

<https://doi.org/10.29188/2222-8543-2025-18-4-72-81>

Разработка метода оценки раздельной функции почек при КТ на основании линейных размеров

КЛИНИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

А.И. Громов^{1,2}, Я.С. Доморовская¹, А.В. Сивков¹, М.Ю. Просянников¹, Д.А. Войтко¹, В.Р. Позойская¹, А.Д. Каприн^{3,4,5}, Б.Я. Алексеев³, О.И. Аполихин¹

¹ Научно-исследовательский институт урологии и интервенционной радиологии им. Н.А. Лопаткина – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России; Москва, Россия

² Российский университет медицины Минздрава России; Москва, Россия

³ НМИЦ радиологии Минздрава России; Москва, Россия

⁴ Московский научно-исследовательский институт онкологии им. П. А. Герцена – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России; Москва, Россия

⁵ Российский университет дружбы народов Минобрнауки России; Москва, Россия

Контакт: Доморовская Яна Сергеевна, yana.domorovskaya@mail.ru

Аннотация:

Введение. Оценка раздельной функции почек является важной диагностической характеристикой при планировании операций по пересадке почки или значимых хирургических вмешательствах. Современные методы позволяют получать такие данные с помощью дополнительных исследований, в частности при нефросцинтиграфии, что несет за собой дополнительную финансовую нагрузку и увеличение времени предоперационной подготовки. Разработанные методы оценки раздельной функции почек за счет их автоматической сегментации при компьютерной томографии (КТ) требуют наличия специализированных рабочих станций.

Цель исследования: разработка метода оценки раздельной функции почек при стандартном КТ-исследовании с контрастированием на основе нового способа определения объема паренхимы почки по отдельным линейным размерам и ее денситометрическим показателям, полученным при ручном измерении.

Материалы и методы. Ретроспективно проанализированы результаты 120 КТ-исследований органов брюшной полости и забрюшинного пространства с контрастированием. С целью получения данных об «истинном» объеме почек и средних значений их плотности в ед. Ханусфилда производилась сегментация почек в нефрографическую фазу контрастирования на рабочей станции с помощью программы Vitrea Advanced Visualization. Для дальнейшей разработки рационального подхода к определению методики оценки объема почек на основании ручных измерений выбраны и измерены наиболее используемые в практической работе три линейных размера почек и три значения толщины паренхимы. На основании полученных данных проведен регрессионный анализ с различными комбинациями ее линейных размеров. Для оценки оптимального метода определения денситометрических показателей паренхимы почек проводились их измерения круглым ROI (англ. region of interest – «область интереса») на аксиальных срезах в трех отделах почки. Полученные усредненные значения сравнивались с показателями, полученными при обведении паренхимы почки во фронтальном срезе. На основе расчетных данных объема почки и денситометрических показателей паренхимы почек производился расчет раздельного вклада почек в их общую функцию. Результаты расчетов сравнивались с аналогичными данными, полученными при сегментации почек в нефрографическую фазу контрастирования на рабочей станции при их автоматической сегментации.

Результаты. С помощью регрессионного анализа были получены формулы расчета объема паренхимы на основе учета различных комбинаций ее линейных размеров. Наибольшая точность закономерно оказалась у формулы, учитывающей все шесть размеров почек: $V=1/1000(0,92xyT-0,07yz^3+0,07yz^2+0,19z^2T)$. В результате сравнения двух методов оценки средних значений денситометрических показателей паренхимы почек – с помощью измерения круглыми ROI и с помощью ручного обведения – был выбран метод измерения круглыми ROI, показавший наибольшую корреляцию и ковариацию с аналогичными данными, полученными при автоматической сегментации почек (значение коэффициента корреляции составило 0,988 ($p<0,001$); коэффициент ковариации – 0,76 ($p<0,001$)).

Итоговый анализ раздельного вклада каждой из почек в их общую функцию на основе разработанной формулы ручного расчета объема паренхимы и учета денситометрических характеристик, основанных на трех измерениях паренхимы круглыми ROI, продемонстрировал высокую положительную корреляцию с результатами расчета раздельного вклада каждой из почек, полученных при автоматической сегментации на рабочей станции (коэффициент корреляции – 0,91 ($p<0,001$); коэффициент ковариации – 0,86 ($p<0,001$)).

Выводы. Разработанные методы ручного определения объема почечной паренхимы и оценки плотностных характеристик паренхимы почек круглыми ROI показали очень высокую корреляцию с аналогичными данными, полученными при автоматической сегментации почек. Данные способы удобны в практической работе, не требуют наличия специальных программных средств. Применение разработанных методов в совокупности позволит во многих случаях избежать необходимости дополнительного выполнения нефросцинтиграфии, уменьшив время на подготовку больного к лечению.

Ключевые слова: компьютерная томография; функция почки; раздельная функция почек; объем паренхимы почек.

Для цитирования: Громов А.И., Доморовская Я.С., Сивков А.В., Просянников М.Ю., Войтко Д.А., Позойская В.Р., Каприн А.Д., Алексеев Б.Я., Аполихин О.И. Разработка метода оценки раздельной функции почек при КТ на основании линейных размеров. Экспериментальная и клиническая урология 2025;18(4):72-81; <https://doi.org/10.29188/2222-8543-2025-18-4-72-81>

<https://doi.org/10.29188/2222-8543-2025-18-4-72-81>

Development of a method for assessing split Renal function in CT without using specialized workstations for their segmentation

CLINICAL STUDY

A.I. Gromov^{1,2}, Ya.S. Domorovskaya¹, A.V. Sivkov¹, M.Yu. Prosyannikov¹, D.A. Voytko¹, V.R. Pozoyskaya¹, A.D. Kaprin^{3,4,5}, B.Ya. Alekseev³, O.I. Apolikhin¹

¹ N. Lopatkin Scientific Research Institute of Urology and Interventional Radiology – branch of the National Medical Research Radiological Centre of the Ministry of Health of the Russian Federation; Moscow, Russia

² Russian University of Medicine of the Ministry of Health of the Russian Federation; Moscow, Russia

³ National Medical Research Centre of Radiology of Ministry of health of Russian Federation; Moscow, Russia

⁴ P.A. Herzen Moscow Oncology Research Institute – branch of the National Medical Research Radiological Centre of the Ministry of Health of the Russian Federation; Moscow, Russia

⁵ RUDN University of the Ministry of Education and Science of Russia; Moscow, Russia

Contacts: Yana S. Domorovskaya, yana.domorovskaya@mail.ru

Summary:

Introduction. Assessment of separate renal function is an important diagnostic characteristic when planning kidney transplant operations or significant surgical interventions. Modern methods make it possible to obtain such data with the help of additional studies, in particular with nephroscintigraphy, which carries with it an additional financial burden and an increase in preoperative preparation time. The developed methods for assessing the separate function of the kidneys due to their automatic segmentation during CT require specialized workstations. **Purpose:** development of a method for assessing separate renal function in a standard CT scan with contrast based on a new method for determining the volume of the renal parenchyma by individual linear dimensions and its densitometric parameters obtained by manual measurement.

Materials and methods. The results of 120 CT scans of the abdominal cavity and retroperitoneal space with contrast have been retrospectively analyzed. In order to obtain data on the "true" volume of the kidneys and their average density values in Hounsfield units, the kidneys were segmented into the nephrographic phase of contrast on a workstation using the Vitrea Advanced Visualization program. To further develop a rational approach to determining the methodology for estimating kidney volume based on manual measurements, three linear kidney sizes and three parenchymal thicknesses most used in practical work were selected and measured. Based on the data obtained, a regression analysis was performed with various combinations of its linear dimensions. To evaluate the optimal method for determining the densitometric parameters of the renal parenchyma, they were measured with a circular ROI on axial sections in three kidney sections. The average values obtained were compared with those obtained by tracing the kidney parenchyma in the frontal section. Based on the calculated data of the kidney volume and densitometric parameters of the renal parenchyma, the separate contribution of the kidneys to their overall function was calculated. The calculation results were compared with similar data obtained during kidney segmentation in the nephrographic phase of contrast on the workstation during their automatic segmentation.

Results. Regression analysis was used to obtain formulas for calculating parenchymal volume based on various combinations of its linear dimensions. Naturally, the formula that takes into account all six kidney sizes proved to be the most accurate: $V=1/1000(0,92xyT-0,07y3+0,07yz2+0,19z2T)$. As a result of comparing two methods for estimating the average values of the densitometric parameters of the kidney parenchyma – using round ROI measurement and using manual circling – the round ROI measurement method was chosen, which showed the greatest correlation and covariance with similar data obtained with automatic kidney segmentation (the correlation coefficient was 0.988 ($p<0.001$); the covariance coefficient was 0.76 ($p<0.001$). The final analysis of the separate contribution of each kidney to their overall function based on the developed formula for manually calculating parenchymal volume and taking into account densitometric characteristics based on three measurements of parenchyma by round ROI demonstrated a high positive correlation with the results of calculating the separate contribution of each kidney obtained by automatic segmentation on a workstation. (correlation coefficient – 0.91 ($p<0.001$); covariance coefficient – 0.86 ($p<0.001$)).

Conclusions. The developed methods for manually determining the volume of the renal parenchyma and estimating the density characteristics of the renal parenchyma with round ROI showed a very high correlation with similar data obtained with automatic kidney segmentation. These methods are convenient in practical work and do not require special software tools. The combined use of the developed methods will in many cases avoid the need for additional nephroscintigraphy and reduce the time needed to prepare the patient for treatment.

Key words: computed tomography; renal function; split renal function; volume of renal parenchyma.

For citation: Gromov A.I., Domorovskaya Y.S., Sivkov A.V., Prosyannikov M.Yu., Voytko D.A., Pozoyskaya V.R., Kaprin A.D., Alekseev B.Ya., Apolikhin O.I. Development of a method for assessing split Renal function in CT without using specialized workstations for their segmentation. Experimental and Clinical Urology 2025;18(4):72-81; <https://doi.org/10.29188/2222-8543-2025-18-4-72-81>

ВВЕДЕНИЕ

Оценка функции почек является важной диагностической процедурой во многих разделах медицины. Для этого в практической работе применяются ме-

тоды, основанные на анализе уровня креатинина в крови и расчете скорости клубочковой фильтрации с помощью специальных формул [1–3]. В большинстве случаев такой подход удовлетворяет потребности врачей. ■

Однако в некоторых ситуациях, например, при планировании операций по пересадке почки или других хирургических вмешательств необходимо точно знать, насколько эффективно работает каждая из почек [4]. Для этого нужно определить вклад каждой почки в общую экскреторную функцию. На данный момент основным методом оценки раздельной функции почек по-прежнему является динамическая нефросцинтиграфия, которая также не лишена погрешностей, например, при определении глубины залегания почек при дистопии и нефроптозе одной или обеих почек [5, 6].

Для оптимизации получения столь важных диагностических данных проводились попытки их получения в ходе компьютерной томографии, которая, в большинстве случаев, уже проводится пациентам в диагностическом периоде. В процессе исследований ключевыми индикаторами, помогающими определить раздельный вклад почек, являются объем паренхимы почек и их денситометрические характеристики [7–23].

Объем паренхимы почки может быть уменьшен в результате различных заболеваний, таких как хроническая болезнь почек (ХБП), диабетическая нефропатия и гломерулонефрит. Уменьшение объема паренхимы почки может указывать на потерю ее функции и может быть использовано для оценки тяжести заболевания.

Самым известным и распространенным методом оценки объема является его расчет по формуле эллипсоида, представляющую собой произведение трех размеров умноженное на число Пи и деленное на 6 [7–12]. При этом в большинстве работ, в том числе в исследованиях K.Y. Kang и соавт., R.S. Rathore и соавт. и R. H. Breau и соавт., первыми двумя размерами являются ширина и передне-задний размер почечной паренхимы, измеренные на аксиальном срезе с наибольшей площадью поперечного сечения перпендикулярно друг другу [7–9]. Разнятся подходы к измерению третьего размера (длины почки) – расстояния от верхнего до нижнего полюса почки. Измерение производили во фронтальных или сагittalных реконструкциях.

В дальнейшем метод эллипсоида был модифицирован и представлен в работе S. Soga и соавт. [13]. При измерениях использовались 3-сантиметровые срезы в проекции максимальной интенсивности (MIP), ориентированные вдоль истинной длинной оси каждой почки.

Метод эллипсоида достаточно прост и удобен в рутинной работе, но еще в работе R.H. Breau и соавт., опубликованной в 2013 году, был сделан вывод, что в среднем метод эллипсоида переоценивает объемы почек в пределах 30% [9]. Очевидно, это происходит из-за невозможности при данном подходе исключить синус почки, который в некоторых случаях имеет значительный объем.

Попытку исключить объем синуса из общего объема почки предприняли R.S. Rathore и соавт. В своем исследовании они отметили, что при использовании метода эллипсоида почечная лоханка и сосудистая сеть были исключены из измерений площади, но в работе нет точных данных, как именно это производилось [8].

Другой подход применили S.N. Morrisroe и соавт. Они рассчитывали площадь паренхимы после ее ручного обведения на каждом срезе, полученному с помощью компьютерной томографии, а общий объем паренхимы почки определяли, как сумму площадей, умноженную на толщину среза [14]. Трудоемкость данного подхода не позволила внедрить его в рутинную практику.

Похожий, но несколько упрощенный, метод измерения объема почек предложили N. Rathi и соавт. Расчет объема паренхимы почки проводился на основе формулы эллипсоида. Использовались средние значения результатов двух измерений почки на аксиальном срезе, исключающие синус и двух измерений почки на корональном изображении, также с исключением синуса и одно измерение длины на корональном срезе. Данный метод продемонстрировал хорошую корреляцию с автоматической сегментацией и сцинтиграфией, однако точность таких расчетов ограничена самим методом эллипсоида. Почка имеет форму, заметно отличающуюся от данной геометрической фигуры [15].

M.T. Federi и соавт. и позднее S. Soga и соавт. в своих работах предложили метод расчета площади почечной паренхимы – произведение среднего арифметического измерений на верхнем и нижнем полюсах почки на длину почки [16, 13]. Необходимость проведения большого количества измерений определяет трудоемкость данного метода, при этом имеется большой риск ошибок в измерениях.

В настоящее время использование современных компьютерных технологий позволяет выполнять последовательный анализ данных мультиспиральной компьютерной томографии (МСКТ) почек с контрастированием и без и получить достоверные данные об анатомии и размерах органа, что в дальнейшем позволяет вычислить и проанализировать искомый объем паренхимы с помощью специальных программ.

В различных исследованиях использовали разные фазы контрастирования, например, M. K. Knox и соавт. проводили исследование с помощью МСКТ с использованием протокола трехполюсного введения контраста для одновременного определения артериальной, нефрографической и экскреторной фаз. Сегментация проводилась с помощью рабочей станции Voxar 3D Advanced [17]. Часть исследований с использованием сегментации почки была проведена в артериальную фазу, что сильно усложняет автоматическую сегментацию ввиду разности плотности коры и пирамид [18, 19].

Интересным, но довольно сложным является способ, представленный в работе Ю.Г. Аляева и соавт., основанный на получении данных о распределении контрастного препарата в артериальную и венозную фазы и получении интегральных вычислений с помощью программного обеспечения Amira [20].

В исследованиях A. Diez и соавт. и F. Kato и соавт. была проведена сегментация почки на основе нативной и паренхиматозной фазы с помощью программного обеспечения GE Medical Systems Company TM и FUJI-FILM соответственно [21, 22]. Данный метод сегментации также был использован нами в предыдущей работе, где сегментация проводилась в паренхиматозную фазу с помощью программного обеспечения Vitrea Advanced Visualization с получением данных об объеме и денситометрических показателях почечной паренхимы [23, 24].

Представленные методы волюметрии демонстрируют высокую точность, но главным их недостатком является использование отдельных коммерческих программных обеспечений, которые не всегда есть в распоряжении специалиста. Поэтому, безусловно, остается интерес к разработке наиболее точной, удобной в практическом использовании методики вычисления объема почечной паренхимы по линейным размерам при проведении стандартной компьютерной томографии (КТ) почек.

Использование полученных данных в совокупности с денситометрическими измерениями плотности паренхимы почек позволит оценить раздельный вклад почек в их общую функцию без использования дополнительных программных средств, что повысит доступность метода в рамках рутинной диагностики и предоперационной подготовки пациентов.

Цель исследования – разработка метода оценки раздельной функции почек при стандартном КТ-исследовании с контрастированием на основе нового способа определения объема паренхимы почки по отдельным линейным размерам и ее денситометрическим показателям, полученным при ручном измерении.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Ретроспективно проанализированы данные 120 пациентов, которым было выполнено КТ-исследование органов брюшной полости и забрюшинного пространства с контрастированием в период с 2023 по 2024 г. Среди обследованных были 69 мужчин и 51 женщина в возрасте от 3 до 83 (среднее арифметическое – 55,84 лет).

Критериями включения являлись наличие у пациента двух функционирующих почек, наличие данных инструментальных обследований: КТ почек с контрастированием.

Критериями невключения являлись: отсутствие артериальной фазы КТ исследования, наличие анато-

мически или функционально единственной почки, наличие подковообразной почки.

По данным КТ, ультразвукового исследования (УЗИ) органов малого таза и клинико-лабораторного обследования у больных были диагностированы: объемное образование почки – 59 случаев, гидронефроз – 24 случая, кисты почки – 18 случаев, конкременты почки – 10 случаев, образование мочеточника – 2 случая, образование мочевого пузыря – 2 случая, дистопия почки – 2 случая, врожденная гиперплазия почки – 2 случая, ангиомиолипома почки – 1 случай.

КТ проводилась в Научно-исследовательском институте урологии и интервенционной радиологии имени Н.А. Лопаткина – филиале ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России на томографах – Aquilion Prime SP (CANON MEDICAL SYSTEMS) – 53 исследования, и Canon Aquilion ONE (GENESIS Edition) – 45 исследований. Кроме того, в работу были включены исследования, произведенные на КТ-томографах в иных лечебных учреждениях – 22 исследования.

Протокол многофазных КТ исследований, проведенных в НИИ урологии, состоял из нативной, артериальной, нефрографической и отсроченной фаз со следующими параметрами: напряжение на трубке – 120 кВпик; скорость вращения 0,35 секунды; матрица, 512×512; максимальное количество срезов 160 (Aquilion Prime SP) и 640 (Canon Aquilion ONE); толщина среза 1 мм. Сначала была получена нативная серия изображений от верхней части диафрагмы до таза на вдохе. Затем контрастное вещество (350 мг Йоверскан или 370 мг Ультравист) вводили внутривенно со скоростью потока 4,0 мл/с в дозе 1,0 мл/кг. Сканирование артериальной фазы запускалось, когда плотность рентгенконтрастного вещества в брюшной аорте достигала 100 HU. Нефрографическую фазу регистрировали через 50 секунд после регистрации артериальной фазы.

Также некоторыми пациентами были предоставлены КТ-исследования из других лечебных учреждений с близкими по временным параметрам протоколами исследований.

Все исследования были обработаны в рабочей станции Vitrea с целью сегментации почек и получения данных об их объеме и средних значений плотности в ед. Хаунсуффилда. Для сегментации использовалась нефрографическая фаза контрастирования.

На аксиальном срезе с помощью инструмента «Organ» щелчками по паренхиме почки, начиная с одного из полюсов, где почка максимально отделена от всех тканей, и продвигаясь к противоположному полюсу, выделялась (сегментировалась) вся почка. При захвате соседних тканей (органов или сосудов) использовался инструмент «Edit», позволяющий посрезово убирать лишние области, не входящие в область паренхимы почки. После сегментации почек использовали функцию «Show Volume», при этом программа

самостоятельно подсчитывала и отображала объем (V) и среднюю плотность (HU) каждой почки (рис. 1). Полученный объем считали «истинным» объемом функциональной паренхимы почки, в который не включался объем ее синуса и объем патологических образований.

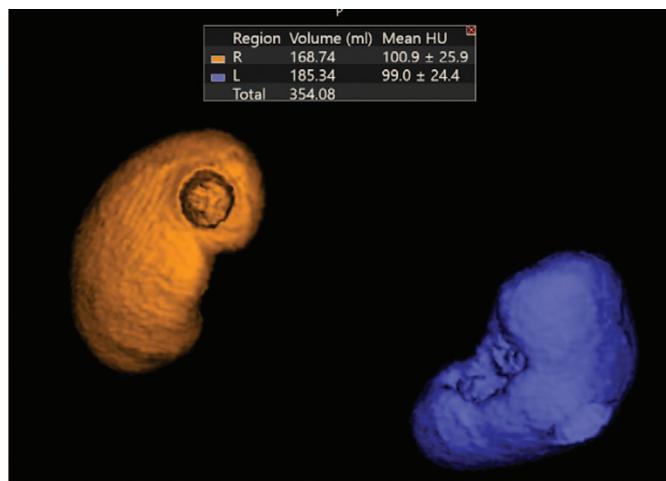


Рис. 1. Результат сегментации почек с помощью Vitrea Advanced Visualization с автоматическим расчетом объема и плотности паренхимы (в таблице вверху рисунка)

Fig. 1. The result of segmentation using Vitrea Advanced Visualization with automatic calculation of the volume and density of the parenchyma (in the table at the top of the figure)

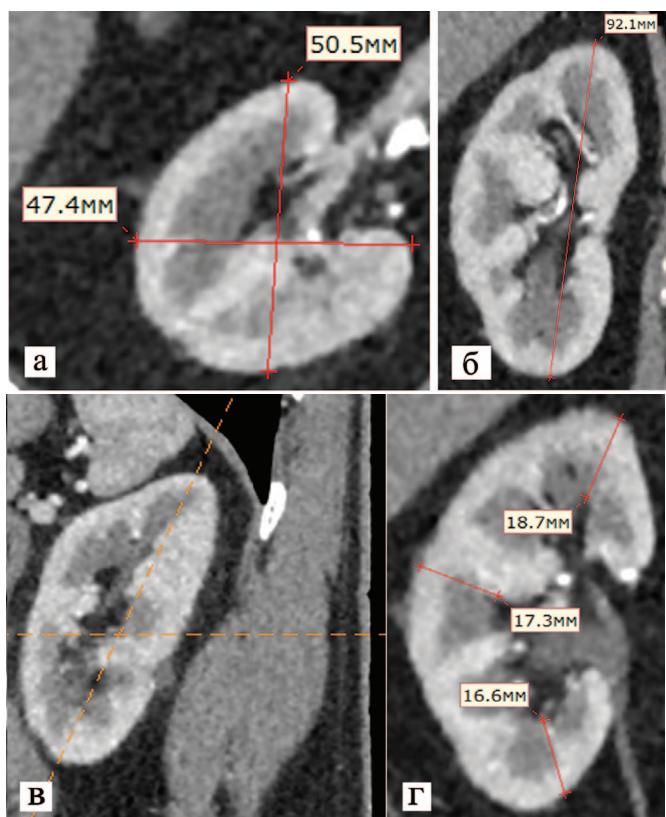


Рис. 2. Измерения линейных размеров правой почки в артериальную фазу: а. измерение линейных размеров правой почки в медиально-латеральном и передне-заднем направлениях; б. измерение длины правой почки; в. поправка на истинную ось для измерения длины правой почки; г. измерение толщины паренхимы правой почки в трех областях.

Fig. 2. Measurements of the linear dimensions of the right kidney in the arterial phase: а. measurement of the linear dimensions of the right kidney in the medial-lateral and antero-posterior directions; б. measurement of the length of the right kidney; в. correction of the true axis for measuring the length of the right kidney; г. measurement of the thickness of the parenchyma of the right kidney in three areas.

Для дальнейшей разработки методики оценки раздельной функции почек при КТ на основании ручных измерений выбраны следующие линейные размеры почек, которые в большинстве случаев используются в практической работе. В артериальную fazу контрастирования производилось 6 измерений для каждой почки. Два измерения перпендикулярных друг другу на аксиальном срезе с наибольшей площадью поперечного сечения – измерение ширины паренхимы (латерально-медиальное направление) и толщины паренхимы (передне-заднее направление) (рис. 2а). Одно измерение длины почки от верхнего полюса к нижнему на фронтальном срезе с поправкой на истинную ось органа с помощью изменения положения линии, соответствующей сагittalной плоскости мультипланарной реконструкции, для получения наибольшего размера длины почки (рис. 2б, 2в). И три измерения толщины паренхимы на фронтальном срезе по ходу почечных столбов коркового вещества в области верхнего и нижнего полюсов и в середине почечной паренхимы. (рис. 2г).

Полученные данные использовались в дальнейшем для разработки формулы расчета объема паренхимы почки.

Второй частью работы было определение рационального и наиболее точного метода расчета средних значений плотности паренхимы почек при ручных измерениях.

Было выбрано два подхода. Первый метод представлял собой измерение деснитометрических пока-

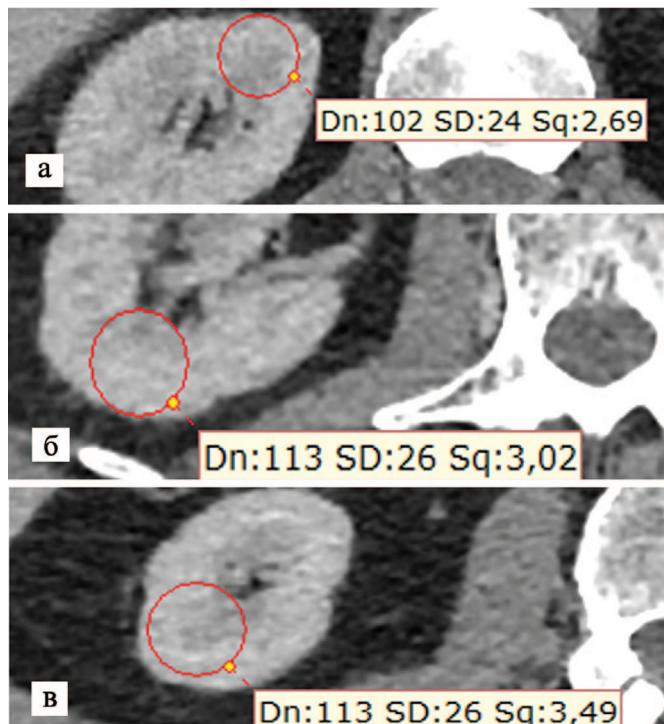


Рис. 3. Измерение деснитометрических показателей паренхимы на аксиальных срезах в нефрографическую фазу: а. в области верхнего полюса почки; б. в середине почечной паренхимы

Fig. 3. Measurement of parenchymal densitometric parameters on axial sections in the nephrographic phase: а. in the area of the upper pole of the kidney; б. in the middle of the renal parenchyma; в. in the area of the lower pole of the kidney

зателей паренхимы на аксиальных срезах в области верхнего и нижнего полюсов и в середине почечной паренхимы круглым ROI (англ. region of interest – «область интереса») и получение среднего арифметического этих измерений (рис. 3). Второй метод предполагал измерение денситометрических показателей во фронтальном срезе с наибольшей площадью синуса почки с помощью инструмента для произвольного обведения контуров почки (рис. 4).



Рис. 4. Измерение денситометрических показателей во фронтальном срезе в области синуса почки
Fig. 4. Measurement of densitometric parameters in the frontal section in the area of the renal sinus

Для оценки оптимального метода определения денситометрических показателей паренхимы почек был проведен корреляционный анализ двух методов в сравнении с методом автоматической сегментации

В дальнейшем, на основании полученных ручным методом данных о средних значениях плотности паренхимы почек и ее объема, была разработана методика расчета раздельного вклада почек в общую экскреторную функцию.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для разработки методики оценки раздельной функции почек не основе ручных измерений мы использовали ранее разработанный способ, основанный на автоматической сегментации почек программой рабочей станции [12, 13]. Данный расчет производился путем перемножения объема почки и ее плотности в единицах Хаунсфилда (ед. HU), с получением «массы» контрастного препарата. «Массу» обеих почек складывали и на полученную сумму делили «массу» правой почки, затем левой почки. Полученные результаты для правой и левой почки умножали на 100%, получая раздельный вклад каждой из почек в их общую экскреторную функцию в процентах.

Первым этапом исследования была разработка способа определения объема паренхимы почки на основании ее линейных размеров.

Имея данные об «истинном» объеме почек, полученных при автоматической сегментации на рабочей станции, с помощью регрессионного анализа методом наименьших квадратов были получены формулы расчета объема паренхимы на основе учета различных комбинаций ее линейных размеров. Наибольшая точность закономерно оказалась у формулы, учитывающей все шесть размеров почек:

$$V=1/1000(0,92xyT-0,07y^3+0,07yz^2+0,19z^2T),$$

где:

x – ширина почки (латеро-медиальный размер);
 y – толщина почки (передне-задний размер);

z – длина почки (от верхнего полюса до нижнего на фронтальном срезе с поправкой на истинную ось органа);

T – среднее арифметическое значение трех показателей толщины паренхимы почки (T_1 , T_2 , T_3) на фронтальном срезе по ходу почечных столбов в области верхнего и нижнего полюсов и в середине почки;

V – объем почечной паренхимы.

Метод наименьших квадратов представляет из себя функцию суммы произведений размеров в различных комбинациях с применением соответствующих коэффициентов. Величина коэффициента при каждом из измерений показывает «вклад» конкретного размера в общую оценку объема. Коэффициенты были подобраны таким образом, чтобы суммарная погрешность оценки относительно «истинного» объема была минимальна.

На основе полученной формулы разработана программа-калькулятор для получения расчетного объема почечной паренхимы, сформированная в программе Excel. Для ее создания в ячейках с A1 по A7 цеплесообразно прописать названия тех шести размеров, которые будут вноситься в ячейки B1-B7, например, как представлено на рисунке 5. В ячейке B7 необходимо без ошибок прописать полученную нами формулу в следующем виде:

$$=1/1000*(0,92*B1*B2*((B4+B5+B6)/3)-0,07*(B2^3)+0,07*B2*(B3^2)+0,19*(B3^2)*((B4+B5+B6)/3)).$$

A	B
1 $x, \text{мм}$	45,3
2 $y, \text{мм}$	68
3 $z, \text{мм}$	115
4 $T_1, \text{мм}$	21
5 $T_2, \text{мм}$	18,5
6 $T_3, \text{мм}$	21,2
7 $V, \text{мл}$	149,123

Рис. 5. Вид программы-калькулятора для получения расчетного объема почечной паренхимы на основе Excel
Fig. 5. Calculator program for obtaining the estimated volume of renal parenchyma based on Excel

Для получения расчета объема почки в ячейки В1-В6 необходимо занести соответствующие измеренные при КТ линейные размеры. Результат отобразится в ячейке В7.

В дальнейшем, для проверки полученной формулы мы сравнили данные об объеме каждой почки, полученные с помощью разработанной методики, с «истинным» объемом.

Был проведен корреляционный анализ (рис. 6), в ходе которого были взяты данные о расчетном объеме правой и левой почек каждого пациента.

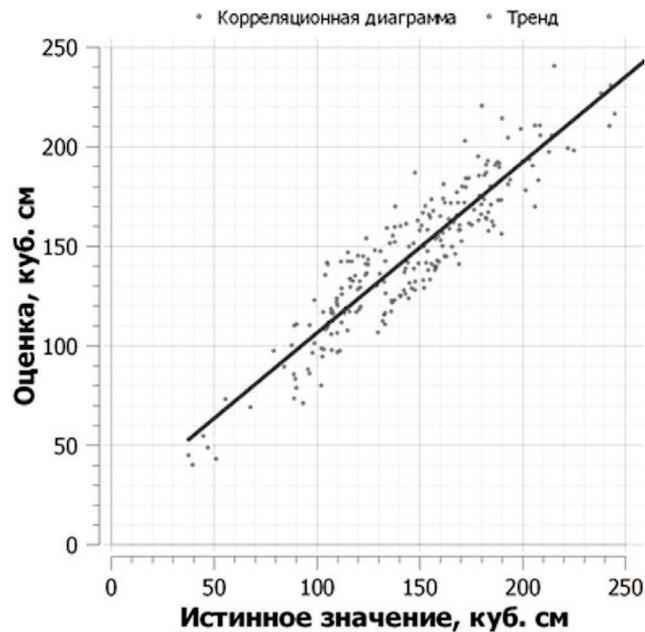


Рис. 6. Корреляционный график данных об объеме каждой почки, полученных с помощью разработанной методики («оценка»), и данных об объеме каждой почки, полученных методом автоматической сегментации почек в нефрографическую фазу контрастирования («истинное значение»)
Fig 6. Correlation graph of data on the volume of each kidney obtained using the developed technique («assessment») and data on the volume of each kidney obtained by semi-automatic kidney segmentation in the nephrographic phase of contrast («true value»)

Значение коэффициента корреляции составило 0,994 ($p<0,001$), а коэффициента ковариации – 0,92 ($p<0,001$), что говорит об очень высокой положительной связи данных и их достоверности.

Таким же образом был выбран рациональный метод оценки средних значений денситометрических показателей паренхимы почек. Для этого был осуществлен корреляционный анализ результатов обоих изучаемых методов в сопоставлении с методом автоматической сегментации почек.

Данные о плотностных характеристиках паренхимы почек, полученные при автоматической сегментации КТ-изображений, сравнивали со средним арифметическим денситометрических измерений, полученных на аксиальных срезах в области верхнего и нижнего полюсов и в середине почечной паренхимы (три измерения) (рис. 7), и с измерением денситометрических показателей во фронтальном срезе в области синуса почки с помощью инструмента для

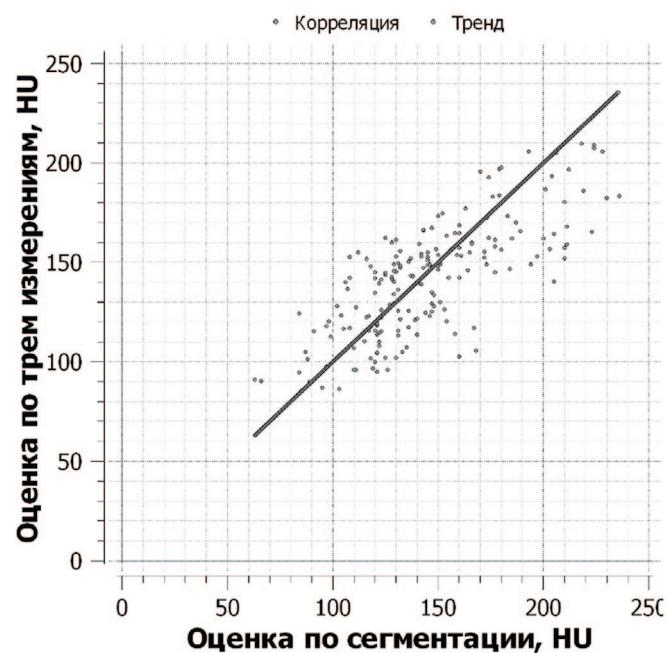


Рис. 7. Корреляция плотностных характеристик паренхимы почек, полученных при автоматической сегментации, и плотностных характеристик, полученных по трем измерениям

Fig 7. Correlation of density characteristics of kidney parenchyma obtained by semi-automatic segmentation and density characteristics obtained by three dimensions

произвольного обведения контуров почки (одно измерение) (рис. 8).

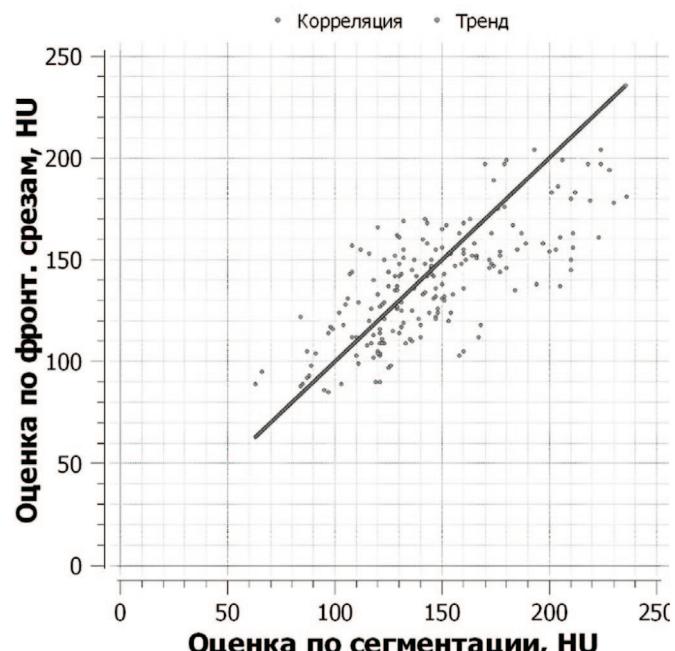


Рис. 8. Корреляция плотностных характеристик паренхимы почек, полученных при автоматической сегментации, и плотностных характеристик, полученных по одному измерению

Fig. 8. Correlation of density characteristics of kidney parenchyma obtained by semi-automatic segmentation and density characteristics obtained by one measurement

Полученное значение коэффициента корреляции для первого метода – по отдельным измерениям, составило 0,988 ($p<0,001$); коэффициента ковариации – 0,76 ($p<0,001$). Для второго метода – при обведении площади – значение коэффициента корреляции со-

ставило 0,987 ($p<0,001$); коэффициента ковариации – 0,73 ($p<0,001$). Представленные результаты свидетельствуют о высокой положительной связи.

Для окончательной оценки эффективности и достоверности разработанной методики определения значений раздельной функции почек при ручных измерениях был проведен корреляционный анализ значений вклада левой почки, на основе произведения значений объема и средней плотности паренхимы почек с такими же данными, полученными при автоматической ее сегментации на рабочей станции (рис. 9). Полученное значение коэффициента корреляции составило 0,91 ($p<0,001$); коэффициента ковариации – 0,86 ($p<0,001$) – что также свидетельствует об очень высокой положительной связи.

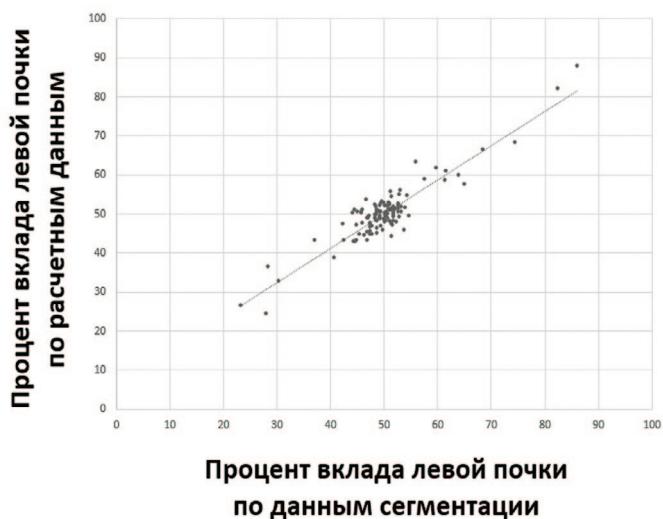


Рис. 9. Корреляционный анализ раздельного вклада почек на примере левой почки, полученный на основе результатов автоматической сегментации на рабочей станции и на основе расчетных данных объема и плотности в единицах Хаунсфилда

Fig. 9. Correlation analysis of the separate contribution of the kidneys using the example of the left kidney, obtained on the basis of the results of semi-automatic segmentation at the workstation and on the basis of calculated volume and density data in Hounsfield units

ОБСУЖДЕНИЕ

Мы предлагаем новый удобный в практическом применении метод, который позволяет получить данные о раздельной функции почек при стандартном компьютерно-томографическом исследовании с контрастированием на основе данных об объеме и денситометрических характеристиках паренхимы почек без использования специальных программных средств [25].

Одним из основных достоинств данного метода является возможность получения точных данных об истинном объеме паренхимы почки, благодаря исключению объема синуса из расчетов. Это может существенно повысить информативность и достоверность последующего расчета раздельного вклада почек, что в конечном счете, будет способствовать более обоснованным клиническим решениям. При этом предложен-

ный метод нуждается в меньшем количестве измерений, чем в методах, предложенных ранее, что позволяет снизить потенциальное количество ошибок в измерениях, ведущее к увеличению погрешности результатов. Предложенный метод не требует наличия специализированных рабочих станций и программных средств, позволяющих сегментировать почечную паренхиму с автоматическим вычислением объема, что повышает доступность метода для всех врачей-рентгенологов.

Недостатком метода можно назвать сложность формулы с большим количеством арифметических действий, затрудняющих и замедляющих вычисление объема паренхимы. Вследствие этого, нами предложена «программа-калькулятор» на основе полученной формулы, которая достаточно легко формируется в программе Excel.

Также к недостаткам, в определенной мере, можно отнести возможную погрешность, возникающую в процессе измерений линейных параметров почки ввиду субъективности определения точек измерений. Для снижения вероятности данной погрешности, в частности при измерении толщины паренхимы, мы рекомендуем использовать именно артериальную фазу контрастирования почек, где возможно дифференцировать почечные столбы. Измерение толщины паренхимы вдоль данных структур позволяет получить более точную информацию, соответствующую методике измерения, использованной в представленном исследовании. При отсутствии артериальной фазы измерения можно проводить и по нативным изображениям, или в нефрографическую fazu.

В настоящее время изучается возможность использования такого подхода и разработанной формулы для измерений, выполняемых при ультразвуковом исследовании.

Ограничениями представленного метода являются случаи гидронефrotической трансформации почки с выраженным источником паренхимы и множественные кисты почки, преимущественно синусной и интрапаренхиматозной локализации. Погрешности измерений в данных случаях обусловлены нетиповым расположением и размерами расширенных чашечек почки или кист, внедрением их в паренхиму почки, что не позволяет нивелировать их объем при измерении требуемых линейных параметров почки и последующем расчете объема почечной паренхимы. Однако при небольшой каликопиелоэктазии с сохранением конфигурации почки и при субкапсульном расположении кист, предложенный метод расчета объема почечной паренхимы демонстрирует незначительную погрешность.

Также мы определили наиболее достоверный ручной способ определения плотности паренхимы почек. Сравнение двух методов оценки средних значений

денситометрических показателей паренхимы почек с помощью измерения круглыми ROI и с помощью ручного обведения не дало значительной разницы показало очень высокую корреляцию и ковариацию с аналогичными данными, полученными при сегментации почек с помощью программного обеспечения (значение коэффициента корреляции для первого метода составило 0,988 ($p<0,001$); коэффициента ковариации – 0,76 ($p<0,001$); для второго метода значение коэффициента корреляции составило 0,987 ($p<0,001$); коэффициента ковариации – 0,73 ($p<0,001$)). Однако метод, основанный на измерении в трех ROI, более удобен в практической работе, поэтому для дальнейших исследований был выбран именно он.

Результаты расчета раздельного вклада каждой почки в их общую функцию на основе полученных данных об объеме и денситометрических характеристиках почечной паренхимы, вычисленных вручную, также продемонстрировали высокую положительную

корреляцию с результатами раздельного вклада каждой из почек на основе данных об объеме и денситометрических характеристиках, полученных с помощью автоматической сегментации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанные методы ручного определения объема почечной паренхимы и оценки плотностных характеристик паренхимы почек круглыми ROI показали очень высокую корреляцию с аналогичными данными, полученными при автоматической сегментации почек. Данные способы удобны в практической работе, не требуют наличия специальных программных средств. Применение разработанных методов в совокупности позволит во многих случаях избежать необходимости дополнительного выполнения нефросцинтиграфии, уменьшить время на подготовку больного к лечению. ☺

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Levey AS, Stevens LA, Schmid CH, Zhang YL, Castro AF 3rd, Feldman HI, et al. A new equation to estimate glomerular filtration rate. *Ann Intern Med* 2009;150(9):604-12. <https://doi.org/10.7326/0003-4819-150-9-200905050-00006>
- Смирнов А.В., Шилов Е.М., Добронравов В.А., Каюков И.Г., Бобкова И.Н., Шевцов М.Ю. и др. Национальные рекомендации. Хроническая болезнь почек: основные принципы скрининга, диагностики, профилактики и подходы к лечению. Санкт-Петербург. Левша. 2012. 51 с. [Smirnov A.V., Shilov E.M., Dobronravov V.A., Kayukov I.G., Bobkova I.N., Shvetsov M.Yu. et al. National guidelines. Chronic kidney disease: basic principles of screening, diagnosis, prevention and approaches to treatment. St. Petersburg. Lefty. 2012. 51 p. (In Russian)].
- Клинические рекомендации. Хроническая болезнь почек (ХБП). *Нефрология* 2021;25(5):10-82. <https://doi.org/10.36485/1561-6274-2021-25-5-10-82>. [Clinical recommendations. Chronic kidney disease (CKD). *Nefrologii = Nephrology* (Saint-Petersburg) 2021;25(5):10-82. (In Russian)].
- Kato F, Kamishima T, Morita K, Muto NS, Okamoto S, Omatsu T, et al. Rapid estimation of split renal function in kidney donors using software developed for computed tomographic renal volumetry. *Eur J Radiol* 2011;79(1):15-20. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2009.11.013>
- Линденбрaten Л.Д., Лиас Ф.М. Медицинская радиология. Москва: Медицина; 1986. 368 с. [Lindenbraten L.D., Lyass F.M. Medical Radiology. Moscow: Meditsina; 1986. 368 p. (In Russian)].
- Tartaglione G, D'Addessi A, De Waele C, Pagan M, Racioppi M, Sacco E, et al. (99m)Tc-MAG3 diuretic renography in diagnosis of obstructive nephropathy in adults: a comparison between F-15 and a new procedure F+10(sp) in seated position. *Clin Nucl Med* 2013;38(6):432-6. <https://doi.org/10.1097/RNU.0b013e31828da3f5>
- Kang KY, Lee YJ, Park SC, Yang CW, Kim YS, Moon IS, et al. A comparative study of methods of estimating kidney length in kidney transplantation donors. *Nephrol Dial Transplant* 2007;22(8):2322-7.
- Rathore RS, Mehta N, Pillai BS, Sam MP, Upendran B, Krishnamoorthy H. Variations in renal morphometry: A hospital-based Indian study. *Indian J Urol* 2016;32(1):61-4. <https://doi.org/10.4103/0970-1591.173115>
- Breau RH, Clark E, Bruner B, Cervini P, Atwell T, Knoll G, Leibovich BC. A simple method to estimate renal volume from computed tomography. *Can Urol Assoc J* 2013;7(5-6):189-92. <https://doi.org/10.5489/cuaj.1338>
- Siedek F, Haneder S, Dörner J, Morelli JN, Chon SH, Maintz D, Houbois C. Estimation of split renal function using different volumetric methods: inter- and intraindividual comparison between MRI and CT. *Abdom Radiol (NY)* 2019;44(4):1481-92. <https://doi.org/10.1007/s00261-018-1857-9>
- Dias J, Malheiro J, Almeida M, Dias L, Silva-Ramos M, Martins LS, et al. CT-based renal volume and graft function after living-donor kidney transplantation: Is there a volume threshold to avoid? *Int Urol Nephrol* 2015;47(5):851-9. <https://doi.org/10.1007/s11255-015-0959-3>
- Ghaith N, Malaeb B, Itani R, Alnafaa M, Al Faraj A. Correlation of kidney size on computed tomography with GFR, Creatinine and HbA1C for an accurate diagnosis of patients with diabetes and/or chronic kidney disease. *Diagnostics (Basel)* 2021;11(5):789. <https://doi.org/10.3390/diagnostics11050789>
- Soga S, Britz-Cunningham S, Kumamaru KK, Malek SK, Tullius SG, Rybicki FJ. Comprehensive comparative study of computed tomography-based estimates of split renal function for potential renal donors: modified ellipsoid method and other CT-based methods. *J Comput Assist Tomogr* 2012;36(3):323-9. <https://doi.org/10.1097/RCT.0b013e318251db15>
- Morrisroe SN, Su RR, Bae KT, Eisner BH, Hong C, Lahey S, et al. Differential renal function estimation using computerized tomography based renal parenchymal volume measurement. *J Urol* 2010;183(6):2289-93. <https://doi.org/10.1016/j.juro.2010.02.024>
- Rathi N, Attawetayanon W, Yasuda Y, Lewis K, Roversi G, Shah S, et al. Point of care parenchymal volume analyses to estimate split renal function and predict functional outcomes after radical nephrectomy. *Sci Re* 2023;13(1):6225. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-33236-6>
- Feder MT, Blitstein J, Mason B, Hoenig DM. Predicting differential renal function using computerized tomography measurements of renal parenchymal area. *J Urol* 2008;180(5):2110-5. <https://doi.org/10.1016/j.juro.2008.07.057>
- Knox MK, Rivers-Bowerman MD, Bardgett HP, Cowan NC. Multidetector computed tomography with triple-bolus contrast medium administration protocol for preoperative anatomical and functional assessment of potential living renal donors. *Eur Radiol* 2010;20(11):2590-9. <https://doi.org/10.1007/s00330-010-1855-y>
- Björkman H, Eklof H, Wadström J, Andersson LG, Nyman R, Magnusson A. Split renal function in patients with suspected renal artery stenosis: a comparison between gamma camera renography and two methods of measurement with computed tomography. *Acta Radiol* 2006;47(1):107-13. <https://doi.org/10.1080/02841850500406787>
- Summerlin AL, Lockhart ME, Strang AM, Kolettis PN, Fineberg NS, Smith JK. Determination of split renal function by 3D reconstruction of CT angiograms: a comparison with gamma camera renography. *AJR Am J Roentgenol* 2008;191(5):1552-8. <https://doi.org/10.2214/AJR.07.4023>
- Аляев Ю.Г., Дзеранов Н.К., Хохлачев С.Б., Борисов В.В., Фиев Д.Н., Демидко Ю.Л. и др. Новый метод оценки раздельной функции почек на основании данных мультиспиральной компьютерной томографии с контрастированием. *Урология* 2018(2):26-33. [Alyayev Yu.G., Dzeranov N.K., Khokhlachev S.B., Borisov V.V., Fiev D.N., Demidko Yu.L., et al. A new method of evaluation of split renal function based on contrast-enhanced Multislice spiral computed tomography. *Urologiya = Urologia* 2018(2):26-33. (In Russian)]. <https://doi.org/10.18565/urology.2018.2.26-33>

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

21. Diez A, Powelson J, Sundaram CP, Taber TE, Mujtaba MA, Yaqub MS, et al. Correlation between CT-based measured renal volumes and nuclear-renography-based split renal function in living kidney donors. Clinical diagnostic utility and practice patterns. *Clin Transplant* 2014;28(6):675-82. <https://doi.org/10.1111/ctr.12365>
22. Kato F, Kamishima T, Morita K, Muto NS, Okamoto S, Omatsu T, et al. Rapid estimation of split renal function in kidney donors using software developed for computed tomographic renal volumetry. *Eur J Radiol* 2011;79(1):15-20. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2009.11.013>
23. Громов А.И., Доморовская Я.С., Сивков А.В., Просянников М.Ю., Войтко Д.А., Каприн А.Д. и др. Возможность определения процентного отношения вклада почек в экскреторную функцию. Предварительные результаты. *Медицинская визуализация* 2025;29(1):71-79. [Gromov A.I., Domorovskaya Ya.S., Sivkov A.V., Prosyannikov M.Yu., Voitko D.A., Kaprin A.D., et al. The ability to determine the percentage of kidney contribution to excretory function. Preliminary results. *Meditsinskaya Vizualizatsiya = Medical Visualization* 2025; 29(1):71-9.(In Russian)]. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1507>
24. Каприн А.Д., Алексеев Б.Я., Аполихин О.И., Сивков А.В., Громов А.И., Просянников М.Ю. и др. Способ определения процентного отношения вклада почек в экскреторную функцию. Патент на изобретение RU 2 804 579. Дата регистрации 02.10.2023. Заявка 2023105774 от 13.03.2023. [Kaprin A.D., Alekseev B.Ya., Apolikhin O.I., Sivkov A.V., Gromov A.I., Prosyannikov M.Yu. et al. Method for determining the percentage of the kidneys' contribution to excretory function. Patent for invention RU 2 804 579. Date of registration 02.10.2023. Application 2023105774 dated 13.03.2023. (In Russian)].
25. Каприн А.Д., Алексеев Б.Я., Аполихин О.И., Сивков А.В., Громов А.И., Просянников М.Ю. и др. Способ определения объема почечной паренхимы. Патент на изобретение RU 2 835 313. Дата регистрации 24.02.2025. Заявка: 2024118186 от 01.07.2024. [Kaprin A.D., Alekseev B.Ya., Apolikhin O.I., Sivkov A.V., Gromov A.I., Prosyannikov M.Yu. et al. Method for Determining Renal Parenchyma Volume. Patent for invention RU 2 835 313. Date of registration: 02/24/2025. Application: 2024118186 dated: 07/01/2024. (In Russian)].

Сведения об авторах:

Громов А.И. – д.м.н., профессор, руководитель группы лучевых методов диагностики и лечения отдела онкологии НИИ урологии и интервенционной радиологии им. Н.А. Лопаткина – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, Москва, Россия; РИНЦ Author ID 304475, <https://orcid.org/0000-0002-9014-9022>

Доморовская Я.С. – врач-рентгенолог НИИ урологии и интервенционной радиологии им. Н.А. Лопаткина – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, Москва, Россия; РИНЦ Author ID 1309975, <https://orcid.org/0009-0001-7686-1718>

Сивков А.В. – к.м.н., заместитель директора по научной работе НИИ урологии и интервенционной радиологии им. Н.А. Лопаткина – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, Москва, Россия; РИНЦ Author ID 622663, <https://orcid.org/0000-0001-8852-6485>

Просянников М.Ю. – д.м.н., заведующий отделом мочекаменной болезни НИИ урологии и интервенционной радиологии им. Н.А. Лопаткина – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России; Москва, Россия; РИНЦ Author ID 791050, <https://orcid.org/0000-0003-3635-5244>

Войтко Д.А. – к.м.н., старший научный сотрудник отдела мочекаменной болезни НИИ урологии и интервенционной радиологии им. Н.А. Лопаткина – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России; Москва, Россия; РИНЦ Author ID 942353, <https://orcid.org/0000-0003-1292-1651>

Позойская В.Р. – врач ультразвуковой диагностики НИИ урологии и интервенционной радиологии им. Н.А. Лопаткина – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, Москва, Россия, <https://orcid.org/0009-0002-8701-3340>

Каприн А.Д. – д.м.н., профессор, академик РАН, генеральный директор ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, директор МНИОИ имени П.А. Герцена, зав. кафедрой онкологии и рентгенорадиологии им. В.П. Харченко РУДН, главный внештатный онколог Минздрава России; Москва, Россия; РИНЦ Author ID 96775, <https://orcid.org/0000-0001-8784-8415>

Алексеев Б.Я. – д.м.н., профессор, заместитель генерального директора по научной работе ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, Москва, Россия, РИНЦ Author ID 651796, <https://orcid.org/0000-0002-3398-4128>

Аполихин О.И. – д.м.н., профессор, чл.-корр. РАН, директор НИИ урологии и интервенционной радиологии им. Н.А. Лопаткина – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, зав. кафедрой БМТ-3 МГТУ им. Н.Э. Баумана; Москва, Россия; РИНЦ Author ID 683661, <https://orcid.org/0000-0003-0206-043X>

Вклад авторов:

Громов А.И. – разработка концепции и дизайна исследования, анализ и интерпретация полученных данных, подготовка и редактирование текста, утверждение окончательного варианта статьи, 25%

Доморовская Я.С. – проведение исследования, обзор публикаций по теме статьи, анализ и интерпретация полученных данных, написание текста, 25%

Сивков А.В. – разработка концепции и дизайна научного дизайна, утверждение окончательного варианта статьи, 10%

Просянников М.Ю. – участие в разработке научного дизайна, сбор и обработка данных, утверждение окончательного варианта статьи, 15%

Войтко Д.А. – участие в разработке научного дизайна, 5%

Позойская В.Р. – участие в разработке научного дизайна, 5%

Каприн А.Д. – участие в разработке научного дизайна, 5%

Алексеев Б.Я. – участие в разработке научного дизайна, 5%

Аполихин О.И. – участие в разработке научного дизайна, 5%

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: Статья подготовлена без финансовой поддержки.

Статья поступила: 17.07.25

Результаты рецензирования: 30.08.25

Исправления получены: 13.10.25

Принята к публикации: 15.10.25

Information about authors:

Gromov A.I. – Dr. Sci., Professor, Professor of the group of radiation diagnostic methods of N. Lopatkin Scientific Research Institute of Urology and Interventional Radiology – branch of the National Medical Research Radiological Centre of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russia; RSCI Author ID 304475, <https://orcid.org/0000-0002-9014-9022>

Domorovskaya Ya.S. – radiologist of N.A. Lopatkin Scientific Research Institute of Urology and Interventional Radiology – branch of the National Medical Research Radiological Centre of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russia; RSCI Author ID 1309975, <https://orcid.org/0009-0001-7686-1718>

Sivkov A.V. – PhD, Deputy Director of N. Lopatkin Scientific Research Institute of Urology and Interventional Radiology – Branch of the National Medical Research Centre of Radiology of the Ministry of Health of Russian Federation, Moscow, Russia; RSCI Author ID 622663, <https://orcid.org/0000-0001-8852-6485>

Prosyannikov M.Yu. – Dr. Sci., Head of Department of urolithiasis of N.A. Lopatkin Scientific Research Institute of Urology and Interventional Radiology – Branch of the National Medical Research Centre of Radiology of the Ministry of Health of Russian Federation; Moscow, Russia; RSCI Author ID 791050, <https://orcid.org/0000-0003-3635-5244>

Voytko D.A. – PhD, Senior Researcher of N. Lopatkin Scientific Research Institute of urology and Interventional Radiology – Branch of the National Medical Research Centre of Radiology of the Ministry of Health of Russian Federation; Moscow, Russia; RSCI Author ID 942353, <https://orcid.org/0000-0003-1292-1651>

Pozoyetskaya V.R. – ultrasound diagnostics doctor of N. Lopatkin Scientific Research Institute of Urology and Interventional Radiology – branch of the National Medical Research Radiological Centre of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russia; <https://orcid.org/0009-0002-8701-3340>

Kaprin A.D. – Dr. Sci., professor, academician of RAS, general director of the National Medical Research Centre of Radiology of Ministry of health of Russian Federation, director of P.A. Herzen Institution, Head of Department of Oncology and Radiology named after V.P. Kharchenko of RUDN University; Moscow, Russia; RSCI Author ID 96775, <https://orcid.org/0000-0001-8784-8415>

Alekseev B.Ya. – Dr. Sci., professor, Deputy General Director for Science of the National Medical Research Centre of Radiology of Ministry of health of Russian Federation, Moscow, Russia; RSCI Author ID 651796, <https://orcid.org/0000-0002-3398-4128>

Apolikhin O.I. – Dr. Sci., professor, cor.-member of RAS, director of N. Lopatkin Scientific Research Institute of urology and Interventional Radiology – branch of the National Medical Research Centre of Radiology of Ministry of health of Russian Federation, Head of Department BMT-3 of Bauman Moscow State Technical University; Moscow, Russia; RSCI Author ID 683661, <https://orcid.org/0000-0003-0206-043X>

Authors' contributions:

Gromov A.I. – development of the study concept and design, analysis and interpretation of the obtained data, preparation and editing of the text, approval of the final version of the article, 25%

Domorovskaya Ya.S. – conduct of the study, review of publications on the topic of the article, analysis and interpretation of the obtained data, writing the text, 25%

Sivkov A.V. – development of the concept and design of the scientific design, approval of the final version of the article, 10%

Prosyannikov M.Yu. – participation in the development of the scientific design, data collection and processing, approval of the final version of the article, 15%

Voytko D.A. – participation in the development of the scientific design, 5%

Pozoyetskaya V.R. – participation in the development of the scientific design, 5%

Kaprin A.D. – participation in the development of the scientific design, 5%

Alekseev B.Ya. – participation in the development of the scientific design, 5%

Apolikhin O.I. – participation in the development of the scientific design, 5%

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Financing. The article was made without financial support.

Received: 17.07.25

Peer review: 30.08.25

Corrections received: 13.10.25

Accepted for publication: 15.10.25