

ВОЗМОЖНОСТИ КТ-ПЕРФУЗИИ В ОЦЕНКЕ ПОЧЕЧНОГО КРОВОТОКА У ПАЦИЕНТОВ С МОЧЕКАМЕННОЙ БОЛЕЗНЬЮ

Александрова К.А., Серова Н.С., Руденко В.И.,
Капанадзе Л.Б., Песегов С.В., Фиев Д.Н., Мискарян Т.И.

Цель исследования. Целью данного исследования было изучение изменений гемодинамики в корковом и мозговом слое почек у пациентов с различными формами мочекаменной болезни (МКБ) с применением КТ-перфузии, проведенной на компьютерном томографе Aquilion One 640 (Canon, Япония).

Материалы и методы. С 2017 по 2019 года в Российско-Японском центре визуализации Первого МГМУ им. И.М. Сеченова было обследовано 42 пациента с различными формами мочекаменной болезни. Всем пациентам с МКБ проводилась КТ-перфузия на предоперационном этапе. Исследование было выполнено на аппарате Aquilion One 640, в объемном режиме, толщина среза 0,5 мм.

Результаты. По данным КТ-перфузии у пациентов с камнями мочеточника при дилатации чашечно-лоханочной системы были снижены показатели перфузии (AF и BV) в корковом и мозговом слое, при этом перфузионные значения в контралатеральной почке были статистически больше, чем средние показатели перфузии. У пациентов с камнями почки (коралловидными камнями и камнями размерами больше 1 см) снижение перфузионных показателей отмечалось только на стороне поражения. Изменения перфузионных значений со стороны контралатеральной почки отмечено не было.

Выводы. КТ-перфузия представляет собой точный и неинвазивный метод, который позволяет количественно оценивать функциональное состояние почки, степени и характера обструкции, что может быть клинически значимо при выборе метода оперативного лечения, прогнозировании осложнений и дальнейшего течения МКБ.

Ключевые слова: мочекаменная болезнь, КТ-перфузия, компьютерная томография

Контактный автор: Александрова К.А. e-mail: ksenia_alexandrova@mail.ru

Для цитирования: Александрова К.А., Серова Н.С., Руденко В.И., Капанадзе 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; 9(1):108-117. DOI:10.21569/2222-7415-2019-9-1-108-117.

Статья получена: 20.02.19

Статья принята: 04.04.19

OPPORTUNITIES OF CT-PERFUSION IN THE EVALUATION OF RENAL BLOOD FLOW IN PATIENTS WITH UROLITHIASIS

Alexandrova K.A., Serova N.S., Rudenko V.I., Kapanadze L.B.,
Pesegov S.V., Fiev D.N., Miskaryan T.I.

Purpose. The purpose of this study was to investigate the hemodynamic changes in the cortex and the medulla of the kidneys in patients with various forms of urolithiasis (ICD), using CT-perfusion performed on 640 sectional computed tomographs.

Materials and methods. From 2017 to 2019 in the Russian-Japanese center of visualization of the Sechenov University 42 patients with various forms of urolithiasis were examined. CT-perfusion was performed in all patients with urolithiasis at the preoperative stage. The study was performed on a Aquilion One 640 scanner (CANON, Japan) in a volume mode, with a slice thickness of 0.5 mm.

Results. According to CT-perfusion data in patients with ureteral stones with dilata-

ФГАОУ ВО Первый
МГМУ им. И.М. Сеченова
Минздрава России
(Сеченовский
Университет)
г. Москва, Россия.

I.M. Sechenov First
Moscow State Medical
University
Moscow, Russia

tion of CLS there were reduced perfusion parameters (AF and BV) in the cortical and medulla, while the perfusion values in the contralateral kidney were statistically larger than the average perfusion values. In patients with kidney stones (coral stones and stones larger than 1 cm), a decrease in perfusion indices was observed only on the affected side. Changes in the perfusion values of the contralateral kidney were noted.

Conclusion. CT-perfusion is an accurate and non-invasive method that allows you to quantify the functional status of the kidney, the degree and nature of the obstruction, which can be clinically significant when choosing a method of surgical treatment, prediction of complications and further dynamics of urolithiasis.

Keywords: urolithiasis, CT-perfusion, computed tomography.

Corresponding author: Alexandrova K.A., e-mail: ksenia_alexandrova@mail.ru

For citation: Alexandrova K.A., Serova N.S., Rudenko V.I., Kapanadze L.B., Pesegov S.V., Fiev D.N., Miskaryan T.I. Opportunities of CT-perfusion in the evaluation of renal blood flow in patients with urolithiasis. REJR 2019; 9(1):108-117. DOI:10.21569/2222-7415-2019-9-1-108-117.

Received: 20.02.19

Accepted: 04.04.19

Мочекаменная болезнь (МКБ) является одной из наиболее актуальных клинических проблем урологии, так как распространенность заболевания ежегодно растет на 0,5-5,3%. Значительная распространенность уролитиаза (не менее 5% населения индустриально развитых стран) определяет актуальность изучения этиологии и патогенеза, совершенствования эффективных методов профилактики, диагностических методов и развитие новых технологий лечения [1].

В последние годы распространение уролитиаза напрямую связано с глобальными демографическими сдвигами. Постоянное смещение возрастной пирамиды общества развитых стран в сторону нарастания удельного веса пожилых и старческих групп населения, приводит к увеличению вероятности заболевания мочекаменной болезнью, которая составляет в группе 65-69 лет 8,8% – у мужчин и 5,6% – у женщин, а возрастной группе 30-34 лет: 3,7% и 2,8%, соответственно [2]. Распространенность уролитиаза в таких странах как США, Италия, Германия, Испания, Япония, за последние 20 лет удвоилась, причем особенно быстро в последние годы [3].

Так, например, в США мочекаменной болезнью страдает 10,6% процентов мужчин и 7,1% женщин, тогда как в 1994 данный показатель составлял 6,3% у мужчин и 4,1% у женщин [4]. В Великобритании этот показатель достигает 8% и 4%, соответственно. Стоит отметить, что в 25% случаев наблюдается рецидив камнеобразования в течении первых 5 лет [5].

По мнению Taylor E.N. и соавт., Chang I.H. и соавт., ведущими причинами такой неблагоприятной динамики являются: изменения образа жизни и питания людей, находящие свое

выражение в эпидемии метаболического синдрома, а также глобальные климатические изменения [6, 7, 8]. Кроме того, мочекаменная болезнь связана с такими заболеваниями, как сахарный диабет, сердечно-сосудистые заболевания и хронические болезни почек [9, 10, 11].

Абсолютное число зарегистрированных больных МКБ в России за период с 2002 по 2009 гг. увеличилось на 17,3%, причем рост данного показателя в 2009 году по сравнению с 2008 годом составил 3,5% (с 502,5 до 520,2 зарегистрированных случаев на 100 000 человек) [12]. МКБ занимает одно из первых мест среди урологических заболеваний (в среднем по России частота заболеваемости составляет 34,2%) и больные МКБ составляют 30-40% всех пациентов урологических стационаров [13]. У большинства пациентов МКБ выявляется в наиболее трудоспособном возрасте: 30-50 лет [14, 15, 38].

В настоящее время, когда дистанционная литотрипсия (ДЛТ) и рентген-эндоскопическая хирургия (ЧНЛТ, РИРХ, Уретероскопия) широко применяются в лечении больных МКБ, остается открытым вопрос о разработке диагностического алгоритма, позволяющего выбрать оптимальный способ удаления конкремента, а также предупреждения осложнений в послеоперационном периоде.

Актуальность.

Актуальность совершенствования методов лучевой диагностики у больных мочекаменной болезнью (МКБ) определяется распространенностью заболевания (не менее 5% населения индустриально развитых стран). Точная оценка функционального состояния почки клинически значима для увеличения результативности проводимого лечения.

Цель исследования.

Целью данного исследования было изучение изменений гемодинамики в корковом и мозговом слоях почек у пациентов с различными формами МКБ, с использованием КТ-перфузии проведенной на компьютерном томографе Aquilion One 640 (Canon, Япония).

Материалы и методы.

За период с декабря 2017 по январь 2019 г. в Сеченовском Университете на базе Русско-Японского центра визуализации УКБ №1 42 пациентам с диагнозом МКБ, подтвержденным УЗИ, была выполнена КТ-перфузия почек. В состав исследуемой группы пациентов входили 22 мужчины (52%) и 20 женщин (48%) (табл. 1), в возрасте от 18 до 70 лет (табл. 2). Пациенты были разделены на 2 группы в зависимости от локализации камня: пациенты с камнями мочеочника 17 человек (40%) и пациенты с камнями чашечно-лоханочной системы почек (ЧЛС) – 25 человек (60%), среди которых у 13 человек (52%) были диагностированы коралловидные конкременты, у 12 человек (48%) камни больше 1 см (табл. 3).

Пациенты с почечной недостаточностью

(креатинин сыворотки > 1,5 мг/дл [114 моль/л]), а также несовершеннолетние пациенты (менее 18 лет) были исключены.

Мультиспиральная компьютерная томография (МСКТ) с КТ-перфузией на предоперационном этапе проводилась всем пациентам сразу после диагностирования МКБ по данным УЗИ. Исследования проводились на аппарате Toshiba Aquilion One 640 в объемном режиме, с толщиной среза 0,5 мм, в режиме мягкотканной реконструкции. Всем пациентам (n=42; 100%) проводилась КТ-перфузия с последующим построением перфузионных карт на рабочей станции с целью измерения перфузионных показателей коркового и мозгового вещества почки до хирургического лечения для оценки параметров почечного кровотока.

Протокол КТ-перфузии.

Перфузионные исследования были выполнены на компьютерном томографе Aquilion One 640 (Canon, Япония). Чтобы минимизировать дозу облучения, был выбран протокол 100 кВ в качестве напряжения в трубке, с экспозицией – 100 мАс, что было достаточным для определе-

Таблица №1. Распределение больных по полу (n=42,100%).

Пол больных	Количество(n)	Процентное соотношение(%)
Мужчины	22	52
Женщины	20	48
Всего	42	100

Таблица №2. Распределение больных по возрасту(n=42,100%)

Возраст	Всего	
	Кол-во больных	%
18-30	5	11,9
31-40	18	42,9
41-50	14	33,3
51-60	3	7,1
61-70	2	4,8
Всего	42	100

Таблица №3. Распределение пациентов по локализации камней (n=42,100%).

Локализация камней	Количество больных	
	абс	%
Камни почки	25	60
Средняя группа чашечек	2	0,8
Нижняя группа чашечек	3	1,3
Лоханка	2	0,8
Лоханочно-мочеточниковый сегмент (шейка)	5	2,1
Неполный коралловидный конкремент	3	1,3
Полный коралловидный конкремент	10	4,2
Камни мочеточника	17	40
Верхняя треть мочеточника	12	5,0
Средняя треть мочеточника	4	1,7
Нижняя треть мочеточника	1	0,4
Всего	42	100

ния зоны динамического сканирования максимальной шириной 160 мм. Другими параметрами сканирования были размеры коллиматора 0,5 мм × 320, матрицы 512 × 512, поля зрения 320-350 мм (FOV) и время ротации трубки 0,5 с. Ширина поля сканирования пациента составляла 160 мм.

Учитывая отсутствие в настоящее время стандартизированного протокола исследования КТ-перфузии почек, нами был использован самостоятельно разработанный алгоритм исследования. Пациенту выполнялось внутривенное введение 50 мл нейонного контрастного вещества (контрастный препарат «Ультравист-370») со скоростью введения 7 мл/с. С использованием двойного инжектора через внутривенный периферический кубитальный инъекционный катетер 18 G. 50 мл 0,9% физиологического раствора вводили с той же скоростью после внутривенного введения контрастного вещества. Концентрация контрастного агента составляла

320-380 мг/мл. Исследование выполняли в объемном режиме через 7 секунд после начала сканирования и продолжали с интервалом в 2 секунды с 12-й по 30-ю. Затем после 3-секундной паузы, использовали 3-секундные интервалы с 33-й по 48-ю секунды. Затем после 7-секундной паузы были использованы 10-секундные интервалы с 55-й до 110-й секунды. При проведении КТ-перфузии необходимо исключить артефакты от движения, поэтому инструктирование пациента о необходимости исключения движения и задерживания дыхания во время исследования являются обязательными. Цикл динамического сканирования длится около минуты, что является. Весьма затруднительным фактором исследования для пациента является именно задержка дыхания во время динамического сканирования, которое длится около минуты. В этом случае проблему можно решить поверхностным дыханием, эффективность которого доказана в исследовании S.

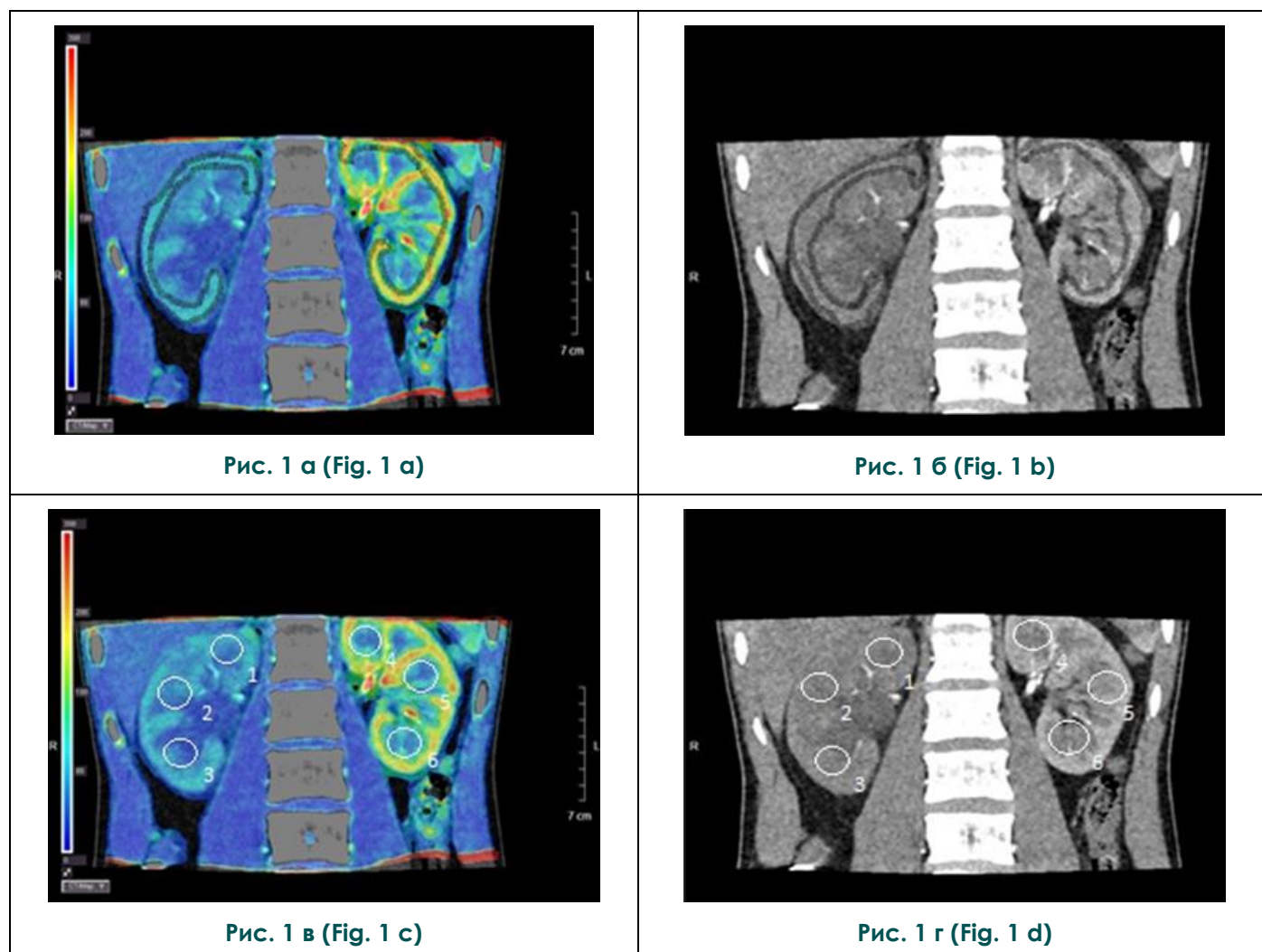


Рис. 1. МСКТ. Примеры измерений областей интереса (ROI).

ROI коркового слоя (а, б) и мозгового слоя (в, г) определяли вручную в коронарной проекции.

Fig. 1. MSCT. Examples of measurements of areas of interest (ROI).

ROI of the cortical layer (a, b) and the medulla (c, d) were determined manually in the coronary projection.

Kandel и соавт. [16].

Постобработка и анализ данных.

Обработка полученных данных осуществлялась на рабочей станции Vitrea при помощи протокола 4D Single Input Perfusion, в процессе которого измеряется плотность в двух различных ROI (Region of interest), в афферентной артерии (брюшной аорте) и желаемой ткани (корковой и мозговой слой почки), затем проводится математический анализ (рис. 1). Целью данных действий являлось получение кривой плотности времени (TDC). Следующим шагом обработки данных было автоматическое выстраивание карт перфузии на основе TDC с расчетом по методу одиночной наклонной кривой, для определения скорости кровотока (перфузии, AF-arterial flow), рассчитанная как отношение между максимальным наклоном кривой время/плотность ткани и пиком плотности в артерии, имеющее размерность мл/100мл/мин. Для получения значений объема кровотока (BV-blood volume), имеющего размерность мл/100мл и определяемого как количество контрастного препарата в ткани, рассчитывали отношение степени усиления в паренхиме к степени усиления аорты, а так же использовали метод Патлака на основе графика Патлака [17-22].

Результаты.

Исследование было успешно выполнено у всех 42 пациентов (100%) без каких-либо технических проблем или побочных реакций на

введение контрастного препарата. Были сопоставлены средние параметры корковой и мозговой перфузии у пациентов с конкрементами различной локализации.

У пациентов с камнями мочеточника (40%) средние показатели коркового и мозгового кровотока (AF), объема крови (BV) почки с камнями мочеточника были значительно ниже, чем у контралатеральных почек. Такие же данные были получены у пациентов с камнями ЧЛС. Средние показатели объема крови (BV) у пациентов с камнями различной локализации были значительно ниже, чем средние показатели перфузии. Средний корковый и средний мозговой кровотоки AF в здоровой почке при дилатации ЧЛС у пациентов с камнями мочеточника были статистически больше, чем средние показатели перфузии.

Средние кортикальные и мозговые перфузионные параметры обеих почек указаны в таблице 4.

У пациентов с дилатацией ЧЛС (36%) имелись существенные различия параметров перфузии в корковом и мозговом веществах (AF и BV) между обструктивной и контралатеральной почками. Показатели перфузии (AF и BV) в корковом и мозговом веществе уменьшались с увеличением дилатации ЧЛС. Выраженных изменений у пациентов с камнями мочеточника без дилатации ЧЛС (64%) и контралатеральной почкой не наблюдалось. Также отмечалось повышение перфузионных значений в контралате-

Таблица №4. Средние показатели перфузии в корковом и мозговом слое у пациентов различными формами МКБ.

	Рекомендуемые значения перфузии	Коралловидные камни	Камни >1 см	Камни мочеточника	
				без дилатации ЧЛС	с дилатацией ЧЛС
Контрольная почка (с камнем)					
Корковый AF	335 ± 29	240 ± 29	270 ± 29	230 ± 29	200 ± 29
Мозговой AF	222 ± 24	180 ± 24	200 ± 29	170 ± 29	110 ± 29
Корковый BV	47 ± 26	33 ± 26	35 ± 26	30 ± 26	20 ± 26
Мозговой BV	43 ± 12	27 ± 12	30 ± 26	26 ± 26	17 ± 26
Контралатеральная почка					
Корковый AF	335 ± 29	335 ± 29	330 ± 29	335 ± 29	355 ± 29
Мозговой AF	222 ± 24	220 ± 24	215 ± 23	220 ± 24	240 ± 29
Корковый BV	47 ± 26	45 ± 26	45 ± 26	47 ± 26	55 ± 26
Мозговой BV	43 ± 12	40 ± 12	42 ± 12	43 ± 12	50 ± 12

AF: мл/100мл/мин; BV: мл/100 мл; Условные обозначения: AF-скорость кровотока; BV-объем крови.

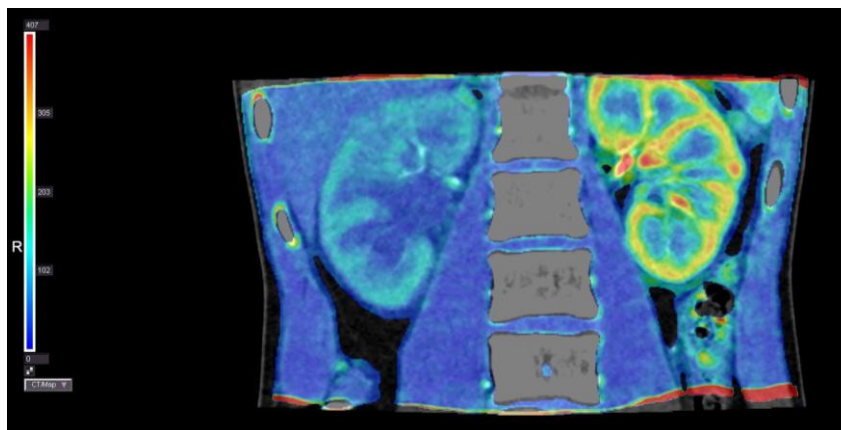


Рис. 2 (Fig. 2)

Рис. 2. КТ-перфузия у пациента с камнем мочеточника и дилатацией ЧЛС справа, фронтальная реконструкция.

Определяется выраженное снижение АФ в корковом и мозговом слое правой почки, отмечается повышение АФ в контралатеральной почке.

Fig. 2. CT-perfusion in a patient with ureteral stone and dilation of CLS on the right, frontal reconstruction.

A pronounced decrease in AF in the cortical and medulla of the right kidney is determined, an increase in AF in the contralateral kidney is noted.

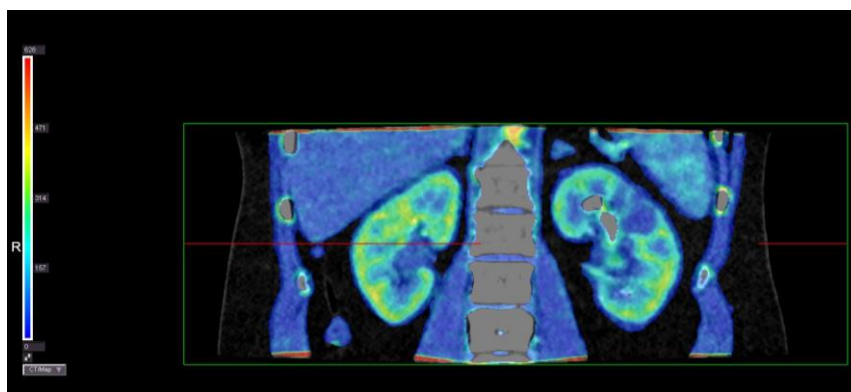


Рис. 3 (Fig. 3)

Рис. 3. КТ-перфузия у пациента с камнями ЧЛС, фронтальная реконструкция.

Отмечается снижение АФ в корковом и мозговом слое левой почки. Снижение показателей перфузии в правой почке отмечено не было.

Fig. 3. CT-perfusion in a patient with CLS stones, frontal reconstruction.

There is a decrease in AF in the cortical and brain layer of the left kidney. A decrease in perfusion in the right kidney was not observed.

ральной почке у пациентов с дилатацией ЧЛС (36%).

У пациентов с коралловидными камнями (68%) отмечалось снижение показателей перфузии на стороне поражения, при этом изменения перфузионных показателей в контралатеральной почке выявлено не было.

Показатели перфузии у пациентов с камнями почек были снижены на стороне поражения, изменений со стороны контралатеральной почки отмечено не было.

Перфузионные карты представлены на рисунках 2-4.

Перфузионные измерения всей почки могут быть получены с помощью 640-срезового компьютерного томографа, а оценочные коэффициенты перфузии имеют потенциальные возможности для количественной оценки почечной паренхимы у пациентов с МКБ.

Обсуждение.

Лучевые методы диагностики играют ключевую роль в диагностике состояний орга-

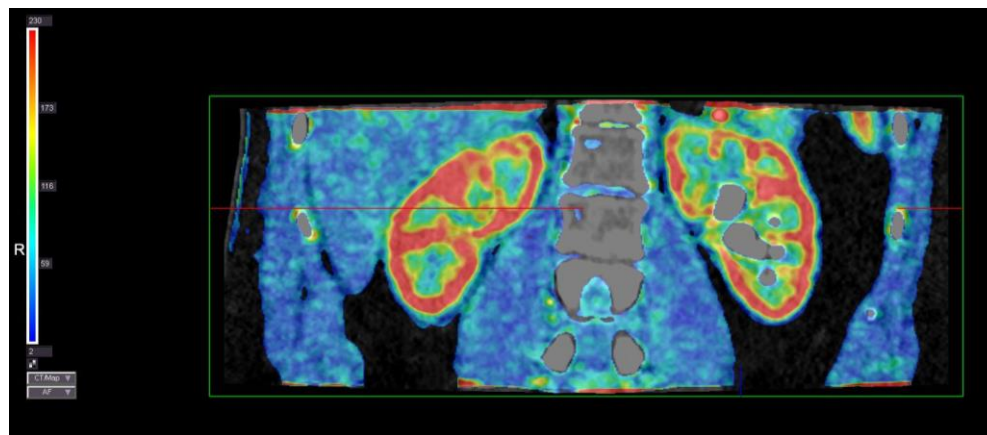


Рис. 4 (Fig. 4)

Рис. 4. КТ-перфузия у пациента с коралловидным камнем левой почки, фронтальная реконструкция.

Отмечается снижение АФ в корковом и мозговом слое левой почки. Снижение показателей перфузии в левой почке отмечено не было.

Fig. 4. CT-perfusion in a patient with a coral stone of the left kidney, frontal reconstruction.

There is a decrease in AF in the cortical and medulla of the left kidney. A decrease in perfusion in the left kidney was noted.

нов забрюшинного пространства [37]. КТ-перфузия – новая, неинвазивная технология, которая позволяет количественно оценивать изменения скорости почечного кровотока, а также функциональные изменения почек [23-24]. КТ-перфузия базируется на временных изменениях в ткани после введения йодсодержащих контрастных веществ (КВ). Расчет КТ-перфузии основывается на данных о том, что усиление линейно пропорционально концентрации контраста в ткани. Это линейное взаимоотношение является основным преимуществом компьютерной томографии перед другими модальностями. Предыдущие исследования доказали эффективность КТ-перфузии как метода для оценки функции почек [25-29].

В проведенном исследовании, метод КТ-перфузии успешно применялся для оценки гемодинамических изменений паренхимы почек с различными формами МКБ. Показатели перфузии, полученные в предоперационном периоде, являются одними из независимых факторов, влияющих на восстановление 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 – это 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 калипиелюэктазией при односторонней обструкции мочеточника. Также определяется влияние на гемодинамические параметры почечной паренхимы у пациентов с коралловидными камнями, а также с камнями >1 см. Длительное существование обструкции может привести к высоким рискам гломерулярного склероза, уменьшению почечных клубочков и интерстициальному фиброзу [30-33]. Кроме того, многие исследования на животных показали, что усиление ренин-ангиотензиновой системы (RAS) и недостаточный синтез оксида азота привели к вазоконстрикции в затрудненной почке, что привело к снижению почечного кровотока [34].

В корковом и мозговом веществах среднее значение АФ контралатеральных почек у пациентов с дилатацией ЧЛС было статистически больше, чем контралатеральной почке пациентов из других групп. Однако, при сравнении гемодинамических показателей контралатеральных почек у пациентов с камнями почек без расширения ЧЛС не было обнаружено существенной разницы. Аналогичных изменений не произошло и в контралатеральной почке у пациентов с камнями ЧЛС. Аналогично, Lerman et al. сообщили, что АФ увеличился в контралатеральной почке после месяца гипертонии, созданной односторонним стенозом почечной артерии у свиней [35]. Это может быть объяснено компенсаторным увеличением АФ в контралатеральной почке из-за тяжелых нарушений гемо-

динамики в обструктивной почке. Однако у пациентов с камнями мочеточника без выраженного расширения ЧЛС значительного компенсаторного увеличения АФ не произошло. Данное исследование показало, что компенсаторный рост контралатеральной почки в основном связан со степенью и скоростью функционального нарушения обструктивной почке. Другим потенциальным фактором, приводящим к этой разнице, могут быть индивидуальные различия в значениях перфузии. Нами были отмечены незначительное снижение показателей перфузии у пациентов старше 50 лет. Это означает, что почечный кровоток может изменяться у каждого человека в зависимости от физиологического состояния, в том числе на него влияют и возрастные особенности изменения почечного кровотока. Таким образом, полученные результаты доказывают важность оценки почечного кровотока в предоперационном периоде. Эти результаты согласуются с данными, опубликованными Pelaez и соавт., Sheehan и соавт. [36, 39]. В совокупности эти данные подтверждают, что перфузионные соотношения могут отра-

жать гемодинамические изменения в оценке функционального повреждения почек у пациентов с различными формами МКБ.

Выводы.

Представленное исследование показало, что КТ-перфузия, выполненная на компьютерном томографе Aquilion One 640 способно обнаруживать гипоперфузию почки у пациентов различными формами МКБ. КТ-перфузия представляет собой точный и неинвазивный метод, который позволяет количественно оценивать функциональное состояние почки, степень и характер обструкции, что может быть клинически значимо при выборе метода оперативного лечения, прогнозировании осложнений и дальнейшего течения мочекаменной болезни.

Источник финансирования и конфликт интересов.

Авторы данной статьи подтвердили отсутствие финансовой поддержки исследования и конфликта интересов, о которых необходимо сообщить.

Список литературы:

- Knoll T. *Epidemiology, Pathogenesis, and Pathophysiology of Urolithiasis*. *Eur. Urol. Suppl.* 2010; 9: 802 – 806.
- Indridason O.S., Birgisson S., Edvardsson V.O., et al. *R. Epidemiology of kidney stones in Iceland: a population-based study*. *Scand. J. Urol. Nephrol.* 2009; 40 (3): 215 – 220.
- Ramello A., Vitale C., Marangella M. *Epidemiology of nephrolithiasis*. *J Nephrol.* 2000; 13: 45 – 50.
- Jr, Smith A.C, Hanley J.M, Saigal C.S. *Urologic Diseases in America Project: Prevalence of kidney stones in the United States*. *Eur Urol.* 2012; 62: 160-165.
- Stamatelou K.K, Francis M.E, Jones C.A, et al. *Time trends in reported prevalence of kidney stones in the United States*. *Kidney Int.* 2003; 63: 1951-1952.
- Taylor E.N., Stampfer M.J., Curhan G.C. *Obesity, weight gain, and the risk of kidney stones*. *JAMA.* 2008; 293 (4): 455 – 462.
- Chang I.H., Kim K.D., Moon Y.T., et al. *Possible Relationship between Metabolic Syndrome Traits and Nephrolithiasis: Incidence for 15 Years According to Gender*. *Korean J Urol.* 2011; 52 (8): 548 – 553.
- Brikowski T.H., Lotan Y., Pearle M.S. *Climate-related increase in the prevalence of urolithiasis in the United States*. *Proc Natl Acad Sci USA.* 2008; 105 (28): 9841 – 9846.
- Zoghby Z.M, Lieske J.C, Foley R.N, et al. *Urolithiasis and the risk of ESRD*. *Clin J Am Soc Nephrol.* 2012; 7: 1409-1415.
- Alexander R.T, Hemmelgarn B.R, Wiebe N, et al. *Kidney stones and kidney function loss: a cohort study*. *BMJ.* 2012; 345: 52-87.
- Liu Y, Li S, Zeng Z, et al. *Kidney stones and cardiovascular risk: a meta-analysis of cohort studies*. *Am J Kidney Dis.* 2014; 64: 402-410.
- Анолихин О.И., Сивков А.В., Бешлиев Д.А., Солнцева Т.В., Комарова В.А. *Анализ уро-нефрологической заболеваемости в Российской Федерации по данным официальной статистики. Экспериментальная и клиническая урология.* 2010; 1: 4-11.
- Руденко В.И. *Мочекаменная болезнь. Актуальные вопросы диагностики и выбора метода лечения. Дисс. д-ра мед. наук. М., 2004.*
- Павлов С.М. *Лечение больных с двухсторонним нефролитиазом дистанционной литотрипсией. М., 1997.*
- Ripolles T, Errando J, Agramunt M, et al. *Ureteralcolic: US versus CT*. *Abdom Imaging* 2004; 29: 263-266.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Miles K.A. *Measurement of tissue perfusion by dynamic computed tomography*. *Br J Radiol.* 1991; 64: 409–412.
- 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.
- 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.

24. Grenier N., Cornelis F., Le Bras Y., et al. Perfusion imaging in renal diseases. *Diagn Interv Imaging.* 2013; 94: 1313–1322.

25. 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.

26. 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.

27. 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.

28. 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.

29. 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.

30. 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 99mTc-MAG3 dynamic scintigraphy. *BMC Nephrol.* 2012; 13: 168.

31. 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.

32. Klahr S., Morrissey J. Obstructive nephropathy and renal fibrosis. *Am J Physiol Renal Physiol.* 2002; 283: F861–F875.

33. Loo M.H., Felsen D., Weisman S., Marion D.N., Vaughan E.D. Pathophysiology of obstructive uropathy. *World J Urol.* 1988; 6: 53.

34. Hegarty NJ, Young LS, Kirwan CN, O'Neill AJ, Bouchier-Hayes D.M, Sweeney P., et al. Nitric oxide in unilateral ureteral obstruction: effect on regional renal blood flow. *Kidney Int.* 2001; 59: 1059–1065.

35. Lerman L.O., Schwartz R.S., Grande J.P., Sheedy P.F., Romero J.C. Noninvasive evaluation of a novel swine model of renal artery stenosis. *J Am Soc Nephrol.* 1999; 10:1455–1465.

36. 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.

37. Капанадзе Л.Б., Новиков А.А. МСКТ в диагностике доброкачественного образования почки (онкоцитомы). *Российский электронный журнал лучевой диагностики.* 2014. Т. 4. № 3. С. 81–86.

38. Капанадзе Л.Б., Терновой С.К., Руденко В.И., Серова Н.С. Клиническое значение двухэнергетической рентгеновской компьютерной томографии в диагностике и лечении мочекаменной болезни. *Урология.* 2018. № 1. С. 143–149.

39. Sheehan S.J., Moran K.T., Dowsett D.J., Fitzpatrick J.M. Renal haemodynamics and prostaglandin synthesis in partial unilateral ureteric obstruction. *Urol Res.* 1994; 22: 279–285. .

References:

1. Knoll T. Epidemiology, Pathogenesis, and Pathophysiology of Urolithiasis. *Eur. Urol. Suppl.* 2010; 9: 802 – 806.

2. Indridason O.S., Birgisson S., Edvardsson V.O., et al. R. Epidemiology of kidney stones in Iceland: a population-based study. *Scand. J. Urol. Nephrol.* 2009; 40 (3): 215 – 220.

3. Ramello A., Vitale C., Marangella M. Epidemiology of nephrolithiasis. *J Nephrol.* 2000; 13: 45 – 50.

4. Jr, Smith A.C, Hanley J.M, Saigal C.S. Urologic Diseases in America Project: Prevalence of kidney stones in the United States. *Eur Urol.* 2012; 62: 160–165.

5. Stamatelou K.K, Francis M.E, Jones C.A, et al. Time trends in reported prevalence of kidney stones in the United States. *Kidney Int.* 2003; 63: 1951–1952.

6. Taylor E.N., Stampfer M.J., Curhan G.C. Obesity, weight gain, and the risk of kidney stones. *JAMA.* 2008; 293 (4): 455 – 462.

7. Chang I.H., Kim K.D., Moon Y.T., et al. Possible Relationship between Metabolic Syndrome Traits and Nephrolithiasis: Incidence for 15 Years According to Gender. *Korean J Urol.* 2011; 52(8): 548 – 553.

8. Brikowski T.H., Lotan Y., Pearle M.S. Climate-related increase in the prevalence of urolithiasis in the United States. *Proc Natl Acad Sci USA.* 2008; 105 (28): 9841–9846.

9. Zoghby Z.M, Lieske J.C, Foley R.N, et al. Urolithiasis and the risk of ESRD. *Clin J Am Soc Nephrol.* 2012; 7: 1409–1415.

10. Alexander R.T, Hemmelgarn B.R, Wiebe N, et al. Kidney stones and kidney function loss: a cohort study. *BMJ.* 2012; 345: 52–87.

11. Liu Y, Li S, Zeng Z, et al. Kidney stones and cardiovascular

risk: a meta-analysis of cohort studies. *Am J Kidney Dis.* 2014; 64: 402–410.

12. Apolikhin O.I., Sivkov A.V., Beshliev D.A., Solntseva T.V., Komarova V.A. Analysis of uro-nephrological morbidity in the Russian Federation according to official statistics. *Experimental and clinical urology.* 2010; 1: 4–11 (in Russian).

13. Rudenko V.I. Urolithiasis disease. Current issues of diagnosis and choice of treatment. *Diss. Dr. med sciences. M., 2004 (in Russian).*

14. Pavlov S.M. Treatment of patients with bilateral nephrolithiasis with remote lithotripsy. *M.* 1997 (in Russian).

15. Ripolles T, Errando J, Agramunt M, et al. Ureteralcolic: US versus CT. *Abdom Imaging* 2004; 29:263–266.

16. 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.

17. 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.

18. 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.

19. 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.

20. 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.
21. Miles K.A. Measurement of tissue perfusion by dynamic computed tomography. *Br J Radiol*. 1991; 64: 409–412.
22. 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.
23. 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.
24. Grenier N., Cornelis F., Le Bras Y., et al. Perfusion imaging in renal diseases. *Diagn Interv Imaging*. 2013; 94: 1313–1322.
25. 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. [PMC free article] [PubMed]
26. 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.
27. 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.
28. 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.
29. 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.
30. 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 99mTc-MAG3 dynamic scintigraphy. *BMC Nephrol*. 2012; 13: 168.
31. 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.
32. Klahr S., Morrissey J. Obstructive nephropathy and renal fibrosis. *Am J Physiol Renal Physiol*. 2002; 283: F861–F875.
33. Loo M.H, Felsen D., Weisman S., Marion D.N., Vaughan E.D. Pathophysiology of obstructive uropathy. *World J Urol*. 1988;6: 53.
34. Hegarty NJ, Young LS, Kirwan CN, O'Neill AJ, Bouchier-Hayes D.M, Sweeney P., et al. Nitric oxide in unilateral ureteral obstruction: effect on regional renal blood flow. *Kidney Int*. 2001; 59: 1059–1065.
35. Lerman L.O., Schwartz R.S., Grande J.P., Sheedy P.F., Romero J.C. Noninvasive evaluation of a novel swine model of renal artery stenosis. *J Am Soc Nephrol*. 1999; 10:1455–1465.
36. 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.
37. Kapanadze L.B., Novikov A.A. MSCT in the diagnosis of benign tumors of the kidney (oncocytoma). *REJR*. 2014. T. 4. № 3. C. 81-86.
38. Kapanadze L.B., Ternovoy S.K., Rudenko V.I., Serova N.S. Clinical implications of dual-energy computed tomography in the diagnosis and treatment of urolithiasis. *Urology*. 2018. № 1. C. 143-149.
39. Sheehan S.J., Moran K.T., Dowsett D.J., Fitzpatrick J.M. Renal haemodynamics and prostaglandin synthesis in partial unilateral ureteric obstruction. *Urol Res*. 1994; 22: 279–285.