

ВОЗМОЖНОСТИ МЕТОДА РЕНТГЕНВИДЕОДЕНСИТОМЕТРИИ В ОЦЕНКЕ ПОЧЕЧНОГО КРОВОТОКА У БОЛЬНЫХ СО СТЕНОЗАМИ ПОЧЕЧНЫХ АРТЕРИЙ ДО И ПОСЛЕ ЭНДОВАСКУЛЯРНЫХ ВМЕШАТЕЛЬСТВ

Зятенков А.В.¹, Коков Л.С.¹, Вольнский Ю.Д.²

Цель работы: изучить возможности метода рентгеновидеодемоситометрии в оценке динамики показателей почечного кровотока до и после стентирования почечных артерий.

Материалы и методы: с помощью метода рентгеновидеодемоситометрии в программном пакете «Multivox» проанализированы ангиограммы брюшной аорты 101 пациента со стенозами почечных артерий и 55 пациентов с неизменными почечными артериями. Всем пациентам проводилось дуплексное сканирование почечных артерий, а также ультразвуковое исследование почек. Оценивались клинические проявления стенозов почечных артерий: уровень артериального давления, выделительная функция почек. У 62 пациентов было выполнено стентирование 69 почечных артерий. После каждого вмешательства оценивалась динамика параметров почечного кровотока, измеренных посредством метода рентгеновидеодемоситометрии.

Результаты: анализ ангиограмм с помощью метода рентгеновидеодемоситометрии позволил выявить статистически значимые различия в параметрах почечного кровотока в норме и при стенозах почечных артерий. Выраженность изменений почечного кровотока находилась в линейной зависимости от степени стеноза по данным ангиографии и скорости кровотока по стенозированной почечной артерии по данным дуплексного сканирования. Также выявлены различия в параметрах почечного кровотока до и после стентирования почечных артерий. Однако эти различия были статистически значимы только в группе пациентов со стенозами более 75% по данным ангиографии, среди пациентов с линейной скоростью кровотока по почечной артерии более 250 см/с по данным дуплексного сканирования, а также среди больных со сниженной выделительной функцией почек.

Выводы: метод рентгеновидеодемоситометрии может быть использован для оценки влияния стеноза почечной артерии на перфузию паренхимы почки, а также для оценки эффективности реваскуляризации почечных артерий. Таким образом, метод существенно расширяет диагностические возможности ангиографического исследования.

Ключевые слова: рентгеновидеодемоситометрия, стеноз почечной артерии, дигитальная субтракционная ангиография, вазоренальная гипертензия.

1 – ФГУ «Институт хирургии имени А.В. Вишневского» Минздравсоцразвития России.

г. Москва, Россия.

2 – Научно-практический центр медицинской радиологии Департамента здравоохранения г. Москвы.

г. Москва, Россия.

VIDEODENSITOMETRY IN EVALUATION RENAL BLOOD FLOW IN PATIENTS WITH RENAL ARTERY STENOSIS BEFORE AND AFTER RENAL ARTERY STENTING

Zyatenkov A.V.¹, Kokov L.S.¹, Volynskiy Yu.D.²

Objective: to study the feasibility of videodensitometry in evaluation the renal blood flow dynamics before and after renal artery stenting.

Materials and methods: angiographic data from 101 patients with and 55 patients without renal artery stenosis were analyzed by means of videodensitometry, using «Multivox» software. All patients included in the study underwent renal arteries duplex ultrasound and kidneys ultrasound examination. Blood pressure levels and kidney function were assessed as a clinical signs of renovascular hypertension. 62 patients underwent renal artery stenting

1 – A.V. Vishnevsky Institute of Surgery.

Moscow, Russia

2 – Theoretical and practical centre of medical radiology.

Moscow, Russia

for 69 atherosclerotic renal artery stenosis. Videodensitometric parameters of renal blood flow before and after renal artery stenting were compared.

Results: videodensitometric analysis allows detecting statistically significant differences in parenchymal perfusion between kidneys with and without renal artery stenosis. A grade of changes in parenchymal perfusion correlates with angiographically measured degree of renal artery stenosis and renal artery blood flow velocity. The videodensitometry reveals differences in renal perfusion before and after renal artery stenting. However, these differences were significant only in patients with renal artery stenosis more than 75%, with peak systolic velocity more than 250 cm/s and among patients with renal failure.

Conclusion: videodensitometric perfusion parameters can be used to assess the effect of renal artery stenosis on parenchymal blood flow, and for the assessment of renal artery revascularization effectiveness. Thus, the videodensitometry extends diagnostic capability of angiographic study.

Key words: videodensitometry, renal artery stenosis, digital subtraction angiography, renovascular hypertension.

По данным крупномасштабных скрининговых исследований распространенность стенозов почечных артерий среди пациентов старше 60 лет составляет 6,8% [1]. В клинической практике поражение почечных артерий является одним из проявлений мультифокального атеросклероза [2], оно выявляется у 18-20% пациентов с ИБС [3] и у 35-50% пациентов с ишемией нижних конечностей [4]. Главное клиническое проявление стеноза почечной артерии – вазоренальная гипертензия (ВРГ), наиболее распространенная форма вторичной гипертензии, которая обнаруживается у 5% пациентов с повышенным артериальным давлением [2].

Высокая распространённость атеросклеротического поражения почечных артерий объясняет большой интерес к этой проблеме. Единого подхода к тактике лечения таких пациентов до сих пор не существует [5], так как эффективность реваскуляризации почечных артерий вызывает сомнения. Самое крупное на сегодняшний день исследование, посвященное изучению отдалённых результатов интервенционных вмешательств на почечных артериях, ASTRAL (Angioplasty and STenting for Renal Artery Lesions) [6], не выявило никаких преимуществ стентирования в сравнении с консервативной терапией по влиянию на уровень артериального давления, выделительную функцию почек и выживаемость пациентов со стенозами почечных артерий.

Причину таких противоречивых результатов большинство специалистов видят в необходимости четко разграничивать понятия «атеросклеротическое поражение почечных артерий» и «вазоренальная гипертензия» как стойкого, резистентного к лечению повышения артериального давления, вызванного снижением перфузии почечной ткани, так как стенозы почечных артерий далеко не всегда оказывают

значимое влияние на почечный кровоток, вызывая клиническую симптоматику. Связь между степенью стеноза почечной артерии и перфузией коркового вещества почки все еще остается неясной.

В данной работе изучались диагностические возможности такого метода исследования почечного кровотока, как рентгеновидеоденситометрия (РВД), который используется для постпроцессинга изображений, полученных при классической ангиографии по Сельдингеру, и существенно расширяет её диагностические возможности. В связи с широким распространением ангиографических исследований использование РВД и различных её модификаций вызывает всё больший интерес у интервенционных радиологов, специализирующихся в самых различных областях медицины [7,8].

Целью работы стало изучение возможностей метода РВД в оценке почечного кровотока при стенозах почечных артерий и после их эндоваскулярного лечения.

Материалы и методы исследования. В исследование вошли 152 пациента, которым по поводу атеросклеротического поражения различных сосудистых бассейнов выполняли брюшную аортоартериографию. У 97 из них были выявлены стенозы 105 почечных артерий и в 8 случаях имели место билатеральные стенозы почечных артерий. Степень сужения варьировала от 50 до 99% исходного диаметра. В 55 случаях почечные артерии оставались неизменными, и эти пациенты составили контрольную группу. Все больные прошли клиническое обследование на предмет выявления стенозов почечных артерий, а также наличия, длительности и эффективности медикаментозной терапии артериальной гипертензии. Выделительную функцию почек оценивали по уровню креатинина сыворотки крови. По данным

анамнеза и лабораторных исследований выявляли факторы риска поражения паренхимы почек: сахарный диабет 2 типа, хронический пиелонефрит, мочекаменная болезнь.

Всем больным было выполнено дуплексное сканирование (ДС) аорты и почечных артерий, а также ультразвуковое исследование (УЗИ) паренхимы почек в В-режиме. Сравнительная характеристика пациентов по перечисленным показателям представлена в таблице 1.

Ангиографическое исследование выполнялось по стандартной методике. Во всех случаях использовали рентгеноконтрастный препарат Визипак (йодиксанол). Расчёт степени стеноза по диаметру сосуда выполнялся с помощью встроенных программ для анализа изображений.

Затем на рабочей станции «Multivox», оснащенной оригинальным пакетом аналитических программ, проводилось рентгеновидеодеңситометрическое исследование ангиограмм пациентов до и после стентирования. В основе метода рентгеновидеодеңситометрии лежит принцип измерения оптической плотности рентгеноконтрастных изображений. Для каждого «регионального окна интереса» (РОИ) в режиме on-line рабочая станция автоматически строила РВД-кривые изменения яркости изображения во времени (рис. 1, 2). Изменение яркости находится в обратной зависимости от интенсивности контрастирования. А она, в данном случае, определяется кровенасыщением микроциркуляторного русла корковой паренхимы. Иными словами: снижение яркости изображения отражает интенсивное контрастирование

Таблица №1. Сравнительная характеристика пациентов.

Показатель	Пациенты с неизменными почечными артериями (N = 55)	Пациенты со стенозами почечных артерий (N = 97)	Значение p
общие			
средний возраст ± стандартное отклонение, годы	66 ± 7,6	64 ± 8,7	0,17
мужской пол – N (%)	44 (80%)	84 (84%)	0,65
среднее артериальное давление ± стандартное отклонение, мм рт. ст.			
<i>систолическое</i>	152 ± 13,1	155 ± 10,5	0,13
<i>диастолическое</i>	77 ± 7,1	79 ± 6,5	0,09
состояние почек			
средний уровень креатинина крови ± стандартное отклонение, мкмоль/л	104 ± 13,7	107 ± 14,1	0,22
средняя толщина паренхимы почек ± стандартное отклонение, мм	15,8 ± 3,7	14,6 ± 4,1	0,08
средний продольный размер почек ± стандартное отклонение, см	9,6 ± 2,4	9,1 ± 3,2	0,33
сопутствующие заболевания			
хронический пиелонефрит – N (%)	4 (7,3%)	9 (9,3%)	0,11
мочекаменная болезнь – N (%)	8 (14,5%)	11 (11,3%)	0,09
сахарный диабет 2 типа – N (%)	22 (40%)	36 (37%)	0,22

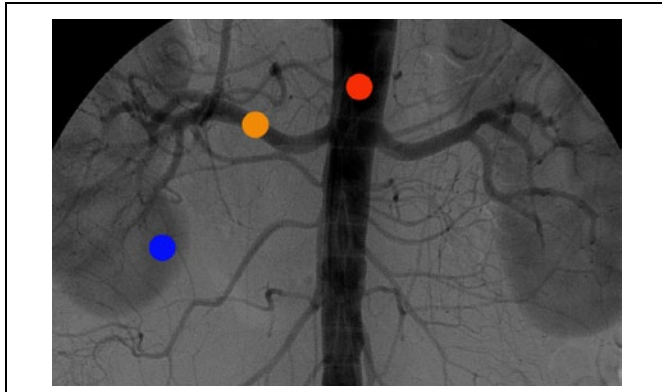


Рис. 1. «Окна интереса» при РВД паренхимы почек.

и, соответственно, хорошую микроциркуляцию. И наоборот, недостаточное снижение яркости свидетельствует о слабом контрастировании, то есть дефиците кровонасыщения на уровне микроциркуляции. По своему же физическому смыслу РВД-кривые аналогичны известным кривым «плотность-время».

Для изучения внутрипочечной циркуляции на ангиограммах РОИ выставляли в зонах, соответствующих корковому веществу паренхимы почек. Для повышения точности измерений данные кривые для каждой из структур строили не менее, чем в 3 зонах. В таблицу результатов заносили средние значения.

Поскольку в данной модификации рентгеновидеодеңситометрии интенсивность контрастирования определяли не по абсолютной шкале, то для объективизации получаемых относительных значений, была предложена следующая формула:

коэффициент

$$\text{контрастирования} = \frac{B_{\max} - B_{\min}}{B_{\max}} \times 100\%$$

где B_{\max} – максимальная, а B_{\min} – минимальная яркость паренхимы почки (рис. 3).



Рис. 2. Кривые «яркость-время» в различных областях интереса.

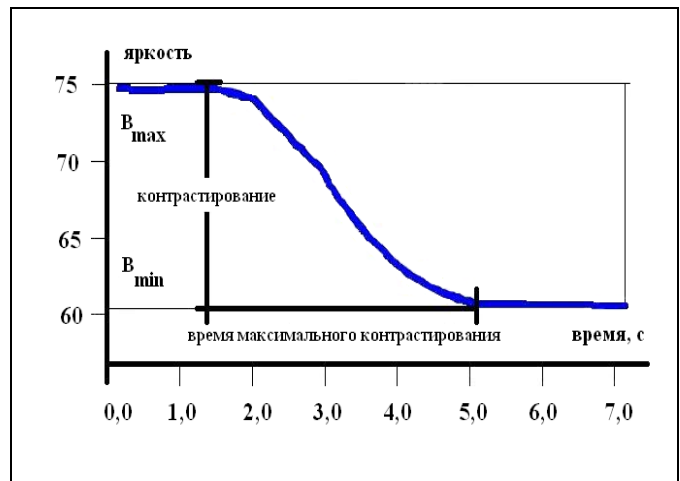


Рис. 3. Расчет количественных показателей кривой «яркость-время», полученной при рентгеновидеодеңситометрическом исследовании паренхимы почки.

Использование данного коэффициента (КК), в дальнейшем, позволило оперировать количественными значениями. Чем меньше КК, тем хуже состояние микроциркуляции и наоборот больший КК означает лучшую микроциркуляцию.

Вторым объективным количественным показателем был взят интервал времени от начала снижения кривой яркости до выхода кривой на «плато», то есть время достижения максимума контрастирования паренхимы почки (рис. 3). Этот показатель косвенно свидетельствует о сопротивлении всех сосудов почки продвижению крови по почечно-сосудистому руслу. Чем протяженнее время достижения плато, тем выше суммарное сопротивление сосудов почки. Таким образом, эти два новых показателя предоставляют дополнительную информацию о состоянии внутрипочечной циркуляции.

Статистический анализ. Обработка полученных при РВД данных и характеристик пациентов выполнялась в программе Statistica 8.0. Для сравнения групп по показателям почечного кровотока использовался критерий Манна-Уитни, различия признавались значимыми при величине $p < 0,05$.

Результаты исследования.

В результате анализа РВД-кривых были получены следующие данные: в группе пациентов с неизменёнными почечными артериями КК паренхимы почек в среднем составил 15% от исходной яркости при 50% доверительном интервале (ДИ) от 12 до 17,6%. В группе пациентов со стенозами почечных артерий КК паренхимы почек в среднем составил 10% от исходной яркости, при 50% ДИ от 7,6 до 13%. Различия между группами по этому показателю статистически значимы ($p = 0,04$). Время достижения максимума контрастирования в группе па-

циентов с неизменёнными почечными артериями в среднем составило 5 сек, при 50% ДИ от 4,5 до 5,5 сек. В группе пациентов со стенозами почечных артерий время достижения максимального контрастирования в среднем составило 7 с при 50% ДИ от 6 до 9 с. Различия между группами по этому показателю также статистически значимы ($p = 0,03$).

Как следовало ожидать, КК зависит от степени стенозирования почечных артерий. На графике (рисунок 4) запечатлена обратная корреляция между КК паренхимы почки и степенью стеноза почечной артерии по данным ангиографии. Коэффициент корреляции составил $-0,59$; $p = 0,02$. Аналогичная и ожидаемая зависимость установлена между КК паренхимы почки и ЛСК по почечной артерии по данным ДС. Коэффициент корреляции составил $-0,64$; $p = 0,035$.

Соответственно, удлинен и интервал времени достижения максимального контрастирования паренхимы почки. Коэффициент прямой корреляции между степенью стеноза почечной артерии временным интервалом составил $0,58$; $p = 0,025$. Аналогичная корреляция имела место между временем достижения максимального контрастирования паренхимы почки и ЛСК по почечной артерии по данным ДС. Коэффициент корреляции составил $0,62$; $p = 0,03$.

После стентирования почечных артерий отмечались существенные изменения в показателях почечного кровотока. В среднем после реваскуляризации КК повысился с $9,9\%$ при 50% ДИ от $7,0\%$ до $12,5\%$ до $11,9\%$ при 50% ДИ от $9,3\%$ до $14,0\%$. Различия данного показателя до и после вмешательства были статистически значимы ($p < 0,05$). Среднее время достижения максимального контрастирования снизилось с $6,95$ с при 50% ДИ от $5,0$ с до $8,0$ с; до $4,58$ с при 50% ДИ от $3,5$ с до $5,5$ с. Различия этого показателя до и после вмешательства также были статистически значимы ($p < 0,05$).

Таким образом, выполнение эндоваскулярного вмешательства и устранение стеноза почечной артерии приводило к улучшению показателей почечного кровотока: повышению коэффициента контрастирования паренхимы почки и снижению времени достижения максимального контрастирования. Такой результат вполне ожидаем, он свидетельствует о чувствительности метода РВД в выявлении изменений в параметрах почечного кровотока.

Для того, чтобы определить, при каких условиях выполнение эндоваскулярных вмешательств будет наиболее эффективно в отношении улучшения показателей почечного кровотока, отдельно изучалась динамика КК и времени достижения максимального контрастирования паренхимы почек в различных группах пациентов в зависимости от гемодинамических характеристик стеноза ПА его клинических проявлений.

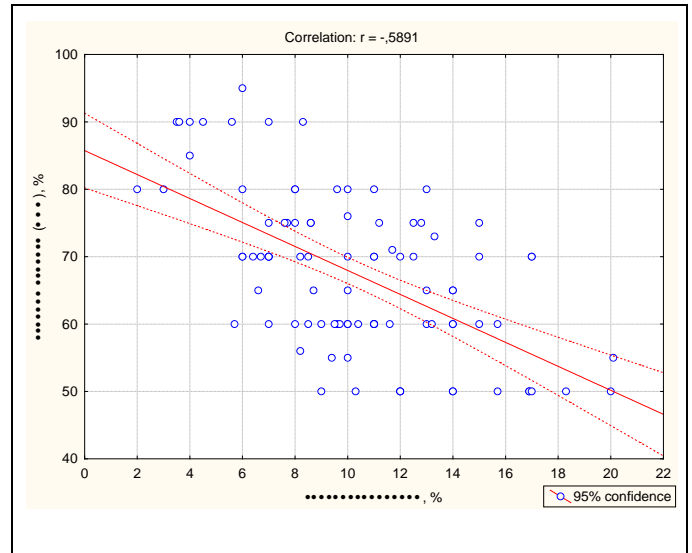


Рис. 4. Зависимость коэффициента контрастирования (КК) паренхимы почки от степени стеноза почечной артерии по данным ангиографии.

В группе больных со стенозами ПА от 50 до 75% по данным ангиографии после реваскуляризации почечных артерий КК повысился с $11,3\%$ до $12,98\%$ ($p = 0,07$; рис 5). Среднее время достижения максимального контрастирования паренхимы почек в этой группе пациентов снизилось с $6,5$ с до $5,05$ с ($p = 0,08$).

В группе больных со стенозами ПА от 75 до 90% по данным ангиографии после реваскуляризации почечных артерий КК повысился с $9,04\%$ до $13,35\%$ ($p = 0,02$). Среднее время достижения максимального контрастирования паренхимы почек в этой группе пациентов снизилось с $7,35$ с до $4,75$ с ($p = 0,002$).

В группе больных со стенозами ПА более 90% по данным ангиографии после реваскуляризации почечных артерий КК повысился с $5,5\%$ до $8,98\%$ ($p = 0,001$). Среднее время достижения максимального контрастирования паренхимы почек в этой группе пациентов снизилось с $8,21$ с до $3,69$ с ($p = 0,001$). Таким образом, различия между КК и временем контрастирования до и после стентирования были статистически значимы только среди пациентов со стенозами почечных артерий более 75% по данным ангиографии.

В группе больных с ЛСК по почечным артериям менее 250 см/с по данным ДС после реваскуляризации почечных артерий КК снизился с $11,24\%$ до $10,81\%$ ($p = 0,21$). Среднее время достижения максимального контрастирования паренхимы почек в этой группе пациентов снизилось с $6,47$ с до $4,17$ с ($p = 0,08$).

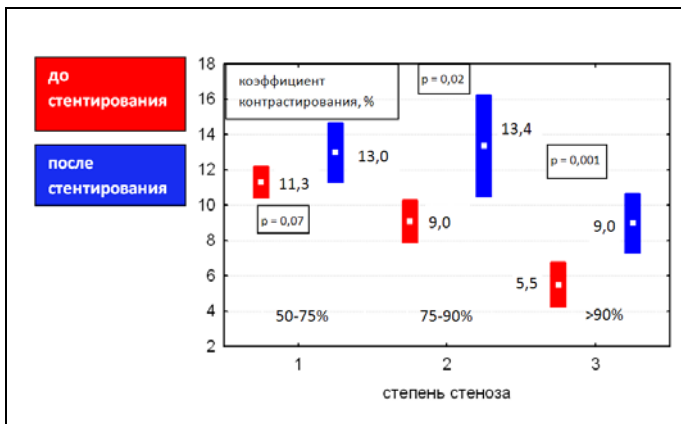


Рис. 5. Динамика КК паренхимы почки до и после вмешательства в зависимости от степени стеноза почечных артерий. На графике отмечены средние значения признака и границы 95% ДИ.

В группе больных с АСК по почечным артериям от 250 до 300 см/с по данным ДС после реваскуляризации почечных артерий КК повысился с 8,51% до 11,65% ($p=0,04$). Среднее время достижения максимального контрастирования паренхимы почек в этой группе пациентов снизилось с 8,08 до 4,5 с ($p=0,04$).

В группе больных с АСК по почечным артериям более 300 см/с по данным ДС после реваскуляризации почечных артерий КК повысился с 6,2% до 9,0% ($p=0,04$). Среднее время достижения максимального контрастирования паренхимы почек в этой группе пациентов снизилось с 10,79 с до 4,5 с ($p=0,04$). Таким образом, различия между КК и временем контрастирования до и после стентирования были статистически значимы только среди пациентов с линейной скоростью кровотока по почечным артериям более 250 см/с.

В группе больных с неизменной функцией почек (определялась по уровню креатинина сыворотки крови, критерием наличия почечной недостаточности был уровень креатинина выше

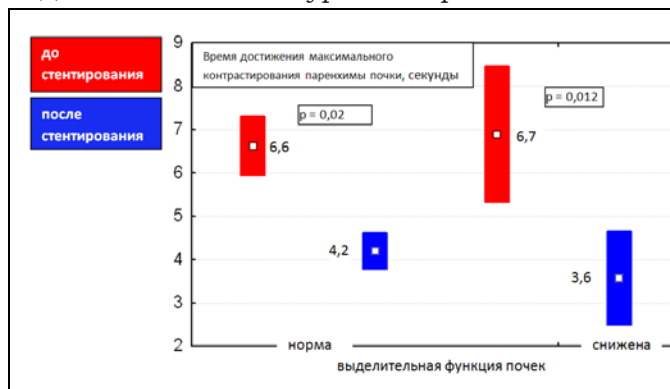


Рис. 6. Динамика времени достижения максимального контрастирования паренхимы почки до и после вмешательства в зависимости от состояния выделительной функции почек.

130 мкмоль/л) после реваскуляризации почечных артерий КК повысился с 10,32% до 11,54% ($p=0,01$; рис. 6). Среднее время достижения максимального контрастирования паренхимы почек в этой группе пациентов снизилось с 6,62 с до 4,19 с ($p=0,02$).

В группе больных со сниженной функцией почек после реваскуляризации почечных артерий КК повысился с 7,12% до 9,85% ($p=0,012$; рис. 6). Среднее время достижения максимального контрастирования паренхимы почек в этой группе пациентов снизилось с 6,89 с до 3,56 с ($p=0,012$).

Хотя различия между показателями почечного кровотока до и после стентирования достигли статистической значимости в обеих группах, обращают на себя внимание существенно большие изменения показателей почечного кровотока в группе больных с исходно сниженной выделительной функцией. Таким образом, нарушение выделительной функции почек также можно считать предиктором эффективности реваскуляризации почечных артерий.

Чёткой зависимости динамики показателей почечного кровотока после вмешательства от степени АГ выявить не удалось. Наличие СД 2 типа не оказывало существенного влияния на динамику показателей почечного кровотока после вмешательства.

Обсуждение результатов исследования.

Метод РВД позволяет получить дополнительную информацию о состоянии почечной циркуляции и оценить влияние стеноза почечной артерии на кровоток в паренхиме почки. По данным нашего исследования, к благоприятным прогностическим факторам в отношении улучшения показателей почечного кровотока после реваскуляризации почечных артерий относятся тяжесть стеноза почечной артерии (сужение просвета более, чем на 75% по данным дигитальной субтракционной ангиографии или линейной скоростью кровотока по почечной артерии более 250 см/с данным ДС), а также исходно сниженная выделительная функция почек.

Эти результаты согласуются с данными других исследований, посвященных проблеме определения показаний к реваскуляризации почечных артерий. Так, в работе P.N. Harden и соавт. [11] улучшение функции почек после реваскуляризации было выявлено только у пациентов с двусторонними стенозами почечных артерий или на начальных стадиях почечной недостаточности.

Такие показатели, как уровень систолического и диастолического артериального давления, наличие сахарного диабета 2 типа не оказывали влияния на динамику показателей почечного кровотока. Сходные результаты были получены в работе T. Zeller и соавт. [12], которые не выявили статистически достоверной

связи между результатами стентирования почечных артерий и уровнем АД, а также наличием у пациентов таких заболеваний, как сахарный диабет или нефросклероз.

Результаты, полученные при РВД паренхимы почек в динамике до и после стентирования почечных артерий, позволят прогнозировать эффективность данного вмешательства в отношении повышения почечного кровотока, а значит и в снижении артериального давления и в стабилизации или улучшении выделительной функции почек.

Выводы.

1) Характеристики почечного кровотока, измеренные с помощью метода рентгеновидео-денситометрии, коррелируют с тяжестью стено-

за почечной артерии по данными дигитальной субтракционной ангиографии и дуплексного сканирования почечных артерий;

2) К прогностическими факторами улучшения почечного кровотока после эндоваскулярного вмешательства относятся стеноз ПА более 75% по данным ангиографии, линейная скорость кровотока по ПА более 300 см/с, исходно сниженная выделительная функция почек;

3) Рентгеновидеоденситометрический анализ ангиограмм брюшного отдела аорты позволяет получить дополнительную объективную информацию о характеристиках почечного кровотока и определить влияние стеноза почечной артерии на внутриорганный кровоток без дополнительной лучевой нагрузки на пациента.

Список литературы

1. Hansen K.J., Edwards M.S., Craven T.E. et al. Prevalence of renovascular disease in elderly: a population based study. *J. Vasc. Surg.* 2002; 36: 443-451.
2. Safian R.D., Textor S.C. Renal artery stenosis. *N. Engl. J. Med.* 2001; 344: 431-442.
3. Rihal C.S., Textor S.C., Breen J. F. et al. Incidental renal artery stenosis among a prospective cohort of hypertensive patients undergoing coronary angiography. *Mayo Clin. Proc.* 2002; 77: 309-316.
4. Olin J.W., Melia M., Young J.R. et al. Prevalence of atherosclerotic RAS in patients with atherosclerosis elsewhere. *Am. J. Med.* 1990; 88: 46-51.
5. Rocha-Singh K.J., Eisenhauer A.C., Textor S.C. et al. Atherosclerotic Peripheral Vascular Disease Symposium II: Intervention for Renal Artery Disease. *Circulation.* 2008; 118: 2873-2878.
6. Wheatley K., Phil D., Ives N. Revascularization versus medical therapy for renal-artery stenosis. *N. Engl. J. Med.* 2009; 361: 1953-1962.
7. Shpilfoygel S., Close R., Valentino D., Duckwiler G. X-ray videodensitometric methods for blood flow and velocity measurement: A critical review of literature. *Med. Phys.* 2000; 27: 2008-2023.
8. Tenjin H., Asakura F., Nakahara Y. et al. Evaluation of intraaneurysmal blood velocity by time-density curve analysis and digital subtraction angiography. *Am. J. Neuroradiol.* 1998; 19: 1303-1307.
9. Murphy T.P., Soares G., Kim M. Increase of utilization of percutaneous renal artery interventions. *American Journal of roentgenology.* 2004; 183: 561-568.
10. Leiner T., de Haan M.W., Nelemans P.J. et al. Contemporary imaging techniques for the diagnosis of renal artery stenosis. *Eur. Radiol.* 2005; 15: 2219-2229.
11. Harden P.N., MacLeod M.J., Rodger R. et al. Effect of renal-artery stenting on progression of renovascular renal failure. *Lancet.* 1997; 349: 1133-1136.
12. Zeller T., Ulrich F., Müller C. et al. Angioplasty of severe atherosclerotic ostial renal artery stenosis: predictors of improved renal function after percutaneous stent-supported intervention. *Circulation* 2003; 108: 2244-2249.