

## ВОЗМОЖНОСТИ КТ-ПЕРФУЗИИ ПОЧЕК У ПАЦИЕНТОВ С КАМНЕМ МОЧЕТОЧНИКА

Беляева К.А., Серова Н.С., Руденко В.И., Капанадзе Л.Б., Израелян Ш.О.

ФГАОУ ВО ПМГМУ им. И.М. Сеченова (Сеченовский Университет) МЗ РФ. г. Москва, Россия.

**Цель исследования.** Изучить изменения внутривисочечной гемодинамики у пациентов с камнем мочеточника с помощью КТ-перфузии для выбора тактики оперативного лечения.

**Материалы и методы.** С 2017 по 2020 год в отделении лучевой диагностики №2 Университетской клинической больницы №1 и в Институте урологии и репродуктивного здоровья человека Сеченовского Университета было обследовано 56 пациентов с камнем, локализованным в мочеточнике. Всем пациентам при обследовании проведена объемная мультиспиральная компьютерная томография (МСКТ) в сочетании с КТ-перфузией. Исследование было выполнено на аппарате Toshiba Aquilion One 640 в объемном режиме с толщиной среза 0,5 мм. Ширина поля исследования составила 160 мм.

**Результаты.** У пациентов без дилатации чашечно-лоханочной системы средние показатели коркового и мозгового кровотока (AF), объема кровенаполнения (BV) и проницаемости стенок сосудов (FE) находились в пределах нормальных значений. Полученные данные показателей скорости кровотока, объема крови и проницаемости стенок сосудов в корковом и мозговом слое у пациентов без дилатации чашечно-лоханочной системы (ЧЛС) (1 группа) определялись в уменьшении до 10%. У больных с дилатацией ЧЛС (группа 2) выявлены снижение показателей кровотока в корковом и мозговом слое почки до 25% относительно значений, полученных для контралатеральной почки. Снижения значений перфузии в контралатеральной почке у этих групп пациентов отмечено не было.

У пациентов с дилатацией ЧЛС и мочеточника отмечалось снижение показателей перфузии на стороне обструкции до 50%. Однако в контралатеральной почке данные показатели превышали нормальные значения перфузии, что связано со степенью функционального нарушения почки с камнем мочеточника. Снижение показателей перфузии у пациентов с дилатацией ЧЛС и мочеточника является более существенным по сравнению с таковым у пациентов с дилатацией ЧЛС, т. е. дилатация ЧЛС сочетается с изменением кровотока.

**Заключение.** КТ-перфузия, выполненная в объемном режиме, позволяет объективно оценивать изменения кровотока в почке у пациентов с камнем мочеточника. Показано, что снижение показателей перфузии (скорость кровотока, эквивалентный объем крови, проницаемость) у пациентов с дилатацией ЧЛС и мочеточника является более существенным, чем у пациентов с дилатацией ЧЛС, т.е. степень обструкции сочетается со скоростью кровотока.

Ключевые слова: мочекаменная болезнь, КТ-перфузия, объемная компьютерная томография, уролитиаз, почечная гемодинамика, камень мочеточника.

Контактный автор: Беляева К.А., e-mail: ksenia\_alexandrova@mail.ru.

Для цитирования: Беляева К.А., Серова Н.С., Руденко В.И., Капанадзе Л.Б., Израелян Ш.О. Возможности КТ-перфузии почек у пациентов с камнем мочеточника. REJR 2022; 12(2):113-123. DOI: 10.21569/2222-7415-2022-12-2-113-123.

Статья получена: 13.03.22

Статья принята: 15.06.22

POSSIBILITIES OF RENAL CT PERFUSION IN PATIENTS WITH URETERAL STONE

Belyaeva K.A., Serova N.S., Rudenko V.I., Kapanadze L.B., Israelyan Sh.O.

Sechenov University. Moscow, Russia.

**Purpose.** To study hemodynamic changes in patients with urolithiasis using CT perfusion. **Materials and methods.** From 2017 to 2020 at the Department of Radiology №2 of the University Clinical Hospital №1 and at the Institute of Urology and Human Reproductive Health of Sechenov University, 56 patients with urolithiasis were examined. All patients underwent preoperative MSCT with CT perfusion. The study was performed on a Toshiba Aquilion One 640 scanner in a volumetric mode with a slice thickness of 0.5 mm. The width of the high security field is 160 mm.

**Results.** In patients without dilatation of the pelvicalyceal system, mean values of cortical and cerebral blood flow (AF), blood volume (BV), and permeability (FE) were within normal limits. In the course of a comparative analysis of the results of the examination, the average indicators of blood flow velocity (AF), blood volume (BV) and permeability (FE) in the cortical and medulla in patients without PCS dilatation (Group 1) were within 10%. Changes in the contralateral kidney were not determined. Patients with PCS dilatation (Group 2) showed significant differences in blood flow parameters in the cortical and medulla of the kidney relative to the values obtained for the contralateral kidney. There was no decrease in perfusion values in the contralateral kidney.

In patients with ureterocalicopyeloectasia, there was a marked decrease in perfusion on the side of the obstruction. However, in the contralateral kidney, these indicators exceeded the normal values of perfusion, which is associated with the degree of functional impairment of the kidney with ureteral stone. The decrease in perfusion parameters in patients with ureterocalicopyeloectasia is more significant compared to that in patients with calicopyeloectasia, i.e. the degree of expansion of the PCS directly affects the change in blood flow.

**Conclusion.** CT perfusion performed on a 640-slice computed tomography scanner makes it possible to objectively assess changes in blood flow in the kidney in patients with ureteral calculus.

Keywords: urolithiasis, CT perfusion, computed tomography, urolithiasis, renal hemodynamics, ureteral stone.

Corresponding author: Belyaeva K.A., e-mail: ksenia\_alexandrova@mail.ru.

For citation: Belyaeva K.A., Serova N.S., Rudenko V.I., Kapanadze L.B., Israelyan Sh.O. Possibilities of renal CT perfusion in patients with ureteral stone. REJR 2022; 12(2):113-123. DOI: 10.21569/2222-7415-2022-12-2-113-123.

Received: 13.03.22

Accepted: 15.06.22

**М**очекаменная болезнь (МКБ) является одной из наиболее актуальных клинических проблем урологии, так как частота выявления заболевания ежегодно растет, данное заболевание диагностируется у 12% населения земного шара, являясь наиболее распространенным заболеванием мочевыводящих путей [1 - 3]. Нефролитиаз в настоящее время признан как хроническим, так и системным заболеванием, что еще больше подчеркивает большое влияние заболевания и последующее экономическое бремя на систему здравоохранения [4, 5]. Причины возникновения МКБ разнообразны, от метабо-

лических и наследственных нарушений до анатомических дефектов с хронической инфекцией мочевыводящих путей или без нее. Большинство случаев МКБ являются идиопатическими, при которых, несомненно, существует генетическая предрасположенность, но где важную роль играют факторы окружающей среды и образа жизни. Мочекаменной болезнью заболевают как мужчины, так и женщины, однако данное заболевание у мужчин определяется чаще, чем у женщин в возрасте 20-49 лет [6 - 8].

Недавние исследования показали, что распространенность мочекаменной болезни в последние десятилетия увеличивается как в

развитых, так и в развивающихся странах. Считается, что эта растущая тенденция связана с такими изменениями в образе жизни, как отсутствие физической активности, изменение в питании и глобальное потепление [9, 11]. В США МКБ заболевают 1 из 11 человек и, по оценкам, 600 000 американцев ежегодно страдают от МКБ. В Великобритании насчитывается 720 000 человек с диагнозом МКБ в анамнезе [12]. В Индии заболеваемость МКБ варьируется в пределах 12%, для 50% из них заболевание может закончиться потерей функций почек [13].

Абсолютное число зарегистрированных больных МКБ в России за период с 2002 г. по 2009 г. увеличилось на 17,3%, причем рост данного показателя в 2009 г. по сравнению с 2008 г. составил 3,5% (с 502,5 до 520,2 зарегистрированных случаев на 100 тыс. человек) [14]. Мочекаменная болезнь занимает одно из первых мест среди урологических заболеваний (в среднем по России заболеваемость составляет 34,2%), доля больных МКБ среди всех пациентов урологических стационаров достигает 30-40% [15]. У большинства пациентов МКБ выявляется в наиболее трудоспособном возрасте: 30-50 лет [16, 17].

**Актуальность.**

В настоящее время, когда хирургические методы широко применяются в лечении больных МКБ, остается открытым вопрос о функциональном состоянии почек при обструкции мочеточника камнем. Определение анатомических особенностей, гемодинамических параметров, а также выделительной функции почек являются основными показателями для оценки функционального состояния почек и мочевыводящих путей, что клинически значимо для повышения результатов проводимого лечения и снижения рисков осложнений. Исследования перфузии, основанные на современной динамической объемной компьютерной томографии для оценки функции почек у пациентов с МКБ, не проводились. Таким образом, целью данного исследования было: определить целесообразность и эффективность перфузии почек на основе КТ с динамическим объемом 320 рядов детекторов для оценки почечной гемодинамики у пациентов с МКБ.

**Материалы и методы.**

За период с января 2017 г. по март 2020 г. в Сеченовском Университете на базе УКБ №2 и Института урологии и репродуктивного здоровья были обследованы 56 пациентов с диагнозом МКБ, камень мочеточника. Исследуемую группу составили 34 мужчины и 22 женщины в возрасте от 20 до 70 лет. Наибольшее количество пациентов

составила группа от 31-40 лет. У 31 пациента была правосторонняя локализация камня, у 25 – левосторонняя.

Жалобы пациентов включали: боль в боку, гематурию, пиурию и дизурию. Пациенты с почечной недостаточностью (креатинин сыворотки >1,5 мг/дл [114 моль/л]), двусторонней локализацией камня, пациенты с единственной почкой, а также несовершеннолетние пациенты (моложе 18 лет) были исключены.

Чтобы оценить влияние тяжести обструкции на функцию почек пациенты были разделены на три группы по результатам компьютерной томографии. Распределение было основано на оценке чашечно-лоханочной системы (ЧЛС), исходя из значений передне-заднего размера лоханки и качественной оценки степени расширения лоханки, чашечек и атрофических изменений в паренхиме почек. К пациентам в 1 группе относились больные с отсутствием дилатации ЧЛС и истончения паренхимы почек (толщина паренхимы 2,4-2,7 см), ко 2 группе – с дилатацией ЧЛС и истончением паренхимы до 1,8 см. У пациентов в 3 подгруппе определялась дилатация ЧЛС и верхней трети мочеточника, истончение паренхимы почки более 1\2.

Критерии исключения: пациенты с почечной недостаточностью (креатинин сыворотки больше 1,5 мг/дл [114 моль / л]), с двусторонними камнями мочеточника, а также с единственной почкой и несовершеннолетние пациенты (менее 18 лет).

Всем пациентам была выполнена МСКТ с КТ-перфузией и построением перфузионных карт на рабочей станции для получения перфузионных показателей кровотока коркового и мозгового слоя почки.

Перфузионные исследования были выполнены на 640-срезовом спиральном компьютерном томографе Aquilion One («Toshiba Medical Systems», Япония) с толщиной среза 0,5 мм в режиме мягкотканной реконструкции. Чтобы минимизировать дозу облучения, был выбран протокол со следующими параметрами: напряжение в трубке 100 кВ, экспозиция 100 мАс, что было достаточным для определения зоны динамического исследования максимальной шириной 160 мм. Другие параметры томографии: размеры коллиматора 0,5 × 320 мм, размеры матрицы 512×512 мм, поля зрения 320-350 мм, время ротации трубки 0,5 с. Ширина поля исследования пациента составляла 160 мм.

Учитывая отсутствие в настоящее время стандартизированного протокола исследования КТ-перфузии почек, нами был раз-

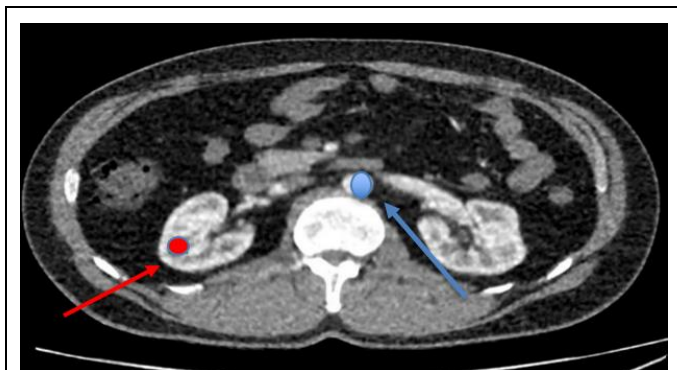


Рис. 1 (Fig. 1)

**Рис. 1. МСКТ левой слуховой трубы. Доброволец М., 47 лет. Аксиальная плоскость.**

Толщина медиальной стенки костной части слуховой трубы.

**Fig. 1. MSCT of the left eustachian tube. Volunteer M., 47 y. Axial scans.**

The thickness of the medial wall of the bony portion of the eustachian tube.

работан собственный алгоритм исследования. Через внутривенный периферический кубитальный инъекционный катетер 18 G пациенту внутривенно вводили неионный контрастный препарат «Ультравист-370» (из расчета 0,5 мл препарата на 1 кг массы тела пациента) со скоростью не менее 6 мл/с, 50 мл 0,9% физиологического раствора вводили с той же скоростью после внутривенного введения контрастного вещества. Исследование выполняли в объемном режиме через 7 секунд после начала введения и продолжали с интервалом в 2 секунды с 12-й по 30-ю секунду после начала. После 3-секундной паузы использовали 3-секундные интервалы с 33-й по 48-ю секунду после начала исследования. После 7-секундной паузы были использованы 10-секундные интервалы с 55-й по 110-ю секунды. [18].

Постобработку и анализ полученных данных для получения кривой плотности/времени осуществляли на рабочей станции Vitrea при помощи протокола 4D Single Input Perfusion. В процессе обработки из-

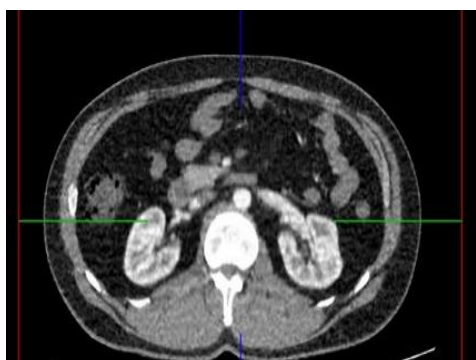


Рис. 2 а (Fig. 2 а)

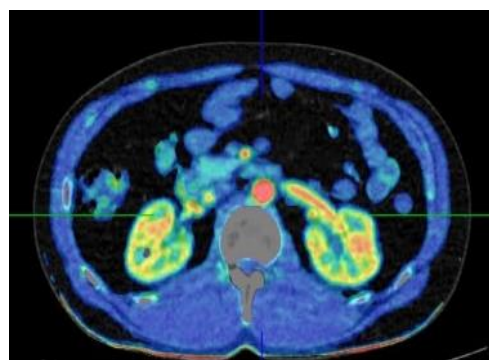


Рис. 2 б (Fig. 2 б)

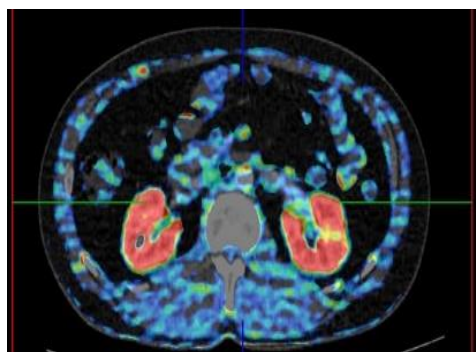


Рис. 2 в (Fig. 2 в)

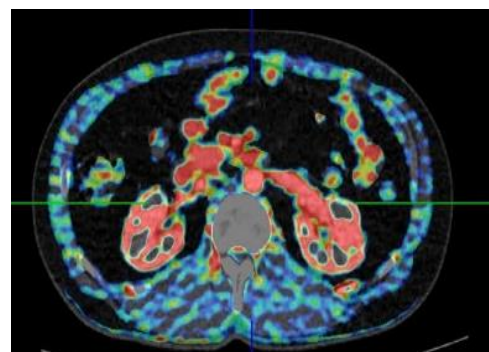


Рис. 2 г (Fig. 2 г)

**Рис. 2. КТ-перфузия. Аксиальная реконструкция.**

Перфузионные карты. А – нативное исследование. Б – перфузионная карта скорости кровотока. В – перфузионная карта объема кровенаполнения. Г – перфузионная карта сосудистой проницаемости.

**Fig. 2. CT perfusion. Axial plane.**

Perfusion maps. A – native study. B – perfusion map of blood flow velocity. C – perfusion map of the blood filling volume. D – perfusion map of vascular permeability.

меряли плотность ткани в двух различных областях интереса – ROI (region of interest) в афферентной артерии (брюшной аорте) и интересующей ткани (корковый и мозговой слой почки) (рис. 1). После получения кривой время/плотность (TDC) выстраивали перфузионные карты (рис. 2). Оценку перфузии ткани осуществляли с помощью двух математических моделей: метода одиночной наклонной кривой и метода Патлака на основе графика Патлака [19 - 23]. Для получения карты скорости кровотока (AF, мл/100 г/мин) применялся метод одиночной наклонной кривой, который заключается в том, что контрастное вещество при внутривенном введении распределяется только в одном объеме (например, в пространстве внутри сосудистого русла). Карта объема кровотока (BV мл/100 г) и клиренса (FE ml/100g/min), рассчитывалась по методу Патлака, в основе которого динамическое распределение контрастного вещества между двумя объемами, внутрисосудистым и внесосудистым. AF (arterial flow) определяли, как скорость прохождения определенного объема крови через заданный объем ткани за единицу времени. BV (blood volume) указывал на общий объем крови, проходящий через сосуды выбранного участка ткани и FE (проницаемость) –результат проницаемости, отра-

жающий общую диффузию через капилляры.

Область интереса (ROI) для измерения перфузии устанавливается с двух сторон в корковом и мозговом слое. Области интереса коркового и мозгового слоя почек определялись вручную в аксиальной и корональной проекции для каждой области, для минимизации влияния потенциальных погрешности измерения (рис. 3). Было рассчитано среднее значение, на котором был основан более поздний статистический анализ.

Статистический анализ проведен с использованием Python statsmodels и pandas. Для параметров перфузии (AF, BV, FE) были рассчитаны средние значение и стандартное отклонение измерений для всех параметров перфузии. Был проведен анализ связи между значениями перфузии и степени расширения ЧЛС (корреляция Пирсона). Значение p менее 0,05 указывает на значительную разницу. Также рассчитывался коэффициент корреляции Кендалла и коэффициент ранговой корреляции r-Спирмана.

**Результаты.**

Исследование было успешно выполнено у всех 56 пациентов без каких-либо технических проблем или побочных реакций на введение рентгеноконтрастного вещества.

Средние перфузионные показатели коркового и мозгового слоя у пациентов с камнем мочеточника показаны в таблице №1. Нормальные значения перфузии представлены в таблице №2.

Средние показатели перфузии в корковом и мозговом слое у пациентов в группе 2 были ниже, чем у пациентов в группе 1 (рис. 4, 5).

В корковом и мозговом слое среднее значение AF, BV и FE с дилатацией ЧЛС, а также AF, BV и FE в группе 3 существенно различаются между почкой с камнем и контралатеральной почкой (p<0,05). Так же определялось повышение показателей перфузии в контралатеральной почке по сравнению с нормальными значениями перфузии (рис. 6).

В ходе сравнительного анализа результатов обследования у пациентов без дилатации ЧЛС (группа 1) снижение показателей перфузии отмечалось в пределах 10%. Изменений в контралатеральной почке не определялось. У больных с дилатацией ЧЛС (группа 2) выявлены существенные различия показателей кровотока (до 25%) в корковом и мозговом слое почки относительно значений, полученных для контралатеральной почки. Снижения значений перфузии в контралатеральной почке отмечено не было.

У пациентов с дилатацией ЧЛС и моче-

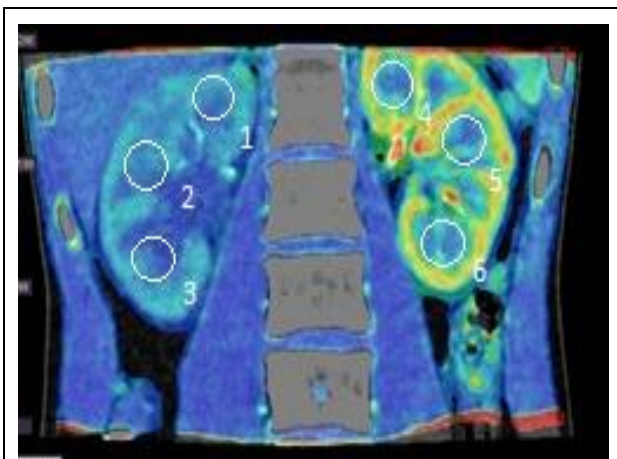


Рис. 3 (Fig. 3)

**Рис. 3. КТ-перфузия. Фронтальная реконструкция.**

Установка ROI для количественного измерения перфузии в мозговом слое почек (по три участка в каждой почке).

**Fig. 3. CT perfusion. Frontal reconstruction.**

ROI setup for quantitative measurement of perfusion in the renal medulla (3 areas in each kidney).

Таблица №1. Референсные значения перфузии почек [36, 37].

Показатель	Мозговой слой	Корковый слой
Артериальная (AF)	222 ± 24	335 ± 29
Объем крови (EqBV)	43 ± 12	47 ± 26
Проницаемость (FE)	46 ± 18	55 ± 18

Таблица №2. Средние показатели перфузии в корковом и мозговом слое у пациентов с различной степенью дилатации ЧЛС.

	Без дилатации ЧЛС		С дилатацией ЧЛС		С дилатацией ЧЛС и в/3 мочеточника	
	Корковый	Мозговой	Корковый	Мозговой	Корковый	Мозговой
<b>Почка с камнем мочеточника</b>						
<b>AF</b>	287±27	216±23	232±29	190±24	196±27	161±22
<b>BV</b>	40±9	38±8	38±9	38±8	20±6	15±4
<b>FE</b>	51±14	49±15	46±13	45±15	45±15	37±14
<b>Контралатеральная почка</b>						
	Корковый	Мозговой	Корковый	Мозговой	Корковый	Мозговой
<b>AF</b>	310±25	221±21	309±26	221±21	374±27	235±25
<b>BV</b>	41±9	41±10	43±10	40±8	52±13	47±10
<b>FE</b>	53±14	53±14	50±12	47±11	59±15	49±14

точника (группа 3) отмечалось выраженное (до 50%) снижение показателей перфузии на стороне обструкции. Однако в контралатеральной почке данные показатели превышали нормальные значения перфузии, что связано со степенью функционального нарушения почки с камнем мочеточника. Снижение показателей перфузии у пациентов с дилатацией ЧЛС и мочеточника является более существенным по сравнению с таковым у пациентов с дилатацией ЧЛС, т. е. дилатация ЧЛС сочетается с изменением кровотока.

Выявлены статистически значимые корреляции между соотношением AF, BV, FE в корковом и мозговом слое от степени расширения ЧЛС.

На рисунке 7 показаны распределения значений параметров кровотока (ось Y) в зависимости от группы пациентов (ось X). По

строкам варьируется тип параметра кровотока (AF, BV, FE), по столбцам – тип слоя (корковый, мозговой). Красным цветом показаны распределения значений в большой почке, зеленым – в контралатеральной. Синим цветом – среднее значение и среднеквадратичное отклонения для нормальной группы.

Результаты полиномиальной регрессии 2 порядка значений параметров кровотока от группы, аппроксимации показаны на графиках (параметр  $y_2$ ). Каждой группе был присвоен порядковый номер (1 – без дилатации, 2 – с дилатацией ЧЛС, 3 – дилатация ЧЛС и мочеточника). Так же была проведена полиномиальная регрессия 1 порядка (линейная), ее коэффициенты показаны на графике ( $y_1$ ). Для регрессий приведены значения p-value для F распределения (p) и  $R^2$

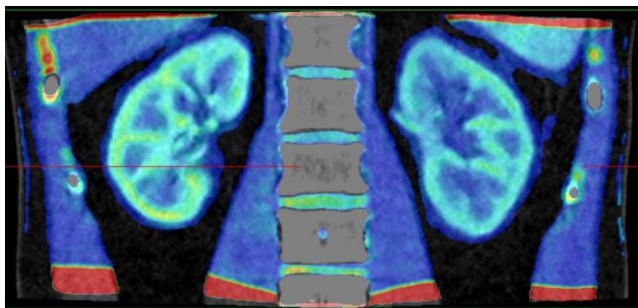


Рис. 4 (Fig. 4)

**Рис. 4. КТ-перфузия почек. Фронтальная реконструкция.**

Пациент Б., 39 лет. МКБ: Конкремент левого мочеточника. Группа 1.

Отмечается снижение показателей перфузии левой почки. В правой почке показатели перфузии без изменений.

**Fig. 4. CT perfusion of kidney. Frontal reconstruction.**

Patient B., 39 years old. Urolithiasis: stone of the left ureter. Group 1.

There is a decrease in perfusion of the left kidney. In the right kidney perfusion parameters were unchanged.

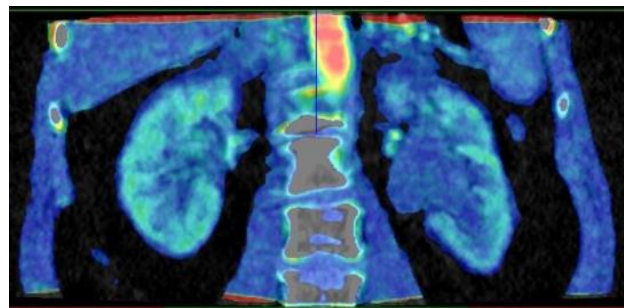


Рис. 5 (Fig. 5)

**Рис. 5. КТ-перфузия почек. Фронтальная реконструкция.**

Пациент С., 45 лет. МКБ: Конкремент левого мочеточника. Группа 2. Определяется дилатация ЧЛС левой почки. Отмечается снижение показателей перфузии левой почки. В правой почке показатели перфузии без изменений.

**Fig. 5. CT-perfusion, kidneys. Frontal reconstruction.**

Patient S., 45 years old. Urolithiasis: stone of the left ureter. Group 2. Dilatation of the renal collecting system of the left kidney is determined. There is a decrease in perfusion of the left kidney. In the right kidney perfusion parameters were unchanged.

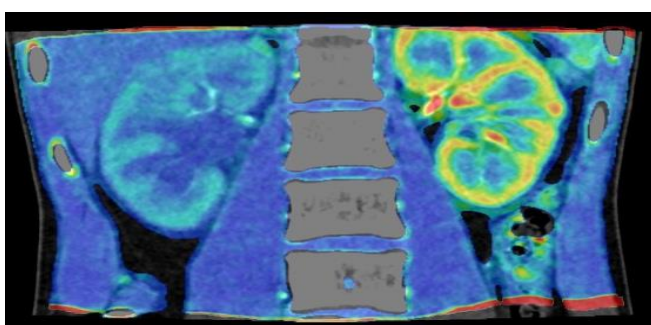


Рис. 6 (Fig. 6)

**Рис. 6. КТ-перфузия почек. Фронтальная реконструкция.**

Пациент И., 30 лет. МКБ: Конкремент правого мочеточника. Группа 3. Определяется дилатация ЧЛС и мочеточника правой почки. Отмечается снижение показателей перфузии правой почки. В левой почке показатели перфузии повышены.

**Fig. 6. CT perfusion of kidney. Frontal reconstruction.**

Patient I., 30 years old. Urolithiasis: stone of the right ureter. Group 3. Dilatation of the renal collecting system and ureter of the right kidney is determined. There is a decrease in perfusion of the right kidney. In the left kidney perfusion indicators are increased.

через запятую, для 1 и 2 порядка соответственно. Дополнительно были рассчитаны коэффициенты корреляции: Пирсона (rp), Кендалла (rk) и Спирмена (rs).

Все регрессии как первого, так и второго порядка являются статистически значимыми с  $p\text{-value} < 0.05$ .

Согласно метрике  $R^2$ , линейная регрессия хуже описывает характер зависимостей, чем квадратичная, поэтому для аппроксимации была выбрана квадратичная регрессия.

**Обсуждение.**

КТ-перфузия – неинвазивная технология, которая позволяет количественно оценивать изменения скорости почечного кровотока [24, 25].

КТ-перфузия основывается на временных изменениях в ткани после введения йодсодержащих контрастных веществ. Расчет стандартных показателей КТ-перфузии осуществим из-за того, что контрастное усиление линейно пропорционально концентрации контраста в ткани. Это линейное отношение является основным преимуществом КТ перед другими лучевыми методами диагностики. Несколько групп исследователей [1 - 26] доказали значимость КТ-перфузии для оценки функции почек.

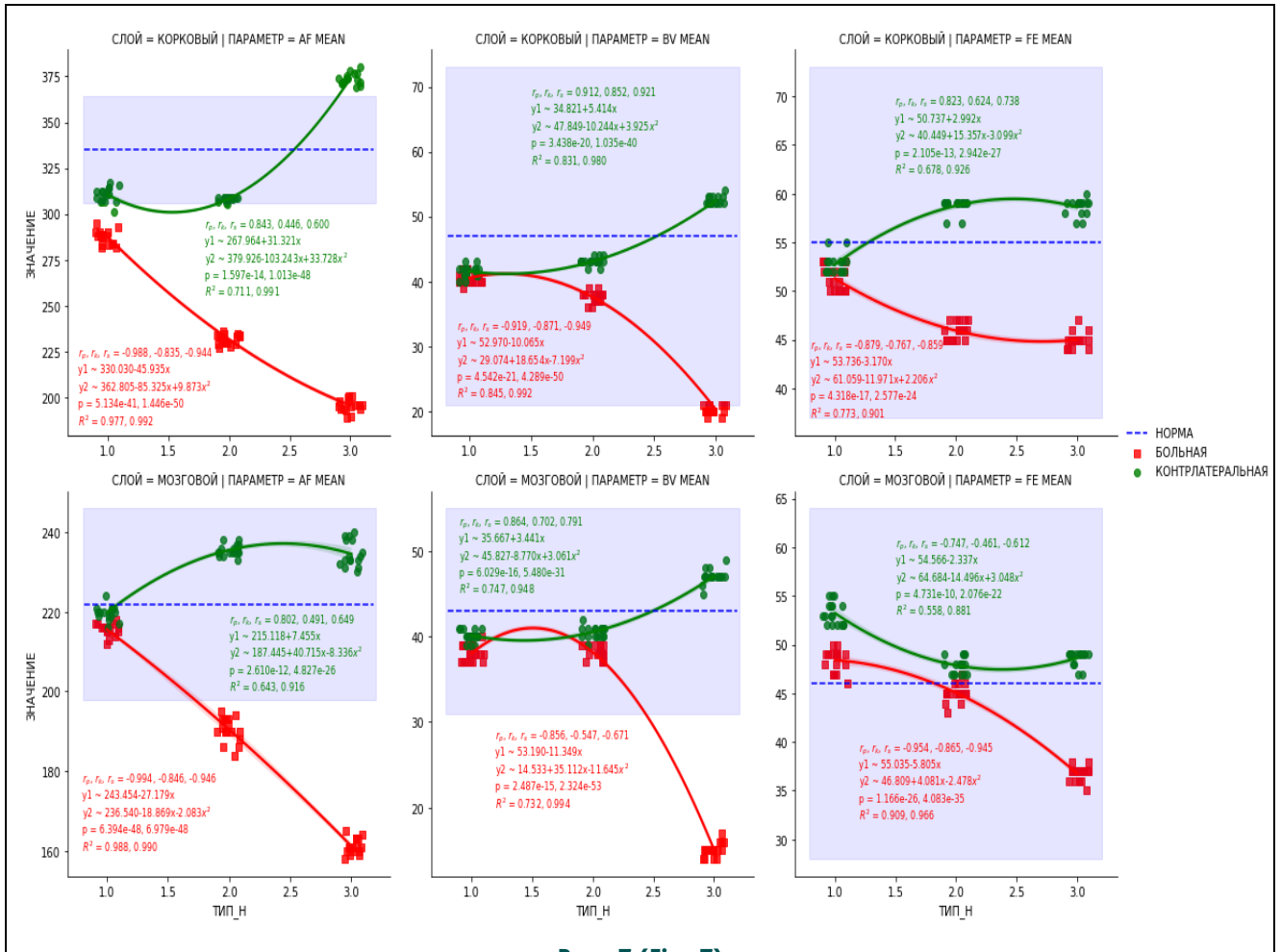


Рис. 7 (Fig. 7)

**Рис. 7. Регрессия параметров кровотока у пациентов с камнем мочеточника от степени дилатации ЧЛС.**

**Fig. 7. Regression of blood flow parameters in patients with ureter stone on the degree of dilatation of the renal collecting system.**

В проведенном нами исследовании метод КТ-перфузии был успешно использован для оценки гемодинамических изменений паренхимы почек у пациентов с камнями верхней трети мочеточника, так как объективная оценка анатомического и функционального состояния почек важна для определения оптимального лечения и оценки его эффективности.

Показатели перфузии, полученные на предоперационном этапе в данном исследовании, являются одними из независимых факторов, на основании которых можно осуществлять контроль восстановления функции почек у пациентов с различными формами МКБ. Количественная оценка параметров перфузии почек может помочь урологам отслеживать эффективность лечения и влиять на выбор метода лечения. По сравнению с другими методами визуализации

КТ-перфузия – быстрый и безопасный метод визуализации, позволяющий оценивать не только морфологические, но и функциональные характеристики почек.

Результаты исследования продемонстрировали снижение перфузионных параметров у пациентов с камнями мочеточника, что свидетельствует об аномально низкой перфузии в корковом и мозговом слое у пациентов с односторонней обструкцией мочеточника. Длительное существование обструкции сопряжено с высоким риском гломерулярного склероза, уменьшения почечных клубочков и развития интерстициального фиброза [5 - 32].

В корковом и мозговом слое среднее значение АФ контралатеральных почек у пациентов с дилатацией ЧЛС было статистически больше, чем в контралатеральных почках пациентов из другой группы. У пациентов с



камнями мочеточника без выраженного расширения ЧЛС значительного компенсаторного увеличения АФ не произошло. Данное исследование показало, что компенсаторный рост показателей перфузии контралатеральной почки в основном связан со степенью функционального нарушения почки с камнем мочеточника. Другим возможным объяснением данного феномена могут быть индивидуальные различия в показателях перфузии. Нами были отмечены незначительные уменьшения показателей перфузии у пациентов старше 50 лет. Это означает, что почечный кровоток может изменяться в зависимости от физиологического состояния, в том числе и из-за возрастного фактора.

Таким образом, полученные результаты демонстрируют важность оценки почечного кровотока в предоперационном периоде. Эти результаты согласуются с данными, опубликованными L. Pelaez и соавт. [36] и S. Sheehan и соавт. [37]. В совокупности эти данные подтверждают, что показатели перфузии могут показывать гемодинамические изменения в оценке нарушений функции почек у пациентов с различными клиническими формами МКБ.

**Заключение.**

В результате проведенного исследования установлено, что КТ-перфузия, выпол-

ненная в объемном режиме, позволяет объективно оценивать изменения кровотока в почке у пациентов с камнем мочеточника. Показано, что снижение показателей перфузии (скорость кровотока, эквивалентный объем крови, проницаемость) у пациентов с дилатацией ЧЛС и мочеточника является более существенным, чем у пациентов с дилатацией ЧЛС, т.е. степень обструкции сочетается со скоростью кровотока. Кроме того, установлена обратная зависимость между степенью расширения ЧЛС и показателями перфузии в контралатеральной почке. Таким образом, КТ-перфузия представляет собой информативный и неинвазивный метод, который позволяет количественно оценивать функциональное состояние почки, степень и характер обструкции, что может иметь значение при выборе метода оперативного лечения, прогнозировании осложнений и дальнейшего течения МКБ.

**Финансирование.**

Работа выполнена в рамках реализации Гранта Президента РФ при поддержке Ведущей научной школы НШ-599.2022.3 «Неинвазивные функциональные технологии лучевой медицины в скрининге, ранней диагностики, мониторинге лечения и контроле реабилитации социально значимых заболеваний» (Руководитель Н.С. Серова).

**Список литературы:**

1. Knoll T. *Epidemiology, Pathogenesis, and Pathophysiology of Urolithiasis. Eur. Urol. Suppl.* 2010; 9: 802-806.
2. Lopez M., Hoppe B. *History, epidemiology and regional diversities of urolithiasis. Pediatric Nephrology.* 2008; 25 (1): 49-59.
3. Chauhan C. K., M. J. Joshi, and A. D. B. Vaidya. *Growth inhibition of struvite crystals in the presence of herbal extract. Commiphora wightii. Journal of Materials Science.* 2008; 20 (1): 85-92.
4. Morgan M.S., Pearle M.S. *Medical management of renal stones. BMJ* 2016; 14 (352): i52. <https://doi.org/10.1136/bmj.i52>
5. Johri N, Cooper B, Robertson W, Choong S, Rickards D, Unwin R. *An update and practical guide to renal stone management. Nephron Clin Pract.* 2010; 116 (3): c159-71. <https://doi.org/10.1159/000317196>
6. Moe O. W. *Kidney stones: pathophysiology and medical management. The Lancet.* 2006; 367 (9507): 333-344.
7. Romero V., H. Akpinar, and D. G. Assimos. *Kidney stones: a global picture of prevalence, incidence, and associated risk factors. Reviews in Urology.* 2010; 12 (2-3): e86-e96.
8. Edvardsson V. O., O. S. Indridason, G. Haraldsson, O. Kjartansson, and R. Palsson. *Temporal trends in the incidence of kidney stone disease. Kidney International.* 2013; 83 (1): 146-152.
9. Robertson W. G., P. J. Heyburn, M. Peacock, F. A. Hanes,

- and R. Swaminathan. *The effect of high animal protein intake on the risk of calcium stone-formation in the urinary tract. Clinical Science.* 1979; 57 (3): 285-288.
10. Singh K. B., Sailo S. *Understanding epidemiology and etiologic factors of urolithiasis: an overview. Scientific Visualization.* 2013; 13 (4): 169-174.
11. Sofia N. H., Walter T. M. *Prevalence and risk factors of kidney stone. Global Journal For Research Analysis.* 2016; 5.
12. Scales C. D., A. C. Smith, J. M. Hanley, and C. S. Saigal. *Prevalence of kidney stones in the United States. European Urology.* 2012; 62 (1): 160-165.
13. Joseph K. C., B. Bharat, H. Parek, and M. J. Joshi. *Inhibition of growth of urinary type calcium hydrogen phosphate dihydrate crystals by tartaric acid and tamarind. Current Science.* 2005; 88: 1232-1238.
14. Аполихин О.И., Сивков А.В., Бешлиев Д.А., Солнцева Т.В., Комарова В.А. *Анализ уронефрологической заболеваемости в Российской Федерации по данным официальной статистики. Экспериментальная и клиническая урология.* 2010; 1: 4-11.
15. Руденко В.И. *Мочекаменная болезнь. Актуальные вопросы диагностики и выбора метода лечения. Докт.Дисс. М., 2004.*
16. Павлов С.М. *Лечение больных с двухсторонним нефролитиазом дистанционной литотрипсией. М., 1997.*

17. Ripolles T, Errando J, Agramunt M, et al. Ureteral colic: US versus CT. *Abdom Imaging* 2004; 29: 263-266.
18. Kandel S, Meyer H, Hein R, et al. Comparison of free breathing versus breath-hold in perfusion imaging using dynamic volume CT. *Insights Imaging*. 2012; 3: 323-328.
19. Chen C, Liu Q, Hao Q, Xu B, Ma C, Zhang H, et al. Study of 320-slice dynamic volume CT perfusion in different pathologic types of kidney tumor: preliminary results. *PLoS One*. 2014; 21.
20. Ragi I, El-Said W., Ibraheem M.E., Farid A., Gohar S. Kidney function and histopathological changes in unilateral hydronephrosis with special reference to bilharzial ureter. *Int Urol Nephrol*. 1981; 13: 237-248.
21. Brix G., Lechel U., Veit R., Truckenbrodt R., Stamm G., Copprenath E.M., et al. Assessment of a theoretical formalism for dose estimation in CT: an anthropomorphic phantom study. *Eur Radiol*. 2004; 14: 1275-1284.
22. Ohno Y., Koyama H., Matsumoto K., Onishi Y., Takenaka D., Fujisawa Y., et al. Differentiation of malignant and benign pulmonary nodules with quantitative first-pass 320-detector row perfusion CT versus FDG PET/CT. *Radiology*. 2011; 258: 599-609.
23. Miles K.A. Measurement of tissue perfusion by dynamic computed tomography. *Br J Radiol*. 1991; 64: 409-412.
24. Patlak C.S., Blasberg R.G., Fenstermacher J.D. Graphical evaluation of blood-to-brain transfer constants from multiple-time uptake data. *J Cereb Blood Flow Metab*. 1983; 3: 1-7.
25. Mazzei M.A., Squitieri N.C., Sani E., et al. Differences in perfusion CT parameter values with commercial software upgrades: a preliminary report about algorithm consistency and stability. *Acta Radiol*. 2013; 54: 805-811.
26. Grenier N., Cornelis F., Le Bras Y., et al. Perfusion imaging in renal diseases. *Diagn Interv Imaging*. 2013; 94: 1313-1322.
27. Chang J., Kim S., Jung J., Lee H., Choi H., Chang D., et al. Assessment of glomerular filtration rate with dynamic computed tomography in normal Beagle dogs. 2011; 12: 393-399.
28. Satoh N., Togami I., Murakami K., Kitagawa T., Kimoto S., Hiraki Y, et al. Evaluation of renal function by dynamic CT. *Nihon Igaku Hoshasen Gakkai Zasshi*. 1991; 51: 1346-1351.
29. Blomley M.J., McBride A., Mohammedtagi S., Albrecht T., Harvey C.J., Jäger R., et al. Functional renal perfusion imaging with colour mapping: is it a useful adjunct to spiral CT of in the assessment of abdominal aortic aneurysm (AAA). *Eur J Radiol*. 1999; 30: 214-220.
30. Yilmaz O., Ovali G.Y., Genc A., Tarhan S., Ozcan T., Tuncyurek O., et al. Perfusion computed tomography could be a new tool for single-session imaging of ureteric obstructive pathology: an experimental study in rats. *J Pediatr Surg*. 2009; 44: 1977-1983.
31. Александрова К. А., Серова Н. С., Руденко В. И., Каванадзе Л. Б., Песегов С. В., Фиев Д. Н., Мискарян Т. И. Возможности КТ-перфузии в оценке почечного кровотока у пациентов с мочекаменной болезнью. *REJR*. 2019; 1 (9): 108-117.
32. Elder J.S., Stansbrey R., Dahms B.B., Selzman A.A. Renal histological changes secondary to ureteropelvic junction obstruction. *J Urol*. 1995; 154: 719-722.
33. Tantawy M.N., Jiang R., Wang F., Takahashi K., Peterson T.E., Zemel D., et al. Assessment of renal function in mice with unilateral ureteral obstruction using <sup>99m</sup>Tc-MAG3 dynamic scintigraphy. *BMC Nephrol*. 2012; 13: 168.
34. Vaughan E.D. Jr., Marion D., Poppas D.P., Felsen D. Pathophysiology of unilateral ureteral obstruction: studies from Charlottesville to New York. *J Urol*. 2004; 172: 2563-2569.
35. Klahr S., Morrissey J. Obstructive nephropathy and renal fibrosis. *Am J Physiol Renal Physiol*. 2002; 283: F861-F875.
36. Loo M.H., Felsen D., Weisman S., Marion D.N., Vaughan E.D. Pathophysiology of obstructive uropathy. *World J Urol*. 1988; 6: 53.
37. Pelaez L.I., Juncos L.A., Stulak J.M., Lerman L.O., Romero J.C. Non-invasive evaluation of bilateral renal regional blood flow and tubular dynamics during acute unilateral ureteral obstruction. *Nephrol Dial Transplant*. 2005; 20: 83-88.

## References:

1. Knoll T. Epidemiology, Pathogenesis, and Pathophysiology of Urolithiasis. *Eur. Urol Suppl*. 2010; 9: 802-806.
2. Lopez M., Hoppe B. History, epidemiology and regional diversities of urolithiasis. *Pediatric Nephrology*. 2008; 25 (1): 49-59.
3. Chauhan C. K., M. J. Joshi, and A. D. B. Vaidya. Growth inhibition of struvite crystals in the presence of herbal extract. *Commiphora wightii*. *Journal of Materials Science*. 2008; 20 (1): 85-92.
4. Morgan M.S., Pearle M.S. Medical management of renal stones. *BMJ* 2016; 14 (352): i52. <https://doi.org/10.1136/bmj.i52>
5. Johri N, Cooper B, Robertson W, Choong S, Rickards D, Unwin R. An update and practical guide to renal stone management. *Nephron Clin Pract*. 2010; 116 (3): c159-71. <https://doi.org/10.1159/000317196>
6. Moe O. W. Kidney stones: pathophysiology and medical management. *The Lancet*. 2006; 367 (9507): 333-344.
7. Romero V., H. Akpınar, and D. G. Assimos. Kidney stones: a global picture of prevalence, incidence, and associated risk factors. *Reviews in Urology*. 2010; 12 (2-3): e86-e96.
8. Edvardsson V. O., O. S. Indridason, G. Haraldsson, O. Kjartansson, and R. Palsson. Temporal trends in the incidence of kidney stone disease. *Kidney International*. 2013; 83 (1): 146-152.
9. Robertson W. G., P. J. Heyburn, M. Peacock, F. A. Hanes, and R. Swaminathan. The effect of high animal protein intake on the risk of calcium stone-formation in the urinary tract. *Clinical Science*. 1979; 57 (3): 285-288.
10. Singh K. B., Sailo S. Understanding epidemiology and etiologic factors of urolithiasis: an overview. *Scientific Visualization*. 2013; 13 (4): 169-174.
11. Sofia N. H., Walter T. M. Prevalence and risk factors of kidney stone. *Global Journal For Research Analysis*. 2016; 5.
12. Scales C. D., A. C. Smith, J. M. Hanley, and C. S. Saigal. Prevalence of kidney stones in the United States. *Eu-*

- ropean Urology. 2012; 62 (1): 160-165.
13. Joseph K. C., B. Bharat, H. Parek, and M. J. Joshi. Inhibition of growth of urinary type calcium hydrogen phosphate dihydrate crystals by tartaric acid and tamarind. *Current Science*. 2005; 88: 1232-1238.
  14. Apolikhin O.I., Sivkov A.V., Beshliev D.A., Solntseva T.V., Komarova V.A. Analysis of uronephrological morbidity in the Russian Federation according to official statistics. *Experimental and clinical urology*. 2010; 1: 4-11 (in Russian).
  15. Rudenko V.I. Urolithiasis disease. Topical issues of diagnosis and choice of treatment. *Doct.Diss. M., 2004 (in Russian)*.
  16. Pavlov S.M. Treatment of patients with bilateral nephrolithiasis with remote lithotripsy. *M., 1997 (in Russian)*.
  17. Ripolles T, Errando J, Agramunt M, et al. Ureteral colic: US versus CT. *Abdom Imaging* 2004; 29: 263-266.
  18. Kandel S., Meyer H., Hein R., et al. Comparison of free breathing versus breath-hold in perfusion imaging using dynamic volume CT. *Insights Imaging*. 2012; 3: 323-328.
  19. Chen C, Liu Q, Hao Q, Xu B, Ma C, Zhang H, et al. Study of 320-slice dynamic volume CT perfusion in different pathologic types of kidney tumor: preliminary results. *PLoS One*. 2014; 21.
  20. Ragi I., El-Said W., Ibraheem M.E., Farid A., Gohar S. Kidney function and histopathological changes in unilateral hydronephrosis with special reference to bilharzial ureter. *Int Urol Nephrol*. 1981; 13: 237-248.
  21. Brix G., Lechel U., Veit R., Truckenbrodt R., Stamm G., Coppenrath E.M., et al. Assessment of a theoretical formalism for dose estimation in CT: an anthropomorphic phantom study. *Eur Radiol*. 2004; 14: 1275-1284.
  22. Ohno Y., Koyama H., Matsumoto K., Onishi Y., Takenaka .D, Fujisawa Y., et al. Differentiation of malignant and benign pulmonary nodules with quantitative first-pass 320-detector row perfusion CT versus FDG PET/CT. *Radiology*. 2011; 258: 599-609.
  23. Miles K.A. Measurement of tissue perfusion by dynamic computed tomography. *Br J Radiol*. 1991; 64: 409-412.
  24. Patlak C.S., Blasberg R.G., Fenstermacher J.D. Graphical evaluation of blood-to-brain transfer constants from multiple-time uptake data. *J Cereb Blood Flow Metab*. 1983; 3: 1-7.
  25. Mazzei M.A., Squitieri N.C., Sani E., et al. Differences in perfusion CT parameter values with commercial software upgrades: a preliminary report about algorithm consistency and stability. *Acta Radiol*. 2013; 54: 805-811.
  26. Grenier N., Cornelis F., Le Bras Y., et al. Perfusion imaging in renal diseases. *Diagn Interv Imaging*. 2013; 94: 1313-1322.
  27. Chang J., Kim S., Jung J., Lee H., Choi H., Chang D., et al. Assessment of glomerular filtration rate with dynamic computed tomography in normal Beagle dogs. 2011; 12: 393-399.
  28. Satoh N., Togami I., Murakami K., Kitagawa T., Kimoto S., Hiraki .Y, et al. Evaluation of renal function by dynamic CT. *Nihon Igaku Hoshasen Gakkai Zasshi*. 1991; 51: 1346-1351.
  29. Blomley M.J., McBride A., Mohammedtagi S., Albrecht T., Harvey C.J., Jäger R., et al. Functional renal perfusion imaging with colour mapping: is it a useful adjunct to spiral CT of the assessment of abdominal aortic aneurysm (AAA). *Eur J Radiol*. 1999; 30: 214-220.
  30. Yilmaz O., Ovali G.Y., Genc A., Tarhan S., Ozcan T., Tuncyurek O., et al. Perfusion computed tomography could be a new tool for single-session imaging of ureteric obstructive pathology: an experimental study in rats. *J Pediatr Surg*. 2009; 44: 1977-1983.
  31. Alexandrova K. A., Serova N. S., Rudenko V. I., Kapnadze L. B., Pesegov S. V., Fiev D. N., Miskaryan T. I. Possibilities of CT perfusion in assessment of renal blood flow in patients with urolithiasis. *REJR*. 2019; 1 (9): 108-117 (in Russian).
  32. Elder J.S., Stansbrey R., Dahms B.B., Selzman A.A. Renal histological changes secondary to ureteropelvic junction obstruction. *J Urol*. 1995; 154: 719-722.
  33. Tantaawy M.N., Jiang R., Wang F., Takahashi K., Peterson T.E., Zemel D., et al. Assessment of renal function in mice with unilateral ureteral obstruction using 99mTc-MAG3 dynamic scintigraphy. *BMC Nephrol*. 2012; 13: 168.
  34. Vaughan E.D. Jr., Marion D., Poppas D.P., Felsen D. Pathophysiology of unilateral ureteral obstruction: studies from Charlottesville to New York. *J Urol*. 2004; 172: 2563-2569.
  35. Klahr S., Morrissey J. Obstructive nephropathy and renal fibrosis. *Am J Physiol Renal Physiol*. 2002; 283: F861-F875.
  36. Loo M.H, Felsen D., Weisman S., Marion D.N., Vaughan E.D. Pathophysiology of obstructive uropathy. *World J Urol*. 1988; 6: 53.
  37. Pelaez L.I., Juncos L.A., Stulak J.M., Lerman L.O., Romero J.C. Non-invasive evaluation of bilateral renal regional blood flow and tubular dynamics during acute unilateral ureteral obstruction. *Nephrol Dial Transplant*. 2005; 20: 83-88.