

<https://doi.org/10.37174/2587-7593-2024-7-2-15-26>

ПЭТ/КТ с ^{18}F -PSMA-1007 В ДИАГНОСТИКЕ ПЕРВИЧНОГО ОЧАГА И МЕСТНОГО РЕЦИДИВА СВЕТЛОКЛЕТОЧНОГО ПОЧЕЧНО-КЛЕТОЧНОГО РАКА В СРАВНЕНИИ С ^{18}F -ФДГ: ПРОСПЕКТИВНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

© Ильяков В.С.*, Пронин А.И., Парнас А.В., Субботин А.С., Крылов А.С., Гелиашвили Т.М., Безумова Е.В., Мехедова О.В., Нестерова Н.И., Матвеев В.Б.

Национальный медицинский исследовательский центр онкологии им. Н.Н. Блохина Минздрава России; Россия, 115478 Москва, Каширское шоссе, 24

Реферат

Введение: Предпринимались попытки использовать различные ПЭТ-трейсеры, помимо ^{18}F -ФДГ, в диагностике почечно-клеточного рака (ПКР), перспективные результаты демонстрируют PSMA-специфичные РФЛП, в частности ^{18}F -PSMA-1007. Проведено проспективное исследование, посвященное возможностям ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ и ^{18}F -PSMA-1007 в диагностике первичного сПКР и его местного рецидива.

Материал и методы: В исследование включено 48 пациентов, 28 — с образованиями почек, 20 — с подозрением на местный рецидив сПКР. У всех пациентов были доступны результаты биопсии. Всем пациентам была проведена ПЭТ/КТ с ^{18}F -PSMA-1007 и ^{18}F -ФДГ.

Результаты: У 28 пациентов выявлено 39 новообразований почек. 24 из 39 очагов (21 пациент) оказались PSMA-положительными, 18 из 39 очагов (16 пациентов) — ФДГ-положительными. Ложноположительных очагов выявлено не было. Чувствительность, специфичность, положительная и отрицательная прогностическая ценность в диагностике первичного очага сПКР составили: ^{18}F -PSMA-1007 — 75, 100, 100 и 85 % соответственно; ^{18}F -ФДГ — 57, 100, 100 и 76 % соответственно. Уровень SUV_{max} ^{18}F -PSMA-1007 превышал таковой для ^{18}F -ФДГ у 27 из 28 пациентов (38 очагов), соотношение опухоль/фон было выше у 16 из 28 пациентов (24 очага). Опухолевый тромбоз выявлен у 6 пациентов (PSMA-положительные — 6 из 6, ФДГ — 5 из 6). Уровень SUV_{max} ^{18}F -PSMA-1007 в тромбах превышал ^{18}F -ФДГ у всех пациентов, соотношение опухоль/фон — у 5 из 6 пациентов. Местный рецидив выявлен у 13 из 20 пациентов (27 очагов). 10 очагов у оставшихся 7 пациентов расценены как ложноположительные. Ложноотрицательных результатов получено не было. Чувствительность, специфичность, положительная и отрицательная прогностическая ценность в диагностике местного рецидива сПКР: ^{18}F -PSMA-1007 — 100, 94, 81 и 100 % соответственно; ^{18}F -ФДГ — 100, 89, 68 и 100 % соответственно.

Была выявлена корреляция SUV_{max} и отношения опухоль/фон с размерами первичной опухоли и рецидивных узлов для обоих РФЛП.

Обсуждение и выводы: На данный момент роль ^{18}F -PSMA-1007 в диагностике ПКР не определена. Можно отметить высокую эффективность данного РФЛП в оценке первичного очага и рецидива сПКР, его применение обосновано в случаях, когда рутинные методы диагностики не дают однозначного ответа.

Наибольший интерес представляют возможности ^{18}F -PSMA-1007 в диагностике метастатического сПКР. В нашем отделении собран значительный проспективный материал, который станет основой для дальнейшего изучения данного РФЛП в диагностике метастатического сПКР.

Ключевые слова: почечно-клеточный рак, ПЭТ/КТ, ^{18}F -PSMA-1007, ^{18}F -ФДГ

Для цитирования: *Ильяков В.С.*, Пронин А.И., Парнас А.В., Субботин А.С., Крылов А.С., Гелиашвили Т.М., Безумова Е.В., Мехедова О.В., Нестерова Н.И., Матвеев В.Б. ПЭТ/КТ с ^{18}F -PSMA-1007 в диагностике первичного очага и местного рецидива светлоклеточного почечно-клеточного рака в сравнении с ^{18}F -ФДГ: проспективное исследование. Онкологический журнал: лучевая диагностика, лучевая терапия. 2024;7(2):15-26.

<https://doi.org/10.37174/2587-7593-2024-7-2-15-26>

<https://doi.org/10.37174/2587-7593-2024-7-2-15-26>

PET/CT WITH ^{18}F -PSMA-1007 IN DIAGNOSTICS OF PRIMARY AND RECURRENT LESIONS OF CLEAR-CELL RENAL CELL CARCINOMA IN COMPARISON WITH ^{18}F -FDG: PROSPECTIVE STUDY

© Vadim S. Ilyakov*, Artem I. Pronin, Alexander V. Parnas, Alexey S. Subbotin, Alexander S. Krylov, Tamara M. Geliashvili, Elizaveta V. Bezumova, Olga V. Mehedova, Natalia I. Nesterova, Vsevolod B. Matveev

N.N. Blokhin National Medical Research Center of Oncology; 24 Kashirskoye Shosse, Moscow, Russia 115478

Abstract

Introduction: Attempts have been made to use various RPs, other than ^{18}F -FDG in the diagnostics of renal cell carcinoma (RCC), with promising results demonstrated by PSMA-specific RPs, in particular ^{18}F -PSMA-1007.

A prospective study was conducted at N.N. Blokhin NMRCO to establish capabilities of PET/CT with ^{18}F -FDG and ^{18}F -PSMA-1007 in primary and recurrent ccRCC diagnostics.

Material and methods: Forty-eight patients were included in the study, 28 with renal masses and 20 with suspected local recurrence of ccRCC. Biopsy results were available in all patients. All patients underwent PET/CT with ^{18}F -PSMA-1007 and ^{18}F -FDG.

Results: Thirty-nine renal neoplasms were identified in 28 patients. 24 of 39 foci (21 patients) were PSMA-positive and 18 of 39 foci (16 patients) were FDG-positive. No false-positive foci were identified. The sensitivity, specificity, positive and negative predictive value in primary RCC were: for ^{18}F -PSMA-1007 — 75, 100, 100 and 85 %, respectively; for ^{18}F -FDG — 57, 100, 100 and 76 %, respectively. The SUV_{max} level of ^{18}F -PSMA-1007 exceeded ^{18}F -FDG in 27 of 28 patients (38 foci); the tumor/background ratio was higher in 16 of 28 patients (24 foci). Tumor thrombosis was detected in 6 patients (PSMA-positive 6 of 6, FDG-positive 5 of 6). PSMA- SUV_{max} levels in thrombi exceeded ^{18}F -FDG in all patients, tumor/background ratio in 5 out of 6 patients. Local recurrence was detected in 13 of 20 patients (27 foci). 10 foci in the remaining 7 patients were considered as false positives. No false-negative results were obtained. Sensitivity, specificity, positive and negative predictive value in the diagnosis of local recurrence of ccRCC: ^{18}F -PSMA-1007 — 100, 94, 81 and 100 %, respectively; ^{18}F -FDG — 100, 89, 68 and 100 %, respectively.

SUV_{max} and tumor/background ratio were found to correlate with primary tumor and recurrent node sizes for both RPs.

Discussion and conclusions: At the moment, the role of ^{18}F -PSMA-1007 in RCC diagnostics has not been defined. We can note the high efficiency of this RP in the assessment of the primary focus and recurrence of ccRCC, its usage is justified in cases, when routine diagnostic methods do not give an unambiguous answer.

The possibilities of ^{18}F -PSMA-1007 in metastatic ccRCC diagnostics are of the greatest interest. A significant prospective material has been collected in our department, which will be the basis for further study of this RP in the diagnostics of metastatic ccRCC.

Key words: renal cell carcinoma, PET/CT, ^{18}F -PSMA-1007, ^{18}F -FDG

For citation: Ilyakov VS*, Pronin AI, Parnas AV, Subbotin AS, Krylov AS, Geliashvili TM, Bezumova EV, Mehedova OV, Nesterova NI, Matveev VB. PET/CT with ^{18}F -PSMA-1007 in Diagnostics of Primary and Recurrent Lesions of Clear-cell Renal Cell Carcinoma in Comparison with ^{18}F -FDG: Prospective Study. Journal of Oncology: Diagnostic Radiology and Radiotherapy. 2024;7(2):15-26. (In Russ.).

<https://doi.org/10.37174/2587-7593-2024-7-2-15-26>

Введение

Рак почки занимает 14 место в структуре онкологической заболеваемости — за 2020 г. в мире выявлено порядка 430 тыс. новых случаев [1]. В России на конец 2022 г. на учете находилось 198870 человек со злокачественными новообразованиями почек, количество новых случаев в РФ за 2022 г. составило 19662 [2]. Почечно-клеточный рак (ПКР) составляет порядка 85 % от всех опухолей почек, среди гистологических типов ПКР наиболее распространённым является светлоклеточный почечно-клеточный рак (сПКР) — 70-80 % [3, 4].

Позитронно-эмиссионная томография, совмещенная с компьютерной томографией (ПЭТ/КТ) — метод гибридной диагностики, широко используемый в онкологии для оценки распространенности и активности опухолевого процесса, который применяется как для первичного стадирования, так и для выявления рецидива и прогрессирования заболевания. Он высоко эффективен в оценке ответа на лекарственную терапию [5–7]. Наиболее распространенным радиофармацевтическим лекарственным препаратом (РФЛП) в онкологии является ^{18}F -фтор-2-дезоксиглюкоза (^{18}F -ФДГ).

Однако применение ^{18}F -ФДГ в диагностике ПКР ограничено низким уровнем гликолитической активности опухоли и физиологическим выведением препарата с мочой, что может затруднять визуализацию первичного очага [8].

Для того чтобы преодолеть ограничения ^{18}F -ФДГ в диагностике ПКР, рассматриваются возможности применения других РФЛП, в частности — PSMA-специфичных ПЭТ-трейсеров. Из них наиболее широко используемыми РФЛП в настоящее время являются низкомолекулярные ингибиторы PSMA, меченные ^{68}Ga и ^{18}F (^{68}Ga -PSMA-11 и ^{18}F -PSMA-1007) [9, 10]. В целом, эффективность обоих РФЛП сопоставима, однако стоит отметить, что неспецифическое накопление более характерно для ^{18}F -PSMA-1007, в первую очередь, за счет фиксации в ганглиях симпатической нервной системы [11], однако выведение ^{68}Ga -PSMA-11 с мочой и более высокая фиксация в интактной паренхиме почек может значимо повлиять на точность исследования за счет ложноотрицательных результатов.

Возможность применения PSMA-специфичных РФЛП при ПКР обосновывается гиперэкспрессией PSMA эндотелием сосудов при неопластическом ангиогенезе. По литературным данным, наибольшая экспрессия рецептора наблюдается при сПКР — высокий уровень экспрессии определяется в 75–100 % первичных опухолей, в метастатических очагах экспрессия достигает 100 %. При других гистологических типах рака почки уровень экспрессии значительно ниже [12–14].

Физиологическое распределение ^{18}F -PSMA-1007 аналогично другим PSMA-специфичным РФЛП, но в отличие от них, выведение данного препарата происходит в основ-

ном через гепатобилиарную систему, что делает его наиболее подходящим низкомолекулярным ингибитором PSMA для визуализации опухолей почек [15–17].

С целью определения эффективности ^{18}F -PSMA-1007 в диагностике первичного сПКР, в отделении радионуклидной диагностики № 2 отдела радионуклидной диагностики и терапии НИИ КиЭР НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина было проведено проспективное исследование, основной целью которого являлась оценка возможностей ПЭТ/КТ с ^{18}F -PSMA-1007 в диагностике первичного очага и местно-рецидивирующего сПКР.

Материал и методы

В исследование были включены 48 пациентов, 28 из них — с образованиями почек (как до, так и после верификации) и 20 пациентов — с подозрением на местный рецидив сПКР. Всем пациентам было проведено ПЭТ/КТ-исследование с ^{18}F -PSMA-1007 и ^{18}F -ФДГ. 41 из 48 пациентов одновременно с проведением ПЭТ/КТ была выполнена КТ с внутривенным контрастным усилением. Оставшимся 7 пациентам внутривенное контрастирование не проводилось вследствие выраженного снижения функции почек (расчетная скорость клубочковой фильтрации менее 30 мл/мин/1,73м²).

В качестве контрольной группы было обследовано 20 пациентов без ПКР в анамнезе, новообразований почек у них выявлено не было.

Общее количество новообразований почек, вошедших в анализ, составило 39 у 28 пациентов. У всех пациентов были доступны результаты гистологической верификации (постоперационное гистологическое исследование, либо биопсия).

Местный рецидив был диагностирован у 13 из 20 пациентов из группы с подозрением на прогрессирование заболевания (27 образований). 10 очагов у 7 пациентов были расценены как ложноположительные при наблюдении в динамике.

Сканирования осуществлялись на ПЭТ/КТ-сканере Biograph mCT (Siemens, Германия).

ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ выполнялась через 60 минут после внутривенного введения РФЛП, от талии до коленных суставов, верхние конечности подняты вверх, продолжительность сканирования 3 мин на одну «кровать». Вводимая радиоактивность вычислялась из расчета 5 МБк на 1 кг массы тела. Подготовка к исследованию включала безуглеводную диету

за сутки до исследования, прием пищи не ранее чем за 6 ч до времени исследования, отсутствие физических нагрузок в день исследования. Всем пациентам перед исследованием измеряли уровень глюкозы.

ПЭТ/КТ с ^{18}F -PSMA-1007 выполнялась через 90 мин после внутривенного введения РФЛП, от талии до коленных суставов, верхние конечности подняты вверх, продолжительность сканирования 3 минуты на одну «кровать». Средняя вводимая радиоактивность составила порядка 300 МБк. Исследование выполняли натощак (не менее 6 ч голодания), других ограничений и особых правил подготовки не было.

^{18}F -PSMA-1007 и ^{18}F -ФДГ синтезировали в циклотронно-радиохимическом блоке НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина.

После реконструкции данных ПЭТ и КТ, анализ изображений осуществлялся двумя специалистами (врачом-рентгенологом и врачом-радиологом с опытом описания ПЭТ/КТ-изображений более трех лет), независимо друг от друга, с предоставлением клинической информации, на рабочих станциях Syngo via (Siemens, Германия). Полуколичественная оценка накопления РФЛП в патологических очагах определялась по стандартизованному уровню накопления Standardized Uptake Value — SUV (SUV_{max}-bw).

При анализе совмещенных изображений положительным результатом считалось очаговое патологическое накопление РФЛП, превышающее фоновое накопление:

- в интактной паренхиме почки — для первичных опухолей;
- в пуле крови — для опухолевых тромбов;
- в интактной забрюшинной клетчатке — для местного рецидива.

Статистический анализ полученных данных проводился при помощи программы MedCalc. Чувствительность и специфичность диагностического теста, а также дескриптивная статистика рассчитывались по стандартной методике. Корреляция размеров и уровня накопления SUV_{max} оценивалась методом простой линейной регрессии.

Результаты

Среди выявленных очагов, 24 из 39 оказались PSMA-положительными (21 из 28 пациентов), 18 из 39 очагов — ФДГ-положительными (16 из 28 пациентов). 38 из 39 очагов дифференцировались по данным КТ (27 из 28 пациентов), размеры варьировали от 7 до 108 мм, медиана

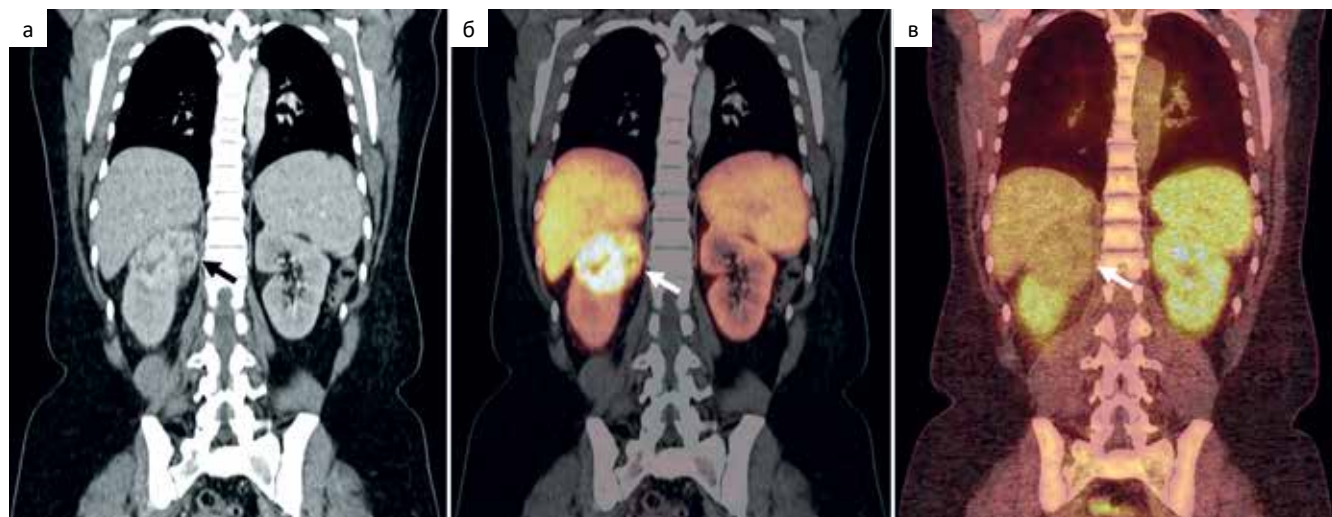


Рис. 1. а — КТ с внутривенным контрастным усилением, корональная проекция, определяется образование верхнего полюса правой почки, интенсивно неоднородно накапливающее контрастный препарат, наибольшим аксиальным размером 60 мм; б — ПЭТ/КТ всего тела с ^{18}F -PSMA-1007, корональная проекция, отмечается интенсивное накопление РФЛП в образовании правой почки до SUV_{max} 67,49, соотношение опухоль/фон 6,16; в — ПЭТ/КТ всего тела с ^{18}F -ФДГ, корональная проекция, отмечается низкоинтенсивное накопление РФЛП в образовании правой почки до SUV_{max} 3,23, соотношение опухоль/фон 0,66

Fig. 1. а — CT scan with intravenous contrast enhancement, coronal projection, tumor of the upper pole of the right kidney, intensely and heterogeneously accumulating contrast agent, with the largest axial size of 60 mm; б — whole-body PET/CT with ^{18}F -PSMA-1007, coronal projection, intensive accumulation of RP in the right kidney tumor up to SUV_{max} 67.49, tumor/background ratio 6.16; в — whole-body PET/CT with ^{18}F -FDG, coronal projection, low-intensity accumulation of RP in the right kidney mass up to SUV_{max} 3.23, tumor/background ratio 0.66

Таблица 1. Статистические характеристики уровня накопления SUV_{max} и соотношения опухоль/фон (TBR) в первичных очагах сПКР

Table 1. Statistical characteristics of SUV_{max} accumulation rate and tumor/background ratio (TBR) in primary foci of ccRCC

	Минимальное значение	Первый квартиль	Медиана	Третий квартиль	Максимальное значение	Среднее значение	Стандартное отклонение
^{18}F -PSMA-1007 (SUV_{max})	4,27	11,43	18,38	29,3	85,33	23,6	18,54
^{18}F -ФДГ (SUV_{max})	1,56	3,18	4,19	5,82	17,06	5,231	3,492
^{18}F -PSMA-1007 (TBR)	0,3683	0,7643	1,081	1,447	6,158	1,535	1,324
^{18}F -ФДГ (TBR)	0,3562	0,7831	0,9367	1,523	5,764	1,318	1,028

25 мм, среднее значение 37,3 мм. Ложноположительных очагов в почках выявлено не было (рис. 1).

Уровень накопления SUV_{max} ^{18}F -PSMA-1007 варьировал от 4,27 до 85,33, медиана 18,38, среднее значение 23,60 (табл. 1).

Уровень накопления SUV_{max} ^{18}F -ФДГ варьировал от 1,56 до 17,06, медиана 4,19, среднее значение 5,23 (табл. 1).

Соотношение опухоль/фон при сканировании с ^{18}F -PSMA-1007 варьировало от 0,37 до 6,16, медиана 1,08, среднее значение 1,53 (табл. 1).

Соотношение опухоль/фон при сканировании с ^{18}F -ФДГ варьировало от 0,36 до 5,76, медиана 0,94, среднее значение 1,3 (табл. 1).

Чувствительность и специфичность ^{18}F -PSMA-1007 в диагностике первичного очага сПКР составили 75 и 100 %, положительная прогностическая ценность и отрицательная прогностическая ценность — 100 и 85 % соответственно (табл. 2).

Чувствительность и специфичность ^{18}F -ФДГ в диагностике первичного очага сПКР составили 57 и 100 %, положительная прогностическая ценность и отрицательная прогностическая ценность — 100 и 76 % соответственно (табл. 2).

Была выявлена прямая линейная корреляция SUV_{max} и отношения опухоль/фон с размерами опухоли для обоих РФЛП (рис. 2).

Уровень накопления SUV_{max} ^{18}F -PSMA-1007 превышал ^{18}F -ФДГ в 38 из 39 очагов (у 27 из 28

пациентов). Несмотря на это, соотношение опухоль/фон при сканированиях с ^{18}F -PSMA-1007 превышало аналогичный показатель ^{18}F -ФДГ только в 24 из 39 очагов (у 16 из 28 пациентов), вероятно, вследствие более высокого фонового накопления ^{18}F -PSMA-1007 (среднее значение 17,37 против 4,17 при сканировании с ^{18}F -ФДГ) (рис. 3).

Наиболее низкие значения фонового накопления обоих РФЛП отмечены у двух пациентов с выраженным снижением функции почек (суммарно 3 очага): для ^{18}F -PSMA-1007 значения составили 3,79 и 2,78, для ^{18}F -ФДГ — 3,11 и 2,96. По данным ПЭТ с ^{18}F -PSMA-1007 положительными оказались все 3 очага, несмотря на низкий уровень SUV_{max} одного из них (4,7). По данным ПЭТ с ^{18}F -ФДГ, соотношение опухоль/фон превысило значение 1,0 в двух из трех очагов.

Опухолевый тромбоз почечной вены был выявлен у 6 пациентов. По данным ПЭТ с ^{18}F -PSMA-1007, все 6 очагов оказались положительными. ПЭТ с ^{18}F -ФДГ выявила 5 из 6 очагов.

Уровень накопления SUV_{max} ^{18}F -PSMA-1007 в опухолевых тромбах варьировал от 9,78 до 18,29, медиана 15,21, среднее значение составляло 14,29 (табл. 3).

Уровень накопления SUV_{max} ^{18}F -ФДГ в опухолевых тромбах варьировал от 2,01 до 8,34, медиана 4,59, среднее значение 4,98 (табл. 3).

Соотношение опухоль/фон в опухолевом тромбе при сканированиях с ^{18}F -PSMA-1007 варьировало от 4,00 до 11,08, медиана 8,59, среднее значение 8,27 (табл. 3).

Соотношение опухоль/фон в опухолевом тромбе при сканированиях с ^{18}F -ФДГ варьировало от 0,77 до 4,21, медиана 1,91, среднее значение 2,24 (табл. 3).

Уровень накопления SUV_{max} ^{18}F -PSMA-1007 в тромбах превышал ^{18}F -ФДГ у всех 6 пациентов, соотношение опухоль/фон — у 5 из 6 пациентов.

Местный рецидив был выявлен у 13 из 20 пациентов (всего 27 образований). У 7 пациентов были выявлены постоперационные изменения, подозрительные в отношении опухолевого процесса по данным КТ и/или ПЭТ (9 — с ^{18}F -ФДГ, 3 — с ^{18}F -PSMA-1007, суммарно 10 очагов), расцененные как ложноположительные очаги при наблюдении в динамике (рис. 4, 5).

Уровень накопления SUV_{max} ^{18}F -PSMA-1007 в рецидивных очагах варьировал от 1,2 до 68,99, медиана 10,68, среднее значение 14,06 (табл. 4).

Уровень накопления SUV_{max} ^{18}F -ФДГ в рецидивных очагах варьировал от 0,85 до 9,59, медиана 3,01, среднее значение 4,19 (табл. 4).

Соотношение опухоль/фон рецидивных очагов при сканированиях с ^{18}F -PSMA-1007 варьировало от 1,91 до 57,02, медиана 12,16, среднее значение 17,18 (табл. 4).

Таблица 2. Чувствительность, специфичность, положительная и отрицательная прогностическая ценность в диагностике первичных очагов сПКР

Table 2. Sensitivity, specificity, positive and negative predictive value in primary ccRCC diagnostics

	Чувствительность, %	Специфичность, %	Положительная прогностическая ценность, %	Отрицательная прогностическая ценность, %
^{18}F -PSMA-1007	75	100	100	85
^{18}F -ФДГ	57	100	100	76

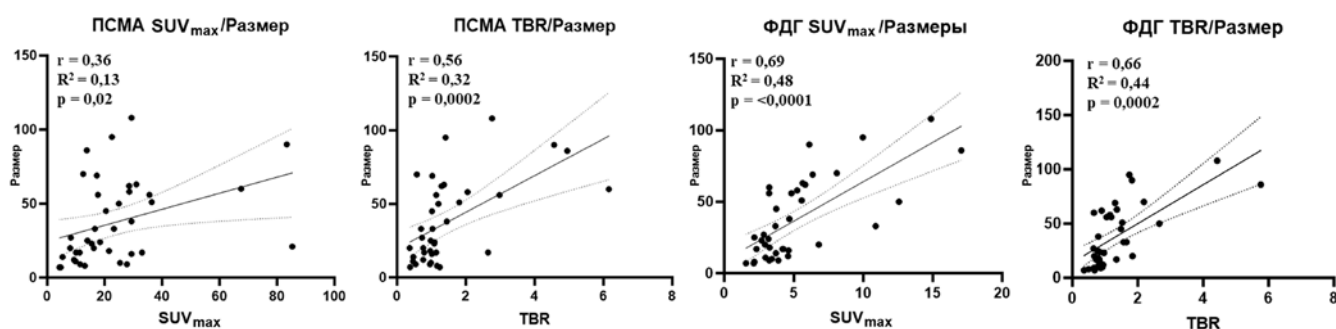


Рис. 2. Слабая корреляция SUV_{max} и средняя корреляция TBR при ПЭТ с ^{18}F -PSMA-1007 с размерами первичного очага сПКР; средняя корреляция SUV_{max} и TBR при ПЭТ с ^{18}F -ФДГ с размерами первичного очага сПКР

Fig. 2. Weak correlation of SUV_{max} and intermediate correlation of TBR in PSMA-PET with the size of the primary ccRCC focus; intermediate correlation of SUV_{max} and TBR in FDG-PET with the size of the primary ccRCC focus

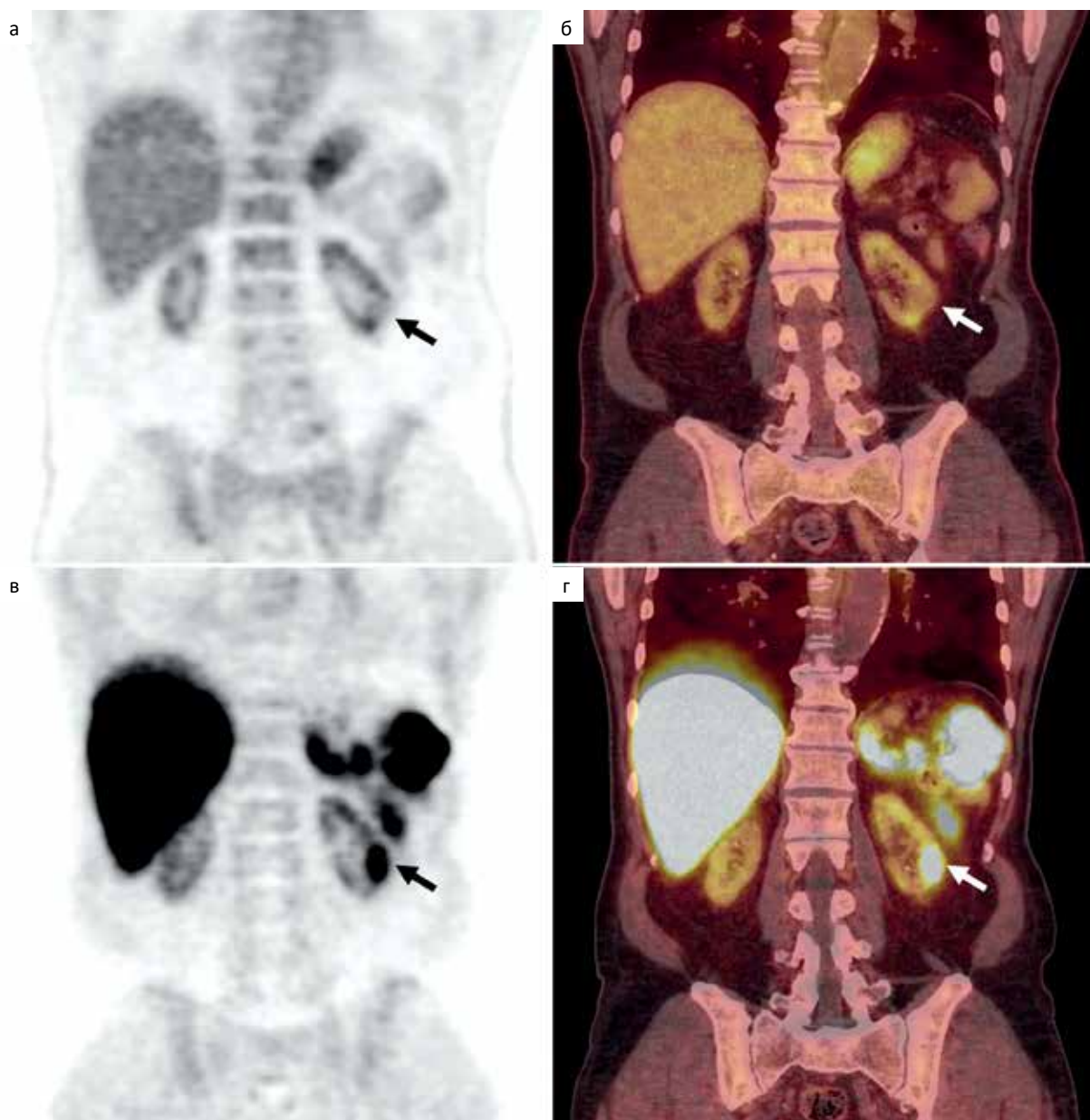


Рис. 3. а, б — ПЭТ и ПЭТ/КТ всего тела с ^{18}F -ФДГ, корональная проекция, отмечается низкоинтенсивное накопление РФЛП в образовании левой почки до SUV_{max} 2,11, соотношение опухоль/фон 0,68; в, г — ПЭТ и ПЭТ/КТ всего тела с ^{18}F -PSMA-1007, корональная проекция, на фоне сниженного накопления РФЛП в интактной паренхиме отмечается интенсивная гиперфиксация в образовании левой почки до SUV_{max} 10,03, соотношение опухоль/фон 2,65
Fig. 3. а, б — Whole-body FDG-PET and PET/CT, coronal projection, low-intensity RP accumulation is noted in the left kidney tumor up to SUV_{max} 2.11, tumor/background ratio 0.68; в, г — Whole-body PSMA-PET and PET/CT, coronal projection, reduced RP accumulation in intact renal parenchyma, intense hyperfixation is noted in the left kidney tumor up to SUV_{max} 10.03, tumor/background ratio 2.65

Таблица 3. Статистические характеристики уровня накопления SUV_{max} и соотношения опухоль/фон (TBR) в опухолевых тромбах сПКР

Table 3. Statistical characteristics of SUV_{max} accumulation rate and tumor/background ratio (TBR) in ccRCC tumor thrombi

	Минимальное значение	Первый квартиль	Медиана	Третий квартиль	Максимальное значение	Среднее значение	Стандартное отклонение
^{18}F -PSMA-1007 (SUV_{max})	9,78	10,13	15,21	17,32	18,29	14,29	3,651
^{18}F ФДГ (SUV_{max})	2,01	2,648	4,595	7,718	8,34	4,985	2,612
^{18}F -PSMA-1007 (TBR)	4,004	6,203	8,597	10,57	11,08	8,271	2,598
^{18}F ФДГ (TBR)	0,7731	1,225	1,915	3,491	4,212	2,24	1,281

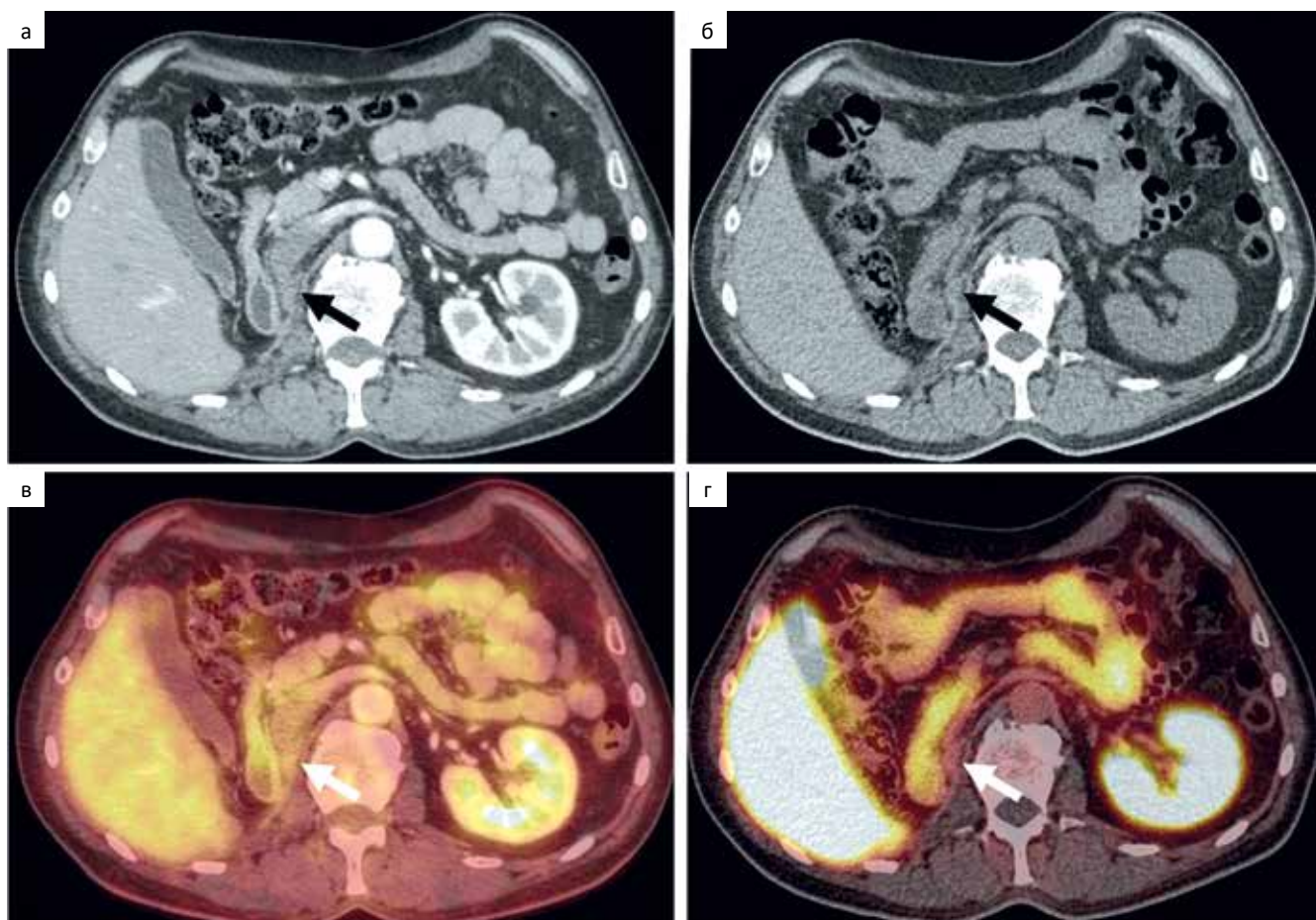


Рис. 4. а, б — КТ, аксиальная проекция, определяется уплотнение в области ложа правой почки; в — ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ, аксиальная проекция, отмечается накопление РФЛП в уплотнении ложа правой почки до SUV_{max} 2,31, соотношение опухоль/фон 3,55; г — ПЭТ/КТ с ^{18}F -PSMA-1007, аксиальная проекция, без повышения накопления РФЛП в уплотнении ложа правой почки. Очаг был расценен как участок постоперационных изменений, пациент направлен на динамическое наблюдение — без признаков рецидива по настоящее время

Fig. 4. а, б — CT scan, axial projection, lesion is detected in the right kidney bed; в — FDG-PET/CT, axial projection, RP accumulation in the right kidney bed lesion is noted, up to SUV_{max} 2.31, tumor/background ratio 3.55; г — PET/CT with ^{18}F -PSMA-1007, axial projection, no increase in RFP accumulation in the right kidney bed lesion. The focus was considered as a postsurgical, the patient was sent for dynamic follow-up — no signs of recurrence to date

Таблица 4. Статистические характеристики уровня накопления SUV_{max} и соотношения опухоль/фон (TBR) в рецидивных очагах сПКР

Table 4. Statistical characteristics of SUV_{max} accumulation rate and tumor/background ratio (TBR) in recurrent ccRCC foci

	Минимальное значение	Первый квартиль	Медиана	Третий квартиль	Максимальное значение	Среднее значение	Стандартное отклонение
^{18}F -PSMA-1007 (SUV_{max})	1,2	3,94	10,68	20,77	68,99	14,06	13,95
^{18}F ФДГ (SUV_{max})	0,85	2,45	3,01	5,66	9,59	4,197	2,555
^{18}F -PSMA-1007 (TBR)	1,905	4,767	12,16	28,17	57,02	17,18	14,33
^{18}F ФДГ (TBR)	1,354	2,982	4,633	5,964	11,65	4,872	2,507

Соотношение опухоль/фон рецидивных очагов при сканировании с ^{18}F -ФДГ варьировало от 1,35 до 11,65, медиана 4,63, среднее значение 4,87 (табл. 4).

Чувствительность и специфичность ^{18}F -PSMA-1007 в диагностике местного рецидива сПКР составили 100 и 94 %, положительная

прогностическая ценность и отрицательная прогностическая ценность — 81 и 100 % соответственно (табл. 5).

Чувствительность и специфичность ^{18}F -ФДГ в диагностике местного рецидива сПКР составили 100 и 89 %, положительная прогностическая ценность и отрицательная прогности-

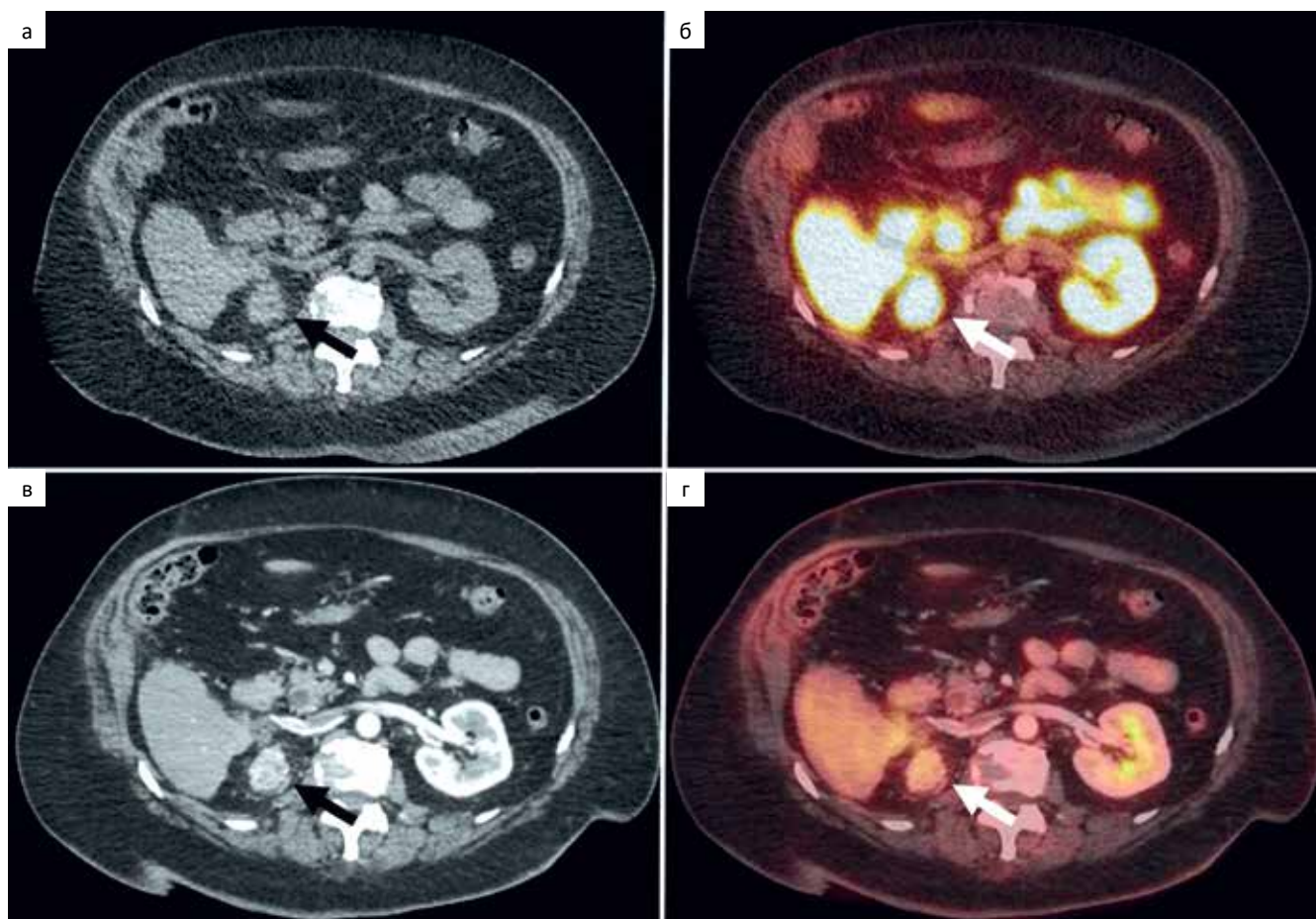


Рис. 5. а, в — КТ, аксиальная проекция, определяется узел в области ложа правой почки, интенсивно накапливающий контрастный препарат; г — ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ, аксиальная проекция, отмечается накопление РФЛП в образовании ложа правой почки до SUV_{max} 4,32, соотношение опухоль/фон 4,08; б — ПЭТ/КТ с ^{18}F -PSMA-1007, аксиальная проекция, отмечается накопление РФЛП в образовании ложа правой почки до SUV_{max} 27,45, соотношение опухоль/фон 39,21

Fig. 5. а, в — CT scan, axial projection, a lesion is detected in the right kidney bed, intensively accumulating contrast agent; г — FDG-PET/CT, axial projection, RP accumulation in the right kidney bed lesion is noted up to SUV_{max} 4.32, tumor/background ratio 4.08; б — PSMA-PET/CT, axial projection, RP accumulation in the right kidney bed lesion up to SUV_{max} 27.45, tumor/background ratio 39.21

Таблица 5. Чувствительность, специфичность, положительная и отрицательная прогностическая ценность в диагностике рецидивных очагов СПКР

Table 5. Sensitivity, specificity, positive and negative predictive value in recurrent ccRCC diagnostics

	Чувствительность	Специфичность	Положительная прогностическая ценность	Отрицательная прогностическая ценность
^{18}F -PSMA-1007	100	94	81	100
^{18}F ФДГ	100	89	68	100

ческая ценность — 68 и 100 % соответственно (табл. 5).

Была выявлена прямая линейная корреляция SUV_{max} и отношения опухоль/фон с размерами рецидивных узлов для обоих РФЛП (рис. 6).

Обсуждение и выводы

В целях диагностики ПКР, ^{18}F -PSMA-1007 — слабоизученный РФЛП, представленный в литературе преимущественно отдельными клиническими наблюдениями и единичными исследованиями на малых когортах пациен-

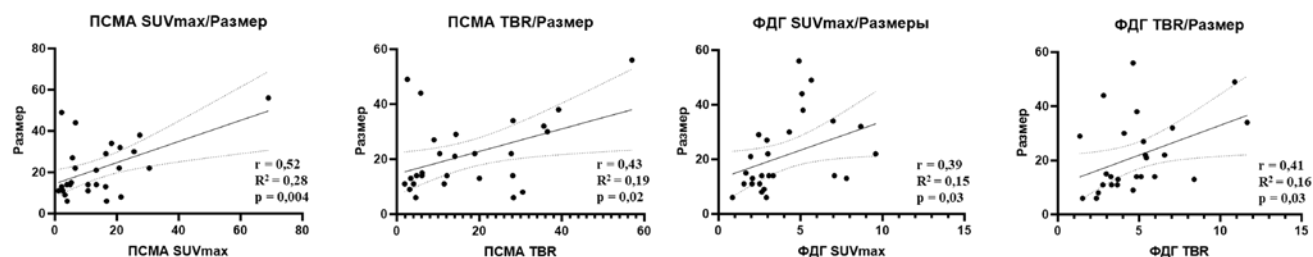


Рис. 6. Средняя корреляция SUV_{max} и слабая корреляция TBR при ПЭТ с ^{18}F -PSMA-1007 с размерами рецидивного очага сПКР; слабая корреляция SUV_{max} и TBR при ПЭТ с ^{18}F -ФДГ с размерами рецидивного очага сПКР

Fig. 6. Intermediate correlation of SUV_{max} and weak correlation of TBR in PSMA-PET with the size of recurrent ccRCC foci; weak correlation of SUV_{max} and TBR in FDG-PET with the size of recurrent ccRCC foci

тов. Сравнительно крупные исследования, посвященные ^{18}F -PSMA-1007 в диагностике ПКР, рассматривают возможности данного РФЛП лишь в оценке эффективности проводимой терапии при метастатическом сПКР. Публикаций, посвященных оценке первичной опухоли при помощи ПЭТ/КТ с ^{18}F -PSMA-1007, обнаружено не было [18–20].

В мировой литературе существует значительное количество статей, раскрывающих возможности других PSMA-специфичных препаратов в диагностике ПКР, в частности — ^{18}F -DCFPyL и ^{68}Ga -PSMA-HBED-CC (^{68}Ga -PSMA-11). В большей части публикаций, количество анализируемых первичных образований невелико, однако имеются единичные исследования на достаточно больших когортах пациентов, посвященные этому вопросу [20, 22–25]. По причине разницы лигандов и радионуклидов, прямое сравнение уровня накопления SUV_{max} и соотношения опухоль/фон с данными литературы невозможно. Стоит отметить, что ^{68}Ga -PSMA-11 обладает также существенно более высоким уровнем накопления в интактной паренхиме почек — вплоть до SUV_{max} 94 [26].

В диагностике первичной опухоли сПКР, точность, чувствительность и специфичность ПЭТ/КТ с PSMA достигает, по данным литературы, 100 %. В нашем исследовании, специфичность оказалась высокой (также, до 100 %), что соотносится с литературными данными. С другой стороны, чувствительность ПЭТ/КТ с ^{18}F -PSMA-1007, хоть и превысила таковую для ^{18}F -ФДГ, оказалась ниже, чем в некоторых исследованиях. Вероятно, это связано с тем, что в качестве критерия PSMA-позитивного очага в отдельных публикациях принималось пороговое значение $\text{SUV}_{\text{max}} > 2,00$ [21, 22]. Применив схожие критерии в нашем исследовании, мы бы получили значение чувствительности, равное 100 %, однако авторским коллективом было

принято решение выбрать значение соотношения опухоль/фон $> 1,00$, как наиболее точно отвечающее реальной практической деятельности.

Определенный интерес представляет вышеописанное снижение уровня физиологического накопления ^{18}F -PSMA-1007 у пациентов с нарушением функции почек. Данный феномен описан и в мировой литературе: существуют отдельные исследования, проведенные как с ^{18}F -PSMA-1007, так и с ^{68}Ga -PSMA-11, демонстрирующие возможность оценки отдельной функции почек при помощи ПЭТ/КТ с PSMA, с точностью, не уступающей нефросцинтиграфии с препаратом $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MAG-3 [27, 28]. Более высокое соотношение опухоль/фон при ПЭТ/КТ с ^{18}F -PSMA-1007 у пациентов с выраженным снижением функции почек может быть существенным преимуществом в диагностике первичного очага сПКР.

В оценке немногочисленных опухолевых тромбов, ПЭТ с ^{18}F -PSMA-1007 оказалась эффективнее, чем с ^{18}F -ФДГ, дискордантных результатов по сравнению с КТ с контрастным усилением выявлено не было. В мировой литературе имеются отдельные свидетельства того, что ПЭТ с PSMA может предоставлять дополнительную информацию о распространенности опухолевого тромбоза при раке почки в сравнении с МРТ и КТ (в частности, при вовлечении поясничных вен), однако когорты пациентов невелика — требуются дальнейшие исследования [29].

В оценке местного рецидива сПКР, ПЭТ/КТ с ^{18}F -PSMA-1007 продемонстрировала чувствительность на уровне 100 % и специфичность, превышающую таковую при ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ. По данным литературы, возможности ПЭТ/КТ с PSMA в диагностике местного рецидива ПКР отдельно не рассматривались; отдельные публикации свидетельствуют о более высокой эффективности PSMA в дифференциальной ди-

агностике местного рецидива и постоперационных изменений при раке почки по сравнению с ^{18}F -ФДГ и КТ, что соотносится с данными, полученными в нашем исследовании [20, 21, 30].

Выявленная корреляция размеров первичной опухоли и рецидивных узлов с уровнем накопления SUV_{max} и соотношением опухоль/фон оказалась вполне закономерным результатом, схожие данные были получены в некоторых зарубежных публикациях [20, 22–25]. Вероятно, это может быть связано с тем, что по данным отдельных исследований уровень накопления SUV_{max} в образовании коррелирует со степенью злокачественности (WHO/ISUP grade) и наличием неблагоприятных гистологических факторов риска (таких как саркоматоидный и рабдоидный компонент), которые могут быть связаны с большей агрессивностью опухолевого процесса [22, 23]. Интересно, что отдельные исследования демонстрируют корреляцию уровня накопления PSMA с экспрессией различных рецепторов на поверхности опухолевых клеток (таких как VEGFR-2, PDGFR- β и HIF-2 $^{\alpha}$). Потенциально, данный феномен может быть использован при планировании терапии ингибиторами тирозинкиназы и ингибиторами HIF-2 $^{\alpha}$. В нашем исследовании данные по экспрессии указанных факторов доступны не были [24, 25].

Несмотря на то, что ПЭТ/КТ с ^{18}F -PSMA-1007 в целом продемонстрировала лучшие результаты в диагностике первичного очага сПКР в сравнении с ^{18}F -ФДГ, такие методы, как УЗИ, КТ и МРТ значительно доступнее, а предоставляемая ими диагностическая информация не уступает (и даже превышает) таковую при ПЭТ/КТ [31]. Определенный интерес представляют отдельные исследования, посвященные дифференциальной диагностике злокачественных и доброкачественных новообразований по данным ПЭТ/КТ с PSMA, однако данный вопрос требует дальнейшего изучения [31].

Наибольший интерес представляют возможности данного РФЛП в диагностике метастатического рака почки. По данным литературы, ПЭТ/КТ с PSMA демонстрирует высокую чувствительность, специфичность и положительную прогностическую ценность при выявлении метастазов сПКР, достигающую 100 % [32]. Более того, ПЭТ/КТ с PSMA позволяет выявить большее количество метастатических очагов, по сравнению с данными ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ, в первую очередь — в костях [30, 32]. В НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина собран значительный проспективный материал, посвященный возможностям ПЭТ/КТ с ^{18}F -PSMA-1007 в диа-

гностике метастатического сПКР, который станет основой для дальнейшего изучения данного РФЛП при раке почки.

Список литературы / References

1. Sung H, Ferlay J, Siegel RL, et al. Global Cancer Statistics 2020: GLOBOCAN Estimates of Incidence and Mortality Worldwide for 36 Cancers in 185 Countries. *CA Cancer J Clin.* 2021;71(3):209-49. <https://doi.org/10.3322/caac.21660>.
2. Шахзадова АО, Старинский ВВ, Лисичникова ИВ. Состояние онкологической помощи населению России в 2022 г. *Сибирский онкологический журнал.* 2023;22(5):5-13. <https://doi.org/10.21294/1814-4861-2023-22-5-5-13>. Shakhzadova AO, Starinsky VV, Lisichnikova IV. Cancer care to the population of Russia in 2022. *Siberian Journal of Oncology.* 2023;22(5):5-13. (In Russ.).
3. Motzer RJ, Jonasch E, Agarwal N, et al. Kidney Cancer, Version 3.2022, NCCN Clinical Practice Guidelines in Oncology. *J Natl Compr Canc Netw.* 2022;20(1):71-90. <https://doi.org/10.6004/jnccn.2022.0001>.
4. Odeh S, Samarska IV, Matoso A, et al. Histologic re-evaluation of a population-based series of renal cell carcinomas from The Netherlands Cohort Study according to the 2022 ISUP/WHO classification. *Oncol Lett.* 2023;25(5):174. <https://doi.org/10.3892/ol.2023.13760>.
5. Zaucha JM, Chauvie S, Zaucha R, Biggii A, Gallamini A. The role of PET/CT in the modern treatment of Hodgkin lymphoma. *Cancer Treat Rev.* 2019;77:44-56. <https://doi.org/10.1016/j.ctrv.2019.06.002>.
6. Farolfi A, Koschel S, Murphy DG, Fanti S. PET imaging in urology: a rapidly growing successful collaboration. *Curr Opin Urol.* 2020;30(5):623-7. <https://doi.org/10.1097/MOU.0000000000000800>.
7. García Garzón JR, de Arcocha Torres M, Delgado-Bolton R, et al. ^{68}Ga -PSMA PET/CT in prostate cancer. La PET/TC con ^{68}Ga -PSMA en el cáncer de próstata. *Rev Esp Med Nucl Imagen Mol.* 2018;37(2):130-8. <https://doi.org/10.1016/j.remnm.2017.07.004>.
8. Karivedu V, Jain AL, Eluvathingal TJ, Sidana A. Role of Positron Emission Tomography Imaging in Metabolically Active Renal Cell Carcinoma. *Curr Urol Rep.* 2019;20(10):56. <https://doi.org/10.1007/s11934-019-0932-2>.
9. Afshar-Oromieh A, et al. The Rise of PSMA Ligands for Diagnosis and Therapy of Prostate Cancer. *J Nucl Med.* 2016;57(Suppl 3):79S-89S. <https://doi.org/10.2967/jnumed.115.170720>.
10. Wester HJ, Schottelius M. PSMA-Targeted Radiopharmaceuticals for Imaging and Therapy. *Semin Nucl Med.* 2019;49(4):302-312. <https://doi.org/10.1053/j.semnuclmed.2019.02.008>.
11. Kuten, et al. Head-to-Head Comparison of ^{68}Ga -PSMA-11 with ^{18}F -PSMA-1007 PET/CT in Staging Prostate Cancer. *J Nucl Med.* 2020;61(4):527-32. <https://doi.org/10.2967/jnumed.119.234187>.
12. Spatz S, et al. Comprehensive Evaluation of Prostate Specific Membrane Antigen Expression in the Vasculature of Renal Tumors. *J Urol.* 2018;199(2):370-7. <https://doi.org/10.1016/j.juro.2017.08.079>.
13. Al-Ahmadie HA, Olgac S, Gregor PD, et al. Expression of prostate-specific membrane antigen in renal cortical tumors. *Mod Pathol.* 2008;21(6):727-32. <https://doi.org/10.1038/modpathol.2008.42>.

14. Baccala A, Sercia L, Li J, Heston W, Zhou M. Expression of prostate-specific membrane antigen in tumor-associated neovascularization of renal neoplasms. *Urology*. 2007;70(2):385-90. <https://doi.org/10.1016/j.urolgy.2007.03.025>.
15. Dietlein F, Kobe C, Hohberg M, et al. Intraindividual Comparison of 18F-PSMA-1007 with Renally Excreted PSMA Ligands for PSMA PET Imaging in Patients with Relapsed Prostate Cancer. *J Nucl Med*. 2020;61(5):729-34. <https://doi.org/10.2967/jnumed.119.234898>.
16. Giesel FL, Hadaschik B, Cardinale J, et al. F-18 labelled PSMA-1007: biodistribution, radiation dosimetry and histopathological validation of tumor lesions in prostate cancer patients. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2017;44(4):678-88. <https://doi.org/10.1007/s00259-016-3573-4>.
17. Dietlein F, Kobe C, Hohberg M, et al. Intraindividual Comparison of 18F-PSMA-1007 with Renally Excreted PSMA Ligands for PSMA PET Imaging in Patients with Relapsed Prostate Cancer. *J Nucl Med*. 2020;61(5):729-34. <https://doi.org/10.2967/jnumed.119.234898>.
18. Pathmanathan S, Tariq A, Pearce A, et al. Clinical impact of Prostate-Specific Membrane Antigen Positron Emission Tomography (PET) on intensification or deintensification of advanced renal cell carcinoma management. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2023;51(1):295-303. <https://doi.org/10.1007/s00259-023-06380-4>.
19. Mittlmeier LM, Unterrainer M, Rodler S, et al. 18F-PSMA-1007 PET/CT for response assessment in patients with metastatic renal cell carcinoma undergoing tyrosine kinase or checkpoint inhibitor therapy: preliminary results. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2021;48(6):2031-7. <https://doi.org/10.1007/s00259-020-05165-3>.
20. Urso L, Castello A, Rocca GC, et al. Role of PSMA-ligands imaging in Renal Cell Carcinoma management: current status and future perspectives. *J Cancer Res Clin Oncol*. 2022;148(6):1299-311. <https://doi.org/10.1007/s00432-022-03958-7>.
21. Raveenthiran S, Esler R, Yaxley J, Kyle S. The use of 68Ga-PET/CT PSMA in the staging of primary and suspected recurrent renal cell carcinoma. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2019;46(11):2280-8. <https://doi.org/10.1007/s00259-019-04432-2>.
22. Li Y, Zheng R, Zhang Y, et al. Special issue "The advance of solid tumor research in China": 68Ga-PSMA-11 PET/CT for evaluating primary and metastatic lesions in different histological subtypes of renal cell carcinoma. *Int J Cancer*. 2023;152(1):42-50. <https://doi.org/10.1002/ijc.34189>.
23. Gao J, Xu Q, Fu Y, et al. Comprehensive evaluation of 68Ga-PSMA-11 PET/CT parameters for discriminating pathological characteristics in primary clear-cell renal cell carcinoma. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2021;48(2):561-9. <https://doi.org/10.1007/s00259-020-04916-6>.
24. Gao J, Meng L, Xu Q, et al. 68Ga-PSMA-11 PET/CT Parameter Correlates with Pathological VEGFR-2/PDGFR-β Expression in Renal Cell Carcinoma Patients. *Mol Imaging Biol*. 2022;24(5):759-68. <https://doi.org/10.1007/s11307-022-01725-1>.
25. Meng L, Zhang S, Gao J, et al. [68Ga]Ga-PSMA-11 PET/CT has potential application in predicting tumor HIF-2α expression and therapeutic response to HIF-2α antagonists in patients with RCC. *Eur Radiol*. 2022;32(9):6545-53. <https://doi.org/10.1007/s00330-022-08738-y>.
26. Sawicki LM, Buchbender C, Boos J, et al. Diagnostic potential of PET/CT using a 68Ga-labelled prostate-specific membrane antigen ligand in whole-body staging of renal cell carcinoma: initial experience. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2017;44(1):102-7. <https://doi.org/10.1007/s00259-016-3360-2>.
27. Rosar F, Pauly P, Ries M, et al. Determination of split renal function by PSMA imaging: comparison of 68Ga-PSMA-11 PET with 99mTc-MAG3 scintigraphy. *Am J Nucl Med Mol Imaging*. 2020;10(5):249-56.
28. Rassek P, Schäfers M, Rahbar K, Backhaus P. [18F]-PSMA-1007-PET for evaluation of kidney function. *Nuklearmedizin*. 2023;62(4):244-251. <https://doi.org/10.1055/a-2127-7880>.
29. Tariq A, McGeorge S, Pearce A, et al. Characterization of tumor thrombus in renal cell carcinoma with prostate specific membrane antigen (PSMA) positron emission tomography (PET)/computed tomography (CT). *Urol Oncol*. 2022;40(6):276.e1-276.e9. <https://doi.org/10.1016/j.urolonc.2022.03.007>.
30. Liu Y, Wang G, Yu H, et al. Comparison of 18F-DCFPyL and 18F-FDG PET/computed tomography for the restaging of clear cell renal cell carcinoma: preliminary results of 15 patients. *Nucl Med Commun*. 2020;41(12):1299-305. <https://doi.org/10.1097/MNM.0000000000001285>.
31. Nicolau C, Antunes N, Paño B, Sebastia C. Imaging Characterization of Renal Masses. *Medicina (Kaunas)*. 2021;57(1):51. <https://doi.org/10.3390/medicina57010051>.
32. Golan S, Aviv T, Groshar D, et al. Dynamic 68Ga-PSMA-11 PET/CT for the Primary Evaluation of Localized Renal Mass: A Prospective Study. *J Nucl Med*. 2021;62(6):773-8. <https://doi.org/10.2967/jnumed.120.251272>.
33. Rizzo A, Racca M, Dall'Armellina S, et al. The Emerging Role of PET/CT with PSMA-Targeting Radiopharmaceuticals in Clear Cell Renal Cancer: An Updated Systematic Review. *Cancers (Basel)*. 2023;15(2):355. <https://doi.org/10.3390/cancers15020355>.

Участие авторов

В.С. Ильяков: написание текста рукописи, сбор данных для анализа, анализ полученных данных;
 А.И. Пронин: разработка дизайна исследования, обзор публикаций по теме статьи, анализ полученных данных;
 А.В. Парнас: разработка дизайна исследования, анализ полученных данных;
 А.С. Субботин: разработка дизайна исследования
 А.С. Крылов: сбор данных для анализа
 Т.М. Гелиашвили: обзор публикаций по теме статьи
 Е.В. Безумова: анализ полученных данных
 О.В. Мехедова: анализ полученных данных
 Н.И. Нестерова: обзор публикаций по теме статьи
 В.Б. Матвеев: анализ и интерпретация полученных данных, консультативная помощь, редактирование.

Authors' participation

V.S. Ilyakov: article writing, obtaining data for analysis, analysis of the obtained data
 A.I. Pronin: developing the research design, reviewing of publications of the article's theme, analysis of the obtained data
 A.V. Parnas: analysis of the obtained data, developing the research design
 A.S. Subbotin: developing the research design
 A.S. Krylov: obtaining data for analysis
 T.M. Geliashvili: reviewing of publications of the article's theme
 E.V. Bezumova: analysis of the obtained data
 O.V. Mehedova: analysis of the obtained data
 N.I. Nesterova: reviewing of publications of the article's theme
 V.B. Matveev: analysis and interpretation of the obtained data, advisory assistance, editing.

Информированное согласие. Пациенты подписали информированное согласие на участие в исследовании.

Informed consent. Patients signed informed consent to participate in the study.

Соответствие принципам этики. Одобрение этического комитета не требовалось.

Ethical compliance. Ethical committee approval was not necessary.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Финансирование: Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Financing: The study had no sponsorship.

Тип статьи: Оригинальная статья.

Article type: Original article.

Поступила: 16.03.2024.

Received: 10.04.2024.

Принята к публикации: 08.05.2024.

Accepted for publication: 23.05.2024.

Опубликована online: 26.06.2024.

Published online: 26.06.2024.

Сведения об авторах

Для корреспонденции: *Ильяков Вадим Сергеевич — врач-радиолог отделения радионуклидной диагностики № 2 отдела радионуклидной диагностики и терапии НИИ КиЭР, аспирант; e-mail: vadimilakov075@gmail.com; eLibrary SPIN: 5726-0148.

Пронин Артем Игоревич — к.м.н., врач-радиолог, заведующий отделом радионуклидной диагностики и терапии, заведующий отделением радионуклидной диагностики № 2; eLibrary SPIN: 2833-8191.

Парнас Александр Вадимович — врач-радиолог отделения радионуклидной диагностики № 2 отдела радионуклидной диа-

гностики и терапии, аспирант; e-mail: alexandrparnas@gmail.com; eLibrary SPIN: 1797-3900.

Субботин Алексей Сергеевич — м.н.с., врач-рентгенолог, отделения радионуклидной диагностики № 2.

Крылов Александр Сергеевич — к.м.н., доцент, заведующий отделением радионуклидной диагностики № 1; krilovas@rambler.ru; eLibrary SPIN: 4254-3930.

Гелиашвили Тамара Мамуковна — к.м.н., заведующая отделением радионуклидной терапии, врач-радиолог, врач-онколог; geliashvili_tata@mail.ru; eLibrary SPIN: 5217-6844.

Безумова Елизавета Витальевна — инженер и медицинский физик отделения радионуклидной диагностики № 2. Liza_bz@mail.ru; eLibrary SPIN: 8537-3407.

Ольга Мехедова — руководитель блока, инженер-радиохимик циклотронно-радиохимического блока отделения радионуклидной диагностики № 2; olga-mehedova@mail.ru; eLibrary SPIN: 2232-3772.

Нестерова Наталия Игоревна — инженер-радиохимик группы научно-технических разработок отдела радионуклидной диагностики и терапии; n_i_nesterova@mail.ru.

Матвеев Всеволод Борисович — д.м.н., заместитель директора по научной и инновационной работе, заведующий отделением онкоурологии, профессор, член-корреспондент РАН; eLibrary SPIN: 1741-9963.

Information about the authors

Contact*: Vadim S. Ilyakov, <https://orcid.org/0000-0002-5375-2498>, e-mail: vadimilakov075@gmail.com.

Artem I. Pronin, <https://orcid.org/0000-0003-1632-351X>.

Alexander V. Parnas, <https://orcid.org/0000-0002-2963-4176>.

Alexey S. Subbotin, <https://orcid.org/0000-0002-4648-2362>.

Alexander S. Krylov, <https://orcid.org/0000-0002-8476-7879>.

Tamara M. Geliashvili, <https://orcid.org/0000-0003-4122-9285>.

Elizaveta V. Bezumova, <https://orcid.org/0000-0002-3975-1130>.

Olga V. Mehedova, <https://orcid.org/0000-0002-8260-3520>.

Natalia I. Nesterova, <https://orcid.org/0000-0003-2312-6020>.

Vsevolod B. Matveev, <https://orcid.org/0000-0001-7748-9527>.