

ПЕРФУЗИОННАЯ КОМПЬЮТЕРНАЯ ТОМОГРАФИЯ ПОЧЕК. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ. ПОКАЗАТЕЛИ ПЕРФУЗИИ ПОЧЕК В НОРМЕ: СЛУЧАЙ-КОНТРОЛЬ

^{1,2}М. Я. Беликова[✉], ¹М. А. Мальцева^{✉*}

¹Госпиталь для ветеранов войн, Санкт-Петербург, Россия

²Институт мозга человека имени Н. П. Бехтеревой РАН, Санкт-Петербург, Россия

ВВЕДЕНИЕ: Перфузионная компьютерная томография (ПКТ) — это контрастная методика исследования, позволяющая оценить кровоток в корковом и мозговом слоях почечной паренхимы на уровне микроциркуляторного русла, влияние добавочных почечных сосудов и стенозов почечных артерий на гемодинамику в паренхиме почек.

ЦЕЛЬ: Оптимизировать методику перфузионной компьютерной томографии почек. Определить наиболее информативные показатели перфузии паренхимы почек в норме. Оценить взаимосвязь показателей перфузии с количеством почечных сосудов, наличием стенозов почечных артерий.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ: ПКТ была выполнена 46 пациентам с отсутствием анамнестических и клинико-лабораторных данных о заболеваниях почек, проходивших обследование по поводу других патологических состояний, среди которых было 35 пациентов в возрасте от 20 до 90 лет (средний возраст — 63,1 год) без гемодинамически значимых стенозов и 11 пациентов в возрасте от 64 до 94 лет (средний возраст 80,3 года) со стенозами почечных артерий от 50% и выше. Показатели перфузии рассчитывались с использованием алгоритмов максимального наклона и деконволюции, строились кинетические кривые на графике «время-плотность», цветовые параметрические карты.

РЕЗУЛЬТАТЫ: Выполнена числовая оценка показателей перфузии в кортикальном и мозговом слоях почек, качественный анализ состояния ее паренхимы на цветовых параметрических картах, проанализирована форма кинетических кривых на графике «время-плотность». Установлены изменения показателей перфузии в зависимости от возраста, количества и состояния почечных сосудов.

ОБСУЖДЕНИЕ: В кортикальном слое почек отмечалось преобладание показателей скорости кровотока (BF), объема кровотока (BV), скорости возрастания плотности контрастного вещества (KB) в ткани (MSI), проницаемости стенки капилляров (PS) и более низкие значения показателей среднего времени прохождения KB (MTT) и времени достижения максимальной плотности KB в ткани (TTP) в сравнении с мозговым слоем. На цветовых параметрических картах BF, BV, MSI кортикальный слой характеризовался интенсивным красным окрашиванием, мозговой — желто-зеленым, на карте TTP определялось зеленое и синее окрашивание слоев соответственно. У пациентов старческого возраста отмечено снижение показателей BF, BV с содружественным удлинением TTP в кортикальном слое без изменения окрашивания на цветовых параметрических картах. На графике «плотность-время» кинетическая кривая коркового слоя характеризовалась появлением пика через 10 секунд после наступления пикового значения в брюшной аорте с дальнейшим продолжением кривой в виде плато, кинетическая кривая мозгового слоя характеризовалась постепенным умеренным подъемом кривой с 15-й секунды после начала сканирования без формирования пиковых значений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ: ПКТ является информативной методикой числовой и качественной оценки перфузии в паренхиме почек.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: перфузионная компьютерная томография, почки, показатели перфузии в паренхиме почек в норме

* Для корреспонденции: Мальцева Марина Анатольевна, e-mail: maltsevarmarina.rg@gmail.com.

Для цитирования: Беликова М.Я., Мальцева М.А. Перфузионная компьютерная томография почек. Методика исследования. Показатели перфузии почек в норме: случай-контроль // *Лучевая диагностика и терапия*. 2024. Т. 15, № 3. С. 82–91, doi: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-3-82-91>.

PERFUSION COMPUTER TOMOGRAPHY OF THE KIDNEYS. RESEARCH TECHNIQUE. PERFUSION INDICATORS IN THE NORM: CASE-CONTROL

^{1,2}Maria Ya. Belikova¹, ¹Marina A. Maltseva^{2*}

¹The Hospital for Veterans of Wars, St. Petersburg, Russia

²N. P. Behтерева Institute of the Human Brain of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia

INTRODUCTION: Perfusion computed tomography (PCT) is a contrast research technique that allows one to assess blood flow in the cortical and medulla layers of the renal parenchyma at the level of the microcirculatory bed, the influence of additional renal vessels and stenoses of the renal arteries on hemodynamics in the renal parenchyma.

OBJECTIVE: To optimize the technique of perfusion computed tomography of the kidneys. Determine the most informative indicators of perfusion in the renal parenchyma in the norm. Assess the relationship between perfusion parameters and the number of renal vessels, the presence of renal artery stenosis.

MATERIALS AND METHODS: PCT was performed in 46 patients with no anamnestic and clinical laboratory data on kidney disease who were undergoing examination for other pathological conditions, including 35 patients aged from 20 to 90 years (average age — 63.1 years) without hemodynamically significant stenosis and 11 patients aged from 64 to 94 years (mean age 80.3 years) with renal artery stenosis of 50% or higher. Perfusion indices were calculated using maximum slope and deconvolution algorithms, kinetic curves were plotted on a time-density graph, and color parametric maps.

RESULTS: A quantitative assessment of perfusion parameters in the cortical and medulla of the kidneys, a qualitative analysis of the state of its parenchyma on color parametric maps, and the shapes of kinetic curves on the time-density graph were analyzed. Changes in perfusion parameters were established depending on the age, number and condition of the renal vessels.

DISCUSSION: In the renal cortical layer, there was a predominance of indicators of blood flow velocity (BF), blood flow volume (BV), the rate of increase in the density of the contrast agent (CM) in the tissue (MSI), capillary wall permeability (PS) and lower values of the average transit time of the contrast agent (MTT) and the time to reach the maximum contrast agent density in the tissue (TTP) in comparison with the medulla. On the color parametric maps BF, BV, MSI, the cortical layer was characterized by intense red coloring, the medulla — yellow-green, on the TTP map green and blue coloring of the layers was determined, respectively. In elderly patients, there was a decrease in BF, BV with a concomitant lengthening of TTP in the cortical layer without changes in coloring on color parametric maps. On the density-time graph, the kinetic curve of the cortical layer was characterized by the appearance of a peak 10 seconds after the onset of the peak value in the abdominal aorta with further continuation of the curve in the form of a plateau; the kinetic curve of the medulla was characterized by a gradual moderate rise in the curve from 15 seconds after the start of scanning without the formation of peaks values.

CONCLUSION: PCT is an informative method for quantitative and qualitative assessment of perfusion in the renal parenchyma.

KEYWORDS: perfusion computed tomography, kidneys, perfusion parameters in the renal parenchyma are normal

* For correspondence: Marina A. Maltseva, e-mail: maltsevamarina.rg@gmail.com.

For citation: Belikova M.Ya., Maltseva M.A. Perfusion computer tomography of the kidneys. Research technique. Perfusion indicators in the norm: case-control // *Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2024. Vol. 15, No. 3. P. 82–91, doi: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-3-82-91>.

Введение. Перфузионная компьютерная томография (ПКТ) — это контрастная методика исследования, позволяющая оценить кровоток в корковом и мозговом слоях почечной паренхимы на уровне микроциркуляторного русла, влияние добавочных почечных сосудов и стенозов почечных артерий на гемодинамику в паренхиме почек. В основе анализа и расчетов лежит изменение количества КВ в единицу времени в исследуемой зоне. С помощью специального пакета на рабочей станции методами максимального наклона кривой и деконволюции рассчитываются числовые значения показателей тканевой перфузии, строятся кинетические кривые на графике «время-плотность» и цветовые параметрические карты. В настоящее время существуют отдельные работы в отечественной и зарубежной литературе, посвященные оценке перфузии почек в диагностике онкологических заболеваний [1–5],

мочекаменной болезни [6, 7], отторжении алло-трансплантата [8], методика ПКТ у разных авторов имеет различия. Отдельных статей, посвященных перфузионным параметрам почек в норме, в доступной литературе нам не встретилось.

Цель. Оптимизировать методику ПКТ почек. Определить показатели перфузии в паренхиме почек в норме. Оценить взаимосвязь показателей перфузии с количеством почечных сосудов, наличием стенозов почечных артерий.

Материалы и методы. Одобрение этического комитета не требовалось. Информированное согласие получено от каждого пациента. ПКТ была выполнена 46 пациентам с отсутствием анамнестических и клинико-лабораторных данных о заболеваниях почек, проходивших обследование по поводу других патологических состояний, среди которых 35 пациентов в возрасте от 20 до 90 лет (средний возраст — 63,1 год) без

гемодинамически значимых стенозов и 11 пациентов в возрасте от 64 до 94 лет (средний возраст 80,3 года) со стенозами почечных артерий от 50% и выше. Исследования проведены на компьютерном томографе GE 64 Optima 660. Протокол включал нативное исследование, КТ-перфузию с болюсным внутривенным введением 50 мл йодсодержащего КВ и динамическим сканированием на уровне почек в течение 60 с. Постпроцессинговая обработка данных проведена на рабочей станции Advantage Workstation VS5 с использованием программного пакета CT Perfusion 4D Multi-Organ. Показатели перфузии рассчитывались с использованием алгоритмов максимального наклона и деконволюции, строились кинетические кривые на графике «время-плотность», цветовые параметрические карты.

Методика сканирования и постпроцессинговая обработка данных. Первым этапом выполнялось нативное сканирование, затем ПКТ почек и трехфазное постконтрастное сканирование органов брюшной полости, забрюшинного пространства и малого таза по стандартной программе. При проведении исследования пациент находился на столе в положении «лежа на спине» с поднятыми и заведенными за голову руками. Нативное сканирование выполнялось на неглубоком вдохе от мечевидного отростка до седалищных бугров. По полученным

дились серии динамических сканирований в течение 60 с. Параметры сканирования: толщина среза — 5 мм; интервал реконструкции — 5 мм; тип сканирования axial-S Full; скорость вращения трубки — 1,0 с; напряжение на трубке — 80 кВ, сила тока 220 мА; ширина зоны сканирования — 80 мм; матрица — 512×512, общее время сканирования — 60 с. На последнем этапе дополнительно вводилось 50 мл КВ и выполнялось стандартное трехфазное сканирование брюшной полости, забрюшинного пространства и малого таза.

Полученные изображения обрабатывались на рабочей станции Advantage Workstation VS5. Для параметрического анализа использовался программный пакет CT Perfusion 4D MultiOrgan.

По начальным изображениям в серии, не содержащим КВ, определялся базовый уровень плотности. Для расчета показателей перфузии в почках в качестве афферентного сосуда выбиралась брюшная аорта, на которую вручную выставлялся ROI (рис. 1, а) с автоматическим построением кинетических кривых на графике «плотность-время» (рис. 1, б). На основании базовой плотности и полученных значений плотности КВ в аорте программным обеспечением рассчитывались основные показатели перфузии в зоне интереса с построением цветовых параметрических карт (рис. 2) и кинетических кривых «плотность-время».

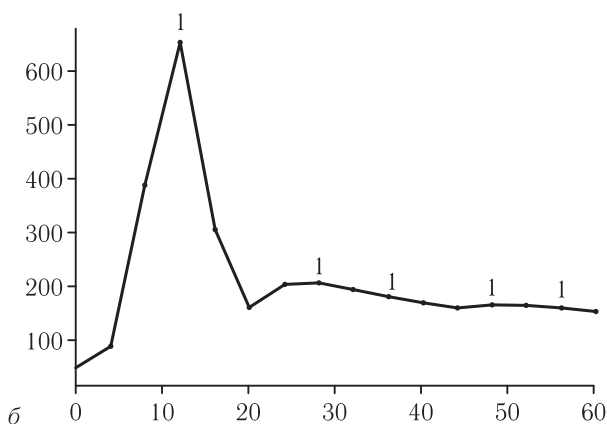


Рис. 1. а — Тестовый нативный скан для определения базовой плотности в аорте; б — график с кинетической кривой «плотность-время», отражающей изменения плотности КВ во времени в аорте

Fig. 1. а — Test native scan to determine the base density in the aorta; б — a graph with kinetic curve «density — time», reflecting changes in the density of the contrast agent over time in the aorta

изображениям выбиралась зона динамического сканирования для ПКТ. Ширина рамки сканирования составила 80 мм. Рамка позиционировалась таким образом, чтобы центр располагался на уровне ворот почек. Для уменьшения артефактов динамической нерезкости непосредственно перед ПКТ проводился инструктаж пациента о необходимости равномерного поверхностного дыхания, выполнялась фиксация передней брюшной стенки поясом шириной 40 см для ограничения дыхательных экскурсий.

После внутривенного болюсного введения 50 мл йодсодержащего КВ с концентрацией 350 мг/мл и скоростью 4,5 мл/с в обозначенной зоне интереса прово-

Анализировались следующие параметры перфузии: скорость кровотока (BF — blood flow, мл/100 г в минуту), объем кровотока (BV — blood volume, мл/100 г), среднее время прохождения КВ (MTT — mean transit time, с), время достижения максимальной плотности в ткани (TTP — time to peak, с), скорость возрастания плотности КВ в ткани (MSI — mean slope of increase, HU/с), показатель проницаемости стенки капилляров (PS — permeability surface-area product, мл/100 г в минуту). Для корректного сравнения показателей перфузии у разных пациентов измерения проводились на уровне почечных ворот в заднем сегменте.

Рассчитанные показатели перфузии выводились в виде таблицы числовых значений (рис. 2).

CT - Blood Flow
Средн. : 234.8
CT - Average
Средн. : 132.5
CT - Time To Peak
Средн. : 14.44
CT - Mean Slope of Increase
Средн. : 10.68
CT - Blood Volume
Средн. : 30.15
CT - Mean Transit Time
Средн. : 8.354
CT - TMax
Средн. : 4.864
CT - PS
Средн. : 102.8

Рис. 2. Сводная таблица числовых значений показателей перфузии в точке интереса

Fig. 2. Summary table of numerical values of the perfusion index at the point of interest

Результаты. Значения показателей перфузии почек в норме. Все исследуемые пациенты были разделены на возрастные группы, согласно классификации ВОЗ от 2016 г.: молодой возраст — 18–44 лет, средний возраст — 45–59 лет, пожилой возраст — 60–74 года, старческий возраст — 75–90 лет. Пациентов из группы долгожителей без стенозов почечных артерий в подборке не оказалось. Пациенты с гемодинамически значимыми стенозами почечных артерий были преимущественно старческого возраста.

На основании статистического анализа были рассчитаны средние значения и стандартные отклонения параметров перфузии для кортикального и мозгового слоев почек во всей выборке пациентов (табл. 1) и для каждой возрастной группы в отдельности (табл. 2).

Из табл. 1 и 2 следует, что в норме почки характеризуются преобладанием в два и более раз показателей BF, BV и MSI, высоким значением показателя PS в кортикальном слое, в сравнении с мозговым, что свидетельствует об интенсивном кровотоке. При этом в мозговом слое были несколько более высокие значения MTT и в два раза длиннее показатели TTP в сравнении с аналогичными показателями в кортикальном слое. Кроме того, отмечались различия показателей перфузии BF, BV и TTP в кортикальном слое почек, статистически значимые ($p=0,000$) при сравнении групп молодого и старческого возраста, в виде снижения значений скорости и объема кровотока и нарастания времени достижения максимальной плотности в ткани в соответствии с увеличением возраста.

Также были проанализированы показатели перфузии у пациентов с наличием добавочных почечных сосудов (табл. 3), проведено их сравнение с контралатеральной стороной, где отсутствовали данные изменения. Одностороннее наличие добавочных почечных артерий имело место у 10 пациентов, вен — у 6, в том числе и с ретроаортальным расположением вен.

При сравнении показателей перфузии почек, кровоснабжающихся несколькими почечными артериями с контралатеральными почками, имеющими одну питающую артерию, было выявлено статистически значимое различие показателей MTT в кортикальном и BV в мозговом слоях почек с добавочными артериями ($p=0,004$ и $p=0,028$ соответственно) в виде их более низких значений.

При аналогичном сравнении значений показателей перфузии почек с несколькими венами с контралатеральными почками, имеющими по одной почечной вене, было выявлено статистически значимое различие показателей MTT и PS в кортикальном слое почек с добавочными почечными венами ($p=0,026$ и $p=0,009$ соответственно), в виде более высоких значений MTT и более низких значений PS. Остальные показатели перфузии статистически значимых различий не имели.

Дополнительно был проведен анализ показателей перфузии 11 пациентов, имеющих стенозы почечных артерий от 50% и выше (табл. 4), и их сравнение с группой пациентов, не имеющих сужения артерий почек.

У пациентов со стенозами почечных артерий наблюдались статистически значимые различия в виде более низких значений BF и BV в кортикальном слое ($p=0,009$ и $p=0,000$ соответственно). Остальные показатели перфузии статистически значимых различий не имели.

При визуальной оценке цветовых параметрических карт BF (рис. 3, а) и BV, MSI (рис. 3, в) кортикальный слой характеризовался интенсивным красным окрашиванием, мозговой — желто-зеленым, на карте TTP (рис. 3, б) определялось зеленое и синее окрашивание слоев соответственно.

У пациентов пожилого и старческого возраста значения показателей перфузии кортикального слоя BF, BV оказались ниже, а TTP выше, в сравнении с пациентами других возрастных групп, однако это не отразилось на окрашивании цветовых параметрических карт, поскольку показатели не выходили за пределы соответствующих цветовых диапазонов. Остальные показатели соответствовали нормальным значениям.

На цветовых параметрических картах изменения в окрашивании почек с дополнительными сосудами не отмечалось, поскольку числовые показатели не выходили из диапазона соответствующего окрашивания.

При наличии стеноза почечных артерий более чувствительной к данным изменениям оказалась цветовая

Таблица 1

Показатели перфузии в кортикальном и мозговом слоях почек в норме

Table 1

Perfusion parameters in the cortical and medulla layers of the kidneys are normal

Показатель	Среднее значение	Медиана	Минимум	Максимум	Квартиль		Коэффициент асимметрии	Коэффициент эксцесса	Среднее значение	Медиана	Минимум	Максимум	Квартиль		Коэффициент асимметрии	Коэффициент эксцесса
					Нижний	Верхний							Нижний	Верхний		
Кортикальный слой																
BF	222,63	203,75	118,60	380,80	167,00	277,52	0,45	-0,84	78,50	75,42	30,80	143,10	61,74	93,49	0,40	-0,21
BV	26,85	27,24	12,36	43,91	21,52	32,04	-0,10	-0,34	12,28	11,92	2,92	28,31	8,78	14,49	0,77	0,87
MTT	8,96	8,78	3,83	17,90	6,95	10,56	0,81	1,20	11,35	11,43	2,00	19,15	7,44	14,78	-0,30	-0,85
TTP	19,80	19,72	12,21	30,71	17,23	22,11	0,30	-0,02	45,62	48,87	21,20	62,43	34,19	57,64	-0,42	-1,21
MSI	7,93	7,39	2,17	15,59	6,00	9,50	0,64	0,32	2,17	2,01	0,89	4,80	1,65	2,47	1,43	2,18
PS	72,77	78,96	13,76	130,90	53,38	93,62	-0,33	-0,69	47,48	46,96	22,75	115,30	33,88	55,21	1,29	3,62
Мозговой слой																

Таблица 2

Показатели перфузии в кортикальном и мозговом слоях почки в норме у пациентов различных возрастных групп

Table 2

Perfusion parameters in the cortical and medulla layers of the kidney are normal in patients of different age groups

Показатель	Среднее значение	Медиана	Минимум	Максимум	Квартиль		Коэффициент асимметрии	Коэффициент эксцесса	Среднее значение	Медиана	Минимум	Максимум	Квартиль		Коэффициент асимметрии	Коэффициент эксцесса
					Нижний	Верхний							Нижний	Верхний		
1		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
18–44 лет (n=6)																
Кортикальный слой																
BF	306,87	297,05	241,80	380,80	270,75	354,02	0,42	-1,07	84,19	78,84	64,83	113,32	66,66	108,21	0,53	-1,56
BV	32,25	32,47	26,20	40,47	28,39	35,50	0,40	-0,79	12,98	11,25	6,64	21,93	9,92	17,65	0,91	-0,35
MTT	7,70	7,58	4,58	11,01	6,07	9,35	0,17	-0,77	11,27	11,85	5,42	18,58	7,74	14,13	0,16	-0,66
TTP	16,87	14,77	12,21	27,84	14,23	20,39	1,43	1,20	44,89	43,02	26,33	60,50	34,78	58,20	0,11	-1,48
MSI	9,25	9,45	3,97	12,24	7,68	12,0	-0,86	-0,09	2,16	1,72	0,89	4,66	1,26	2,70	1,15	0,45
PS	84,92	87,63	42,64	116,0	60,91	108,4	-0,51	-0,87	42,20	45,68	25,20	57,06	30,98	51,04	-0,29	-1,59
45–59 лет (n=5)																
Мозговой слой																
BF	253,06	241,70	156,10	338,0	199,75	321,95	0,00	-1,83	94,32	96,61	53,63	139,40	67,62	112,85	0,04	-0,73
BV	31,41	31,22	25,14	43,91	26,45	33,627	1,19	1,51	14,71	13,23	8,56	28,31	10,12	16,61	1,47	1,43
MTT	8,53	8,96	5,01	12,47	6,39	10,19	0,075	-0,53	9,79	9,68	2,00	17,32	5,59	14,80	-0,16	-1,19
TTP	17,93	18,39	13,63	22,82	14,77	20,17	0,01	-0,79	46,43	53,14	26,05	60,60	33,72	56,07	-0,51	-1,58
MSI	9,19	7,23	5,87	15,59	6,01	13,04	0,834	-1,05	2,25	2,27	1,42	3,17	1,91	2,57	0,21	0,22

Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
PS	55,84	65,45	13,76	107,20	19,59	84,30	0,01	-1,68	41,30	45,28	22,75	66,51	26,30	50,30	0,20	-0,74
60–74 лет (n=15)																
Кортикальный слой																
BF	192,02	175,55	118,60	334,00	144,55	248,52	0,91	-0,09	75,40	71,21	38,98	143,10	53,95	91,52	0,70	0,32
BV	26,97	28,71	14,54	36,35	20,80	31,97	-0,59	-0,86	12,42	12,28	4,49	19,72	10,88	15,03	-0,20	-0,12
MTT	10,20	9,83	5,03	17,90	8,12	12,10	0,80	0,63	12,09	11,95	3,78	19,15	9,98	15,36	-0,35	-0,57
TTP	19,81	19,58	13,69	30,71	18,14	20,99	1,21	3,59	43,85	44,59	21,20	62,43	28,49	58,72	-0,25	-1,41
MSI	7,25	7,25	4,34	10,06	6,01	8,78	-0,06	-0,90	2,15	2,03	1,00	4,79	1,64	2,47	1,33	2,70
PS	65,98	68,47	19,96	130,90	43,80	87,51	0,16	-0,16	47,48	47,12	22,99	76,43	33,56	60,27	0,11	-0,96
75–90 лет (n=9)																
Мозговой слой																
BF	198,18	181,95	141,50	291,20	167,20	217,75	1,05	-0,06	67,39	70,01	30,80	111,90	50,79	82,24	-0,07	-0,08
BV	22,44	23,25	12,36	32,41	19,85	25,88	-0,45	0,21	11,35	10,01	2,92	24,82	7,44	14,63	0,72	0,21
MTT	8,50	8,42	5,26	13,15	6,74	10,21	0,33	-0,40	11,30	10,81	2,38	17,74	7,47	15,74	-0,29	-1,00
TTP	21,89	22,42	15,18	26,45	19,29	24,44	-0,41	-0,33	49,03	50,91	28,12	58,50	46,40	56,70	-1,18	0,26
MSI	8,17	7,46	4,09	13,80	6,23	9,93	0,59	-0,21	2,26	2,00	1,28	4,80	1,69	2,42	1,88	2,87
PS	90,05	92,81	41,96	128,50	80,87	105,00	-0,63	0,16	55,74	49,53	28,72	115,30	42,88	62,42	1,83	3,39

Таблица 3

Показатели перфузии в кортикальном и мозговом слоях почек, имеющих дополнительные артерии

Table 3

Perfusion parameters in the cortex and medulla of kidneys containing accessory arteries																
Показатель	Среднее значение	Медиана	Минимум	Максимум	Квартиль		Коэффициент асимметрии	Коэффициент эксцесса	Среднее значение	Медиана	Минимум	Максимум	Квартиль		Коэффициент асимметрии	Коэффициент эксцесса
					Нижний	Верхний							Нижний	Верхний		
Кортикальный слой																
BF sxcBV MTT TTP	247,79	237,10	162,20	380,80	186,20	301,90	0,55	-0,88	82,53	76,70	52,08	139,40	58,8	102,62	0,88	0,10
	22,12	22,78	12,36	32,40	15,93	27,17	-0,00	-1,20	11,20	11,01	4,49	23,80	7,33	13,42	1,29	2,75
	6,83	6,53	4,58	10,19	5,55	7,70	1,00	0,64	11,29	11,21	5,86	17,29	7,87	14,08	-0,05	-0,70
	19,17	18,95	12,75	23,51	17,93	21,64	-0,80	1,56	37,55	38,06	24,36	55,56	26,36	49,33	0,34	-1,34
MSI	6,42	6,29	4,09	9,34	5,03	7,52	0,20	-0,32	2,07	1,82	1,00	3,40	1,62	2,79	0,69	-0,42
PS	84,32	92,76	13,76	128,50	70,42	103,50	-1,14	1,83	43,37	43,47	22,75	72,17	29,47	53,00	0,52	-0,46

Показатели перфузии в кортикальном и мозговом слоях почек, имеющих дополнительные вены

Perfusion parameters in the cortex and medulla of kidneys containing accessory veins

Показатель	Среднее значение	Медиана	Минимум	Максимум	Квартиль		Коэффициент асимметрии	Коэффициент эксцесса	Среднее значение	Медиана	Минимум	Максимум	Квартиль		Коэффициент асимметрии	Коэффициент эксцесса
					Нижний	Верхний							Нижний	Верхний		
BF 287BV MTT TTTP MMSI PS	175,28	203,75	118,60	380,80	167,00	277,52	0,47	-0,84	75,65	75,42	30,80	143,10	61,74	93,49	0,40	-0,21
	31,44	27,24	12,36	43,91	21,52	32,04	-0,10	-0,34	9,21	11,92	2,92	28,31	8,78	14,49	0,77	0,87
	12,13	8,78	3,83	17,90	6,95	10,56	0,81	1,20	9,51	11,43	2,00	19,15	7,44	14,78	-0,30	-0,85
	23,04	19,72	12,21	30,71	17,23	22,11	0,30	-0,02	53,05	48,87	21,20	62,43	34,19	57,64	-0,42	-1,21
	9,13	7,39	2,17	15,59	6,00	9,50	0,64	0,32	2,06	2,01	0,89	4,80	1,65	2,47	1,43	2,18
	68,00	78,95	13,76	130,90	53,38	93,62	-0,33	-0,70	57,32	46,95	22,75	115,30	33,88	55,21	1,29	3,62
Кортикальный слой																
Мозговой слой																

Показатели перфузии в кортикальном и мозговом слоях почек с гемодинамически значимыми стенозами почечных артерий

Perfusion parameters in the cortical and medullary layers of kidneys with hemodynamically significant stenosis of the renal arteries

Показатель	Среднее значение	Медиана	Минимум	Максимум	Квартиль		Коэффициент асимметрии	Коэффициент эксцесса
					Нижний	Верхний		
Кортикальный слой	176,47	174,90	104,10	270,30	133,70	203,52	0,65	-0,24
	21,24	21,55	13,68	28,75	15,90	25,58	-0,05	-1,27
	8,92	9,04	2,65	17,11	6,21	10,81	0,44	0,41
	21,67	21,55	14,94	30,46	17,74	25,42	0,24	-1,05
	7,48	8,05	3,84	11,38	5,00	8,83	-0,12	-0,74
Мозговой слой	66,94	69,90	13,18	137,20	34,89	83,66	0,26	-0,20

параметрическая карта MSI, на которой отмечалось появление участков желтого цвета на фоне красного окрашивания участков желтого цвета на фоне красного окрашивания кортикального слоя, а также синее окрашивание мозгового слоя (рис. 4, а).

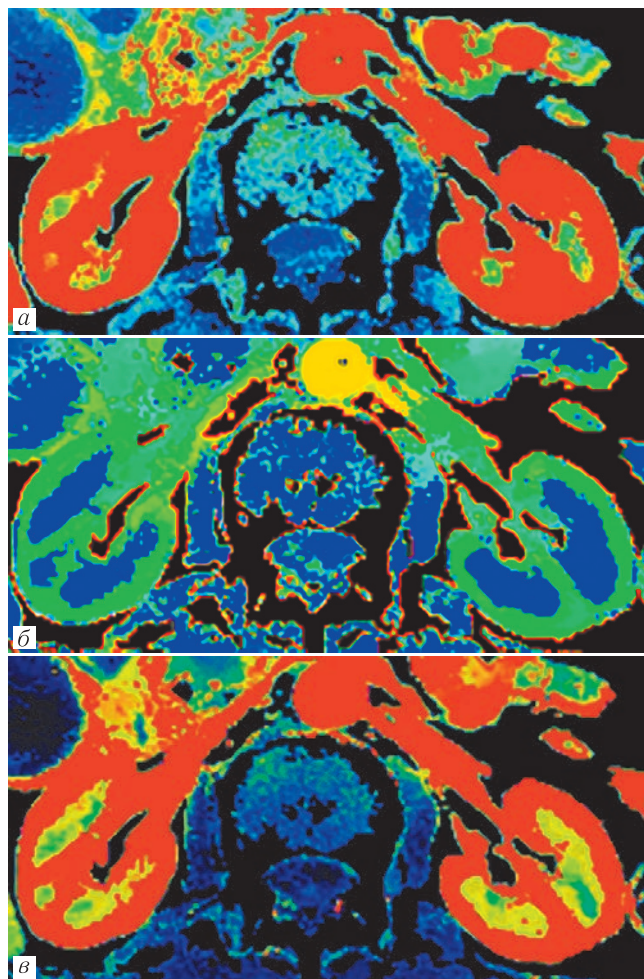


Рис. 3. Перфузионная компьютерная томография почек в норме. Цветовые параметрические карты: а — BF; б — ТТР; в — MSI

Fig. 3. Normal perfusion computed tomography of the kidneys. Color parametric maps: а — BF; б — ТТР; в — MSI

Кинетические кривые на графике «время-плотность» в кортикальном и мозговом слоях почек в норме имели различную форму. Кортикальный слой характеризовался появлением пика через 10 секунд после наступления пикового значения в брюшной аорте и дальнейшим продолжением кривой в виде плато, в мозговом слое с 15-й секунды после начала сканирования отмечался постепенный умеренный подъем кривой, без формирования пиковых значений (рис. 5).

Обсуждение. В норме почки характеризовались преобладанием показателей BF, BV, MSI, PS в кортикальном слое, МТТ и ТТР в мозговом слое. В соответствии с увеличением возраста отмечались различия показателей перфузии в кортикальном слое в виде постепенного снижения BF, BV и нарастания ТТР, что свидетельствует о снижении интенсивности кровотока. На цветовых параметрических картах BF, BV, MSI

кортикальный слой имел интенсивное красное окрашивание, мозговой — желто-зеленое, на карте ТТР определялось зеленое и синее окрашивание слоев соответственно. В почках, имеющих добавочные

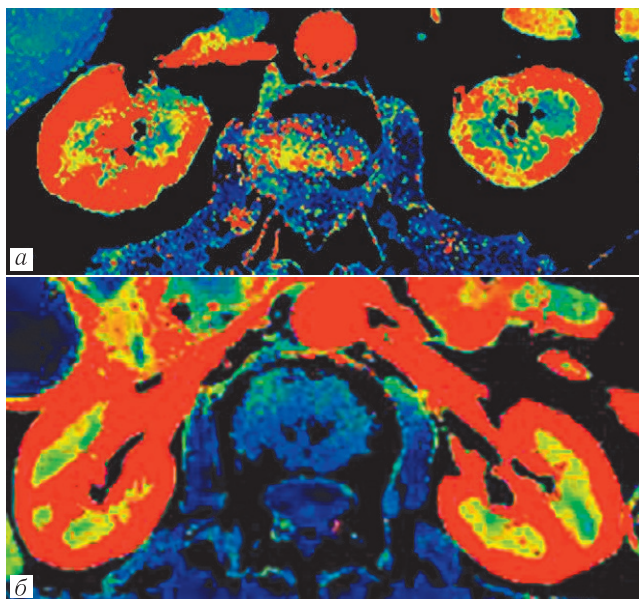


Рис. 4. Цветовая параметрическая карта MSI: а — стеноз левой почечной артерии на 75%, правой почечной артерии на 50%. Включения желтого цвета на фоне красного окрашивания кортикального слоя левой почки, синее окрашивание мозгового слоя обеих почек; б — перфузионная компьютерная томография почек в норме

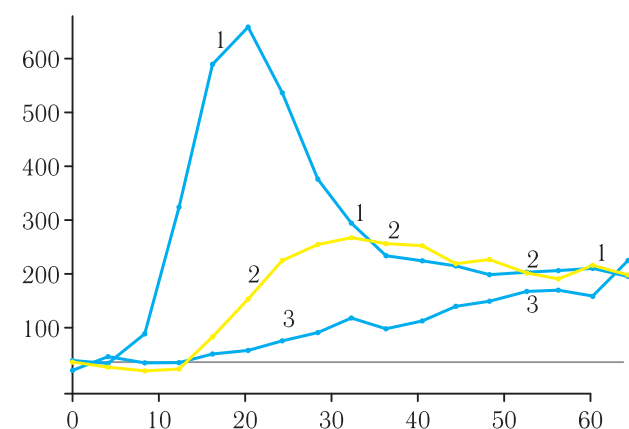


Рис. 5. График «время-плотность» отражающий изменение плотности КВ во времени в зоне интереса (кривая 2 соответствует установленной метке ROI на кортикальный слой почки, кривая 3 — на мозговой слой почки) относительно кровотока в аорте (кривая 1)

Fig. 5. Graph «density — time», reflecting the change in the density of the contrast agent over time in the area of interest (curve 2 corresponds to the established ROI mark on the cortical layer of the kidney, curve 3 — on the medulla of the kidney) relative to the blood flow in the aorta (curve 1)

почечные артерии и вены, удалось зафиксировать статистически значимые изменения показателей перфузии, в сравнении с контралатеральными почками, не имеющими дополнительных сосудов, что может говорить о влиянии вариантов кровоснабжения на микроциркуляторное русло. При наличии нескольких почечных артерий отмечались более низкие значения МТТ в кортикальном слое и BV в мозговом слое. В случаях наличия добавочных почечных вен в кортикальном слое отмечалось преобладание показателей МТТ и более низкие значения PS. При этом изменений окрашивания на цветовых параметрических картах не выявлено, что объясняется сохранением показателей в пределах соответствующих цветовых диапазонов. При стенозах почечных артерий статистически значимые изменения показателей BF и BV в кортикальном

слое отражались на цветовых параметрических картах BF, MSI в виде появления участков желтого окрашивания в кортикальном слое, синего — в мозговом, что наглядно демонстрировало влияние стеноза на кровоток почки.

Заключение. Перфузионная компьютерная томография — это перспективно развивающаяся методика исследования, позволяющая без инвазивных вмешательств оценить функциональное состояние паренхимы почек, влияние на кровоток добавочных сосудов и гемодинамически значимых стенозов почечных артерий. В клинической практике знание нормальных перфузионных параметров почек при ПКТ может стать важной составляющей для дифференциальной диагностики воспалительных, ишемических, онкологических заболеваний почек.

Сведения об авторах:

Беликова Мария Яковлевна — доктор медицинских наук, врач-рентгенолог, заведующая отделением компьютерной томографии Санкт-Петербургского государственного бюджетного учреждения здравоохранения «Госпиталь для ветеранов войн»; 193079, Санкт-Петербург, Народная ул. 21, к. 2; профессор отдела учебно-методической работы федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт мозга человека имени Н. П. Бехтерева» Российской академии наук; 197376, Санкт-Петербург, ул. Академика Павлова, д. 9; e-mail: belikova.mariya@mail.ru; ORCID 0000-0002-6768-7711; SPIN-код 1707-489;

Мальцева Марина Анатольевна — врач-рентгенолог отделения компьютерной томографии Санкт-Петербургского государственного бюджетного учреждения здравоохранения «Госпиталь для ветеранов войн»; 193079, Санкт-Петербург, Народная ул. 21, к. 2; e-mail: maltsevarina.rg@gmail.com; ORCID 0000-0001-5471-1607.

Information about authors:

Mariya Ya. Belikova — Dr. of Sci. (Med.), radiologist, head of the department of computed tomography of the St. Petersburg State Budgetary Health Institution «Hospital for War Veterans»; 193079, St. Petersburg, Narodnaya st. 21, k. 2; Professor of the Department of Educational and Methodological Work of the Federal State Budgetary Institution of Science «N. P. Bekhtereva Institute of the Human Brain» of the Russian Academy of Sciences; 197376, St. Petersburg, Akademika Pavlova str., 9; e-mail: belikova.mariya@mail.ru; ORCID 0000-0002-6768-7711; SPIN code 1707-489;

Marina A. Maltseva — Radiologist at the Computed Tomography Department of the St. Petersburg State Budgetary Institution of Healthcare «Hospital for War Veterans»; 193079, St. Petersburg, Narodnaya st. 21, k. 2; e-mail: maltsevarina.rg@gmail.com; ORCID 0000-0001-5471-1607.

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства, согласно международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределен следующим образом: концепция и план исследования — *М. Я. Беликова, М. А. Мальцева*; сбор и математический анализ данных — *М. А. Мальцева*; подготовка рукописи — *М. А. Мальцева, М. Я. Беликова*.

Authors' contributions. All authors met the ICMJE authorship criteria. Special contribution: *MYaB, MAM* aided in the concept and plan of the study; *MAM* provided collection and mathematical analysis of data; *MAM, MYaB* preparation of the manuscript.

Потенциальный конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Disclosure. The authors declare that they have no competing interests.

Соответствие принципам этики. Одобрения этического комитета не требовалось. Информированное согласие получено от каждого пациента.

Adherence to ethical standards. The approval of the ethics committee was not required. Informed consent is obtained from each of the patient.

Поступила/Received: 27.05.2023

Принята к печати/Accepted: 29.05.2024

Опубликована/Published: 29.09.2024

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Рубцова Н.А., Гольбиц А.Б., Крянева Е.В., Кабанов Д.О., Алексеев Б.Я., Каприн А.Д. Роль КТ-перфузии в диагностике солидных опухолей почек // *Лучевая диагностика и терапия*. 2021. Т. 12, № 2. С. 70–78. [Rubtsova N.A., Golbitz A.B., Kryaneva E.V., Kabanov D.O., Alekseev B.Y., Kaprin A.D. The role of ct-perfusion for diagnostic of solid renal tumors. *Diagnostic radiology and radiotherapy*, 2021, Vol. 12, No. 2, pp. 70–78 (In Russ.)]. <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2021-12-2-70-78>.
2. Deniffel D., Boutelier T., Labani A., Ohana M., Pfeiffer D., Roy C. Computed Tomography Perfusion Measurements in Renal Lesions Obtained by Bayesian Estimation, Advanced Singular-Value Decomposition Deconvolution, Maximum Slope, and Patlak Models: Intermodel Agreement and Diagnostic Accuracy of Tumor Classification // *Investigative Radiology*. 2018. Vol. 53, No. 8. P. 477–485. doi: 10.1097/RLI.0000000000000477.

3. García-Figueiras R., Goh V.J., Padhani A.R., Baleato-González S., Garrido M., León L., Gómez-Caamaño A. CT perfusion in oncologic imaging: a useful tool? // *AJR Am. J. Roentgenol.* 2013. Vol. 200, No. 1. P. 8–9. doi: 10.2214/AJR.11.8476.
4. Chen Y., Zhang J., Dai J., Feng X., Lu H., Zhou C. Angiogenesis of renal cell carcinoma: perfusion CT findings // *Abdom. Imaging.* 2010. Vol. 35. P. 622–628. <https://doi.org/10.1007/s00261-009-9565-0>.
5. Fan A.C., Sundaram V., Kino A., Schmiedeskamp H., Metzner T.J., Kamaya A. Early Changes in CT Perfusion Parameters: Primary Renal Carcinoma Versus Metastases After Treatment with Targeted Therapy // *Cancers (Basel).* 2019. Vol. 11, No. 5. P. 608. doi: 10.3390/cancers11050608.
6. 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. Т. 9, № 1. С. 108–117. [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, Vol. 9, No. 1, pp. 108–117. (In Russ.)]. doi: 10.21569/2222-7415-2019-9-1-108-117.
7. Cai X.R., Zhou Q.C., Yu J., Feng Y.Z., Xian Z.H., Yang W.C., Mo X.K. Assessment of renal function in patients with unilateral ureteral obstruction using whole-organ perfusion imaging with 320-detector row computed tomography // *PLoS One.* 2015. Vol. 10, No. 4. P. 9–15. doi: 10.1371/journal.pone.0122454.
8. Helck A., Wessely M., Notohamiprodjo M., Schönermarck U., Klotz E., Fischereder M., Schön F., Nikolaou K., Clevert D.A., Reiser M., Becker C. CT perfusion technique for assessment of early kidney allograft dysfunction: preliminary results // *Eur. Radiol.* 2013. Vol. 23, No. 9. P. 2475–2481. doi: 10.1007/s00330-013-2862-6.

Уважаемые коллеги!



Библиотека журнала «Лучевая диагностика и терапия» пополнилась руководством для врачей, которое предназначено для подготовки врачей — лучевых диагностов и врачей-клиницистов по вопросам современных подходов к получению и анализу лучевых изображений, в соответствии с критериями, принятыми в международной клинической практике, а также требованиями, предъявляемыми к формированию структурированных отчетов. Такой подход обеспечивает повышение качества выполняемых исследований, интерпретации изображений и достоверности заключений, а также способствует улучшению междисциплинарной коммуникации.

Настоящее издание является логическим продолжением руководств для врачей «Современные стандарты анализа лучевых изображений» (2017), «Современные классификации RADS и принципы построения заключения» (2018), «Современные стандарты анализа лучевых изображений и принципы построения заключения» (2019), «Современные стандарты анализа лучевых изображений и алгоритмы построения заключения» (2020, 2021, 2022, 2023). При его подготовке были использованы материалы, обсуждавшиеся на одноименной Международной ежегодной телеконференции 15 декабря 2023 г. (Санкт-Петербург).

Руководство для врачей «Современные стандарты анализа лучевых изображений и принципы построения заключения. Том VIII» может использоваться для подготовки в системе последипломного и дополнительного профессионального образования, а также в системе ОМС и ДМС для контроля качества оказываемой медицинской помощи.

Приобрести книгу можно

по тел.: +7 (812) 956-92-55 и на сайте издательства <https://www.bmoc-spb.ru>.