степень)	выраженное расширение >15 мм (III степень)	Всего (%)
Количество пораженных почек	15 (25,4%)	23 (39,0%)	21 (35,6%)	59 (100%)



и VFI были значительно снижены по сравнению с таковыми в контрольной группе ($p < 0,01$) (табл. 3).

Результаты проведенного анализа свидетельствовали о том, что между значениями сосудистых индексов (VI и VFI), характеризующих ренальную гемодинамику плодов с ОУ, и степенью расширения ЧЛК существует взаимосвязь ($p < 0,01$), представленная в табл. 3. Как наглядно демонстрируют данные, приведенные в указанной таблице, показатели индексов VI и VFI уменьшались при увеличении ПЗРЛ почек. При этом, несмотря на статистически достоверное различие значений индекса FI в основной и контрольной группах, корреляционный анализ констатировал отсутствие взаимосвязи данного индекса и анатомических особенностей пораженной почки.

С помощью корреляционного анализа выявлена прямая зависимость сосудистых индексов от толщины сохраненной паренхимы почек при ОУ (график 3).

Таблица 2. Показатели кровотока в почечной артерии у здоровых плодов и при обструктивных уropатиях в разные сроки беременности

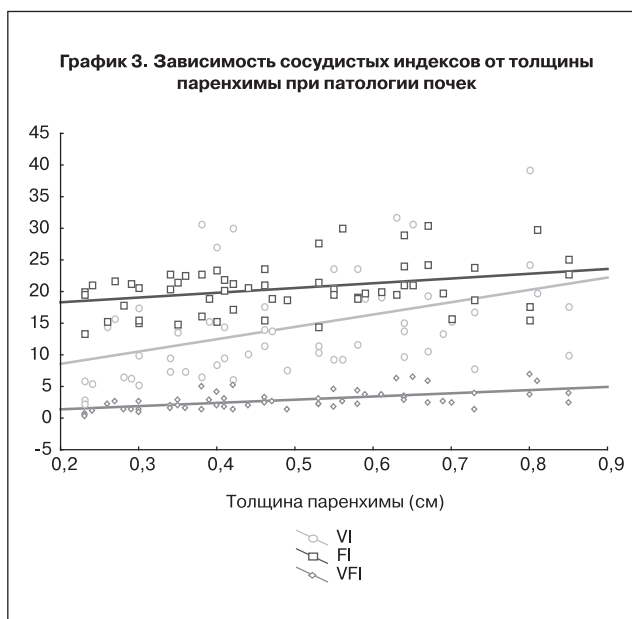
Показатели кровотока почечной артерии	Срок беременности (недели)				
	20–24	25–28	29–32	33–36	37–40
Систолю-диастолическое соотношение Группа контроля	8,38±2,28 (5,1–12,5)	6,62±1,53 (4,2–9,75)	6,23±2,57 (3,54–11,4)	6,17±1,99 (3,8–11,2)	4,39±1,04 (2,7–7,3)
Основная группа	7,92±3,9 (3,4–15,3)	9,32±2,79 (4,27–14,8)	8,98±4,8 (4,2–24,1)	9,01±3,93 (3,43–23,1)	7,27±2,73 (3,49–13,2)
Пульсационный индекс Группа контроля	2,41±0,38 (1,8–3)	2,17±0,4 (1,6–3,2)	2,17±0,45 (1,3–2,9)	2,04±0,51 (1,49–3,4)	1,61±0,25 (1,02–2,2)
Основная группа	2,72±0,61 (2,15–3,74)	2,44±0,41 (1,69–3,42)	2,33±0,46 (1,64–3,14)	2,27±0,52 (1,32–3,78)	2,09±0,45 (1,29–3,11)
Индекс резистентности Группа контроля	0,87±0,04 (0,8–0,9)	0,84±0,04 (0,76–0,9)	0,83±0,05 (0,72–0,9)	0,82±0,04 (0,71–0,89)	0,76±0,05 (0,63–0,86)
Основная группа	0,87±0,04 (0,82–0,93)	0,88±0,04 (0,77–0,93)	0,87±0,05 (0,76–0,96)	0,87±0,05 (0,74–0,96)	0,84±0,05 (0,73–0,92)

Таблица 3. Показатели сосудистых индексов ренального кровотока в зависимости от срока беременности у здоровых плодов и при различной степени обструктивных уropатий

Значения сосудистых индексов	Срок беременности (недели)				
	20–24	25–28	29–32	33–36	37–40
Норма					
VI	20,6±11,0	20,7±9,6	22,2±5,9	22,7±8,8	23,9±10
FI	20,9±3,4	21,4±4,3	22,7±2,6	23,1±4,1	25,4±3,7
VFI	4,4±2,08	4,8±1,8	5,1±1,3	5,1±2,2	5,2±2,3
Передне-задний размер лоханки почки до 9 мм					
VI	13,9±3,8	18,5±5,9	19±3,5	19,2±5,4	25,3±7,4
FI	15,3±0,2	23,5±6,3	24,1±4,3	21,7±7,4	19,3±1,5
VFI	2,1±0,6	3,6±2,2	3,6±1,4	4,1±1,7	5,6±1,3
Передне-задний размер лоханки почки 9–15 мм					
VI	6,5±1,9	8,6±2,2	11,8±3,3	16,1±7,6	19,7±8,7
FI	17,8±1,6	21,8±1,5	21,9±2,5	21,7±3,9	19,8±3,9
VFI	1,3±1,1	1,9±0,5	2,6±1,1	3,4±1,4	3,7±1,2
Передне-задний размер лоханки почки более 15 мм					
VI	–	11,8±5,4	12,9±7,9	8,3±4,5	8,5±2,9
FI	–	18±2,7	18,4±3,5	22,5±3,4	24,1±3,3
VFI	–	2±0,8	2,3±1,2	1,8±0,9	2,2±1,0

Так как на значения сосудистых индексов большое влияние оказывают настройки ультразвуковой системы, нами было предложено для оценки гемодинамики почки плода использовать отношения значений данных индексов, измеренных в норме и при ОУ, что представлено в табл. 4.

На примере приведенных в табл. 4 отношений показателей сосудистых индексов наглядно продемонстрирована четкая зависимость степени нарушения почечной гемодинамики от выраженности обструкции мочевыводящих путей. Так, при незначительном – I степени расширения ПЗРЛ (до 9 мм) показатели индексов VI и VFI снижались в меньшей степени – в 1,3 раза. Умеренная – II степень расширения (от 9 до 15 мм) характеризовалась более выраженным снижением значений индексов: VI – в 1,8 раза, а VFI – в 2 раза. Самые низкие показатели отношений сосудистых индексов наблюдалось при крайней – III степени расширения ПЗРЛ (более 15 мм), а именно: индекс VI – в 2,1 раза, а индекс VFI – в 2,4 раза.



Таким образом, проведенный анализ показал, что при ОУ увеличение размеров ЧЛК и сдавление паренхимы сопровождалось изменением внутриорганный ангиоархитектоники и, соответственно, ее гемодинамики, что, в свою очередь, проявлялось снижением индексов VI и VFI.

Обсуждение

Врожденные пороки МВС относятся к наиболее часто выявляемым при ультразвуковом исследовании, чему способствует, с одной стороны, их высокая распространенность, а с другой – анатомические особенности пораженного органа, относительно облегчающие эхографическую визуализацию последних [1].

Постоянное совершенствование эхографических методик и появление приборов экспертного класса позволяют с высокой степенью достоверности предоставить более детальную характеристику анатомических структур плода. К числу последних относятся различные режимы 3D/4D сканирования, нашедшие в последнее время широкое применение. Кроме того, возможность осуществления архивирования полученных с помощью 3D-сканирования данных существенно повышает ценность указанных методик [9].

Так, по данным Y.Y. Hsieh и соавт. (2000), трехмерная эхография предоставляет возможность четко оценить соотношение неизменной и поврежденной почечной ткани при обструктивных уropатиях, кистозных дисплазиях почки и других ВПР [10].

Как известно, прогноз при поражении органов МВС, диагностируемых антенатально, зависит от сохранения функции почек. В этой связи одной из важнейших составляющих комплексной пренатальной ультразвуковой оценки МВС плода является изучение становления кровообращения его почек при отсутствии каких-либо изменений и в условиях формирующегося патологического процесса.

Наблюдаемая в ряде случаев при обструкции мочевыводящих путей атрофия паренхимы почки реализуется нарушением ее васкуляризации, степень выраженности которой позволяет визуально оценить

Таблица 4. Отношения значений сосудистых индексов в неизменной и при различных степенях расширения ПЗРЛ почки

Отношения значений сосудистых индексов	Срок беременности (недели)					Среднее
	20–24	25–28	29–32	33–36	37–40	
Норма						
VI	1	1	1	1	1	1
VFI	1	1	1	1	1	1
Передне-задний размер лоханки почки до 9 мм						
VI	0,67	0,65	0,67	0,84	0,82	0,73
VFI	0,48	0,75	0,71	0,8	1,1	0,77
Передне-задний размер лоханки почки 9–15 мм						
VI	0,32	0,42	0,53	0,71	0,82	0,56
VFI	0,29	0,39	0,51	0,67	0,71	0,51
Передне-задний размер лоханки почки более 15 мм						
VI	–	0,57	0,58	0,36	0,36	0,47
VFI	–	0,41	0,45	0,35	0,42	0,41

использование энергетического доплеровского картирования. Так, в ходе нашего исследования у плодов с выраженной обструкцией мочевыводящих путей (ПЗРЛ более 15 мм) в большинстве случаев (17 из 21) в режиме ЦДК отмечалось существенное обеднение кровотока в паренхиме почки. Сосудистый рисунок при этом не прослеживался до капсулы, сегментарные и междольевые ветви были раздвинуты расширенными элементами собирательной системы. Аналогичные результаты были получены в исследовании Е.В. Юдиной и соавт. [11].

Импульсно-волновая доплерометрия предоставляет возможность получить объективную информацию о гемодинамике почек [12]. В процессе проведенного исследования плодов контрольной группы установлена обратная пропорциональная зависимость показателей кровотока (С/Д, ПИ и ИР) от срока беременности, а также объема почки и толщины ее паренхимы ($p < 0,01$). Полученные данные также согласуются с результатами G. Naugen и соавт. [13].

При ОУ показатели С/Д, ПИ и ИР отличались от таковых, полученных при обследовании контрольной группы. Общеизвестно, что расширение ЧЛК при ОУ сопровождается сдавлением и истончением паренхимы и, соответственно, нарушением ренальной гемодинамики. Как показали результаты проведенного нами исследования, последняя выражалась в повышении значений доплерометрических показателей С/Д, ПИ и ИР ($p < 0,01$). При этом статистическая достоверность указанных различий показателей в основной и контрольной группах выявлялась начиная с 25 недель беременности ($p < 0,05$). Причем эти отличия строго коррелировались со сроком и были наиболее выражены в третьем триместре беременности.

Неоценимую помощь в объективизации информации, отражающей функциональные особенности патологически измененного органа, играет трехмерная доплерографическая ангиография. Последняя позволяет детально охарактеризовать структуру органа и распределение в нем сосудистого русла. Наряду с этим возможна и количественная оценка данных энергетического доплера, которая способствует получению объективной информации о состоянии кровотока. Так, в эксперименте на животных O. Morel и соавт. (2010) обнаружили линейную зависимость между сосудистыми индексами и реальным кровотоком в котиледоне плаценты [14]. В публикациях, посвященных применению 3D-доплерографической ангиографии, имеются сообщения об улучшении диагностики ряда патологических состояний, а именно, заболеваний печени, новообразований различной локализации и оценки перфузии эндометрия [15, 16]. Кроме того, получаемая с помощью 3D-ангиографии информация значительно расширила наши представления об отдельных патофизиологических механизмах таких патологических состояний в акушерской практике, как синдром задержки роста плода, преэклампсия, а также некоторых врожденных пороков развития [17, 18].

В процессе данного исследования на основании применения трехмерной доплерографической ангиографии определены нормативные значения, харак-

теризующие почечную гемодинамику у здоровых плодов. При этом была продемонстрирована прямая пропорциональная зависимость показателей сосудистых индексов (VI, FI и VFI) от срока беременности, объема почки, а также толщины ее паренхимы ($p < 0,01$). Вместе с тем установлены особенности ренального кровотока при ОУ. Так, было установлено, что при изучаемой патологии значения сосудистых индексов оказались достоверно снижены вне зависимости от срока беременности ($p < 0,01$).

При этом необходимо отметить, что при отсутствии значимых изменений показателей FI снижение в большей степени касалось сосудистых индексов VI и VFI. Данные изменения носят вполне закономерный характер, так как нарушения при ОУ отражают результат сдавления паренхимы увеличенным ЧЛК, что в свою очередь приводит к патологической гемодинамике, проявляющейся снижением индексов VI и VFI. В ходе проведенного корреляционного анализа на выраженность нарушения васкуляризации обнаружено влияние степени расширения ЧЛК, его объема, а также толщины сохраненной паренхимы почки ($p < 0,01$).

При использовании 3D-ангиографии нам приходилось учитывать ряд ограничений и широкий спектр факторов, имеющих непосредственное влияние на показатели сосудистых индексов. Мы также учитывали опыт T. Jansson и соавт., изложенный в детальном обзоре, посвященном изучению состояния кровотока, связанному с количественной оценкой сигналов энергетического доплера [19].

В исследовании *in vitro* N.J. Raine-Fenning и соавт. продемонстрировали зависимость сосудистых индексов от объема потока, «затухания», вариабельности концентрации крови и степени васкуляризации [20]. L.S. Bernardes с соавт. указывали на связь сосудистых индексов от расстояния между датчиком и контрольным объемом [21]. Значимость данного фактора также подчеркивается в исследованиях *in vitro* и на экспериментальных биологических моделях [14, 21].

В связи с этим в нашем исследовании для получения достоверных результатов наравне с использованием стандартизированных параметров и соответствующей калибровки также учитывался указанный выше фактор.

В процессе расчета сосудистых индексов объем расширенной чашечно-лоханочной системы (анэхогенное изображение) вычитался из общего объема для анализа васкуляризации, и указанные индексы рассчитывались только для паренхимы почки (эхогенное изображение). Следовательно, можно предположить, что этим было достигнуто минимальное влияние объема расширенной ЧЛС на показатели VI, FI и VFI.

С этой же целью нами предложено использовать для оценки гемодинамики почки отношение значений данных индексов, измеренных в неизменной почке и при ОУ. Данная методика применялась нами при односторонней обструкции мочевыводящих путей – измерялись показатели 3D-ангиографии как в неизменной, так и в пораженной почках. Полученные при этом результаты наглядно отражают взаимосвязь степени нарушения почечной гемоди-

намики в зависимости от выраженности обструкции мочевыводящих путей. Так, при расширении ПЗРЛ до 9 мм индексы VI и VFI снижались в 1,3 раза, при расширении от 9 до 15 мм индекс VI – в 1,8 раз, а индекс VFI – в 2 раза. Наибольшая степень снижения показателей сосудистых индексов наблюдалась при расширении ПЗРЛ более 15 мм, а именно: VI – в 2,1 раза, а VFI – в 2,4 раза.

Кроме того, необходимо отметить, что у плодов с выраженным гидронефрозом, у которых после рождения было выявлено снижение функции почки, сосудистые индексы были значительно уменьшены по сравнению с показателями у плодов как с умеренным гидронефрозом, так и в группе сравнения.

Вышесказанное свидетельствует, что применение указанных выше сосудистых индексов является более объективным методом, отражающим состояние почечной гемодинамики в антенатальном периоде при данном виде ВПР МВС.

Дальнейшее накопление перманентных наработок в использовании 3D-ангиографии будет способствовать повышению степени достоверности прогнозирования функции почек в постнатальном периоде у новорожденных и с умеренно выраженными ОУ.

Таким образом, широкое применение в повседневной клинической практике перинатальных центров разработанных объективных критериев нарушения почечного кровотока при ОУ позволит оптимизировать тактику ведения беременности и лечебных подходов у новорожденных с данным видом аномалий МВС.

Литература

1. Kim E.K., Song T.B. A study on fetal urinary tract anomaly: antenatal ultrasonographic diagnosis and postnatal follow-up. *J. Obstet. Gynaecol. Res.* 1996; 22(6): 569–73.
2. Петриковский Б.М., Медведев М.В., Юдина Е.В., ред. Врожденные пороки развития: пренатальная диагностика и тактика. М.: РАВУЗДПГ; Реальное Время; 1999. 256с.
3. Sairam S., Al-Habib A., Sasson S., Thilaganathan B. Natural history of fetal hydronephrosis diagnosed on mid-trimester ultrasound. *Ultrasound Obstet. Gynecol.* 2001; 17: 191–6.
4. Молчанова Е.А., Валов А.Л., Каабак М.М. Первые результаты формирования Российского регистра хронической почечной недостаточности у детей. *Нефрология и диализ.* 2003; 5(1): 64–8.
5. Pan H.A., Wu M.H., Cheng Y.C., Wu L.H., Chang F.M. Quantification of ovarian Doppler signal in hyperresponders during in vitro fertilization treatment using three-dimensional power Doppler ultrasonography. *Ultrasound Med. Biol.* 2003; 29(7): 921–7.
6. Cohen L.S., Escobar P.F., Scharm C., Glimco B., Fishman D.A. Three-dimensional power Doppler ultrasound improves the diagnostic accuracy for ovarian cancer prediction. *Gynecol. Oncol.* 2001; 82(1): 40–8.
7. Kupesic S., Kurjak A. Contrast-enhanced, three-dimensional power Doppler sonography for differentiation of adnexal masses. *Obstet. Gynecol.* 2000; 96: 452–8.
8. Pairleitner H., Steiner H., Hasenoehrl G., Staudach A. Three-dimensional power Doppler sonography: imaging and quantifying blood flow and vascularization. *Ultrasound Obstet. Gynecol.* 1999; 14: 139–43.
9. Воеводић С.М. Дифференциальная диагностика заболеваний и пороков развития центральной нервной системы и лица у плода: Дис. ... д-ра мед. наук. М.; 2012.
10. Hsieh Y.Y., Chang C.C., Lee C.C., Tsai H.D. Fetal renal volume assessment by three-dimensional ultrasonography. *Am. J. Obstet. Gynecol.* 2000; 182(2): 377–9.
11. Юдина Е.В., Гельдт В.Г., Кузовлева Г.И. Значение комплексного ультразвукового обследования в оценке кровообращения почек плода в норме и при обструктивных уropатиях. *Пренатальная диагностика.* 2007; 6 (4): 291–6.
12. Oz A.U., Holub B., Mendilcioglu I., Mari G., Bahado-Singh R.O. Renal artery Doppler investigation of the etiology of oligohydramnios in postterm pregnancy. *Obstet. Gynecol.* 2002; 100: 715–8.
13. Haugen G., Godfrey K., Crozier S., Hanson M. Doppler blood flow velocity waveforms in the fetal renal arteries: variability at proximal and distal sites in the right and left arteries. *Ultrasound Obstet. Gynecol.* 2004; 23(6): 590–3.
14. Morel O., Pachy F., Chavatte-Palmer P., Bonneau M., Gayat E., Laigre P. et al. Correlation between utero-placental three-dimensional power Doppler indices and the uterine real blood flow: evaluation in a pregnant sheep experimental model. *Ultrasound Obstet. Gynecol.* 2010; 36(5): 635–40.
15. Ramnarine K.V., Kyriakopoulou K., Gordon P.B., McDicken W.N., McCardle C., Leen E. Improved characterization of focal liver tumours: Dynamic power Doppler imaging using NC100100 Echo-enhancer. *Eur. J. Ultrasound.* 2000; 11(2): 95–104.
16. Raine-Fenning N. J., Campbell B.K., Clewes J.S., Kendall N.R., Johnson I.R. Quantifying the changes in endometrial vascularization throughout the normal menstrual cycle with three-dimensional power Doppler angiography. *Hum. Reprod.* 2004; 19(2): 330–8.
17. Bartha J.L., Moya E.M., Hervias-Vivancos B. Three-dimensional power Doppler analysis of cerebral circulation in normal and growth restricted fetuses. *J. Cereb. Blood Flow Metab.* 2009; 29: 1609–18.
18. Ruano R., Aubry M.C., Barthe B., Mitanchez D., Dumez Y., Benachi A. Quantitative analysis of fetal pulmonary vasculature by 3-dimensional power Doppler ultrasonography in isolated congenital diaphragmatic hernia. *Am. J. Obstet. Gynecol.* 2006; 195: 1720–8.
19. Jansson T., Persson H.W., Lindstrom K. Estimation of blood perfusion using ultrasound. *Proc. Inst. Mech. Eng.* 1999; 213: 91–106.
20. Raine-Fenning N.J., Nordin N.M., Ramnarine K.V., Campbell B.K., Clewes J.S., Perkins A., Johnson I.R. Determining the relationship between three-dimensional power Doppler data and true blood flow characteristics: an in-vitro flow phantom experiment. *Ultrasound Obstet. Gynecol.* 2008; 32(4): 540–50.
21. Bernardes L.S., Francisco R.P., Saada J., Salomon R., Ruano R., Lortad-Jacob S. et al. Quantitative analysis of renal vascularization in fetuses with urinary tract obstruction by three-dimensional power-Doppler. *Am. J. Obstet. Gynecol.* 2011; 205(6): 572; e1–7.