

УДК 616-006.66

<http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2022-13-4-46-56>

ОПТИМИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА СТАДИРОВАНИЯ ВПЕРВЫЕ ВЫЯВЛЕННОГО РАКА ПРЕДСТАТЕЛЬНОЙ ЖЕЛЕЗЫ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ ПЭТ/КТ С ^{68}Ga -ПСМА: РЕТРОСПЕКТИВНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

¹А. Л. Долбов^{✉*}, ¹А. А. Станжевский[✉], ¹Д. Н. Майстренко[✉], ¹М. И. Школьник[✉], ^{1,2}Е. В. Розенгауз[✉],
¹О. А. Богомолов[✉], ¹Д. С. Сысов[✉], ¹В. Ф. Мус[✉]

¹Российский научный центр радиологии и хирургических технологий имени академика А. М. Гранова, Санкт-Петербург, Россия

²Северо-Западный государственный медицинский университет имени И. И. Мечникова, Санкт-Петербург, Россия

ВВЕДЕНИЕ: Рак предстательной железы (РПЖ) является наиболее распространенным злокачественным новообразованием у мужчин во всем мире и занимает третье место по смертности. Улучшение результатов стадирования впервые выявленного РПЖ по праву связано с активным использованием в клинической практике позитронно-эмиссионной томографии, совмещенной с компьютерной томографией (ПЭТ/КТ) с радиотрейсерами на основе лигандов простатспецифического мембранного антигена (ПСМА).

ЦЕЛЬ: Определить возможности ПЭТ/КТ с ^{68}Ga -ПСМА в оценке распространенности впервые выявленного РПЖ по сравнению с традиционными методами лучевой визуализации (компьютерной томографией, магнитно-резонансной томографией и остеосцинтиграфией) и установить роль этой технологии в выборе алгоритма лечения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ: 120 больным в возрасте от 46 до 74 лет (медиана 62,5 года) с гистологически верифицированным РПЖ в нашем центре была выполнена ПЭТ/КТ с ^{68}Ga -ПСМА с целью оценки распространенности заболевания. Критериями отбора для выполнения исследования являлись: уровень простатспецифического антигена (ПСА) от 5 нг/мл, наличие впервые выявленного, гистологически верифицированного РПЖ, отсутствие лечения, подозрение на метастатическое поражение лимфатических узлов таза и скелета по данным КТ, МРТ и ОСГ. Все больные подразделялись на группы по уровню ПСА и сумме баллов Глисона.

Статистика: Статистическую обработку результатов проводили методами вариационной статистики с использованием набора статистических программ Statistica 10.0, GraphPad Prism 9.3.1. Для определения достоверности различий между группами сравнения использовали критерий Вилкоксона–Манна–Уитни и Фридмана для ANOVA. Для выявления достоверности межгрупповых различий для номинальных показателей (таких как наличие предшествующих рецидивов) использовали тест хи-квадрат с поправкой Йейтса. Уровень корреляции оценивали с помощью критерия Спирмена.

РЕЗУЛЬТАТЫ: При анализе ПЭТ/КТ-изображений дополнительно к данным МРТ, КТ и ОСГ у 63 из 120 пациентов (52,3%) была изменена стадия TNM вследствие выявления дополнительных очагов метастатического поражения. Изменение данных о местном распространении опухоли с повышением стадии по критерию T за счет выявления патологического накопления РФП в семенных пузырьках у 10 из 120 пациентов (8,3%), без структурных изменений при традиционных методах лучевой визуализации. У 20 из 64 пациентов (31,3%) по данным ПЭТ/КТ было выявлено поражение регионарных лимфоузлов (N), не визуализируемое с помощью традиционных методов лучевой диагностики вследствие их малых размеров. Метастатическое поражение отдаленных лимфоузлов (M1a) и костей (M1b), не обнаруженное при КТ, МРТ и ОСГ, определялось у 27 (22,5%), и 32 (26,7%) из 120 пациентов соответственно. При этом очаги патологического накопления ^{68}Ga -ПСМА в костях без структурных изменений по данным КТ были обнаружены у 7 и 32 пациентов (21,8%).

ОБСУЖДЕНИЕ: Одной из задач настоящего исследования являлось сравнение диагностических возможностей стандартных методов лучевой диагностики, в частности МРТ, КТ и ОСГ, с гибридной технологией ПЭТ/КТ с ^{68}Ga -ПСМА, для повышения точности стадирования РПЖ с целью определения тактики лечения. Полученные результаты исследования демонстрируют минимальное превосходство ПЭТ/КТ с ^{68}Ga -ПСМА над МРТ по показателю чувствительности (96% и 94% соответственно) в оценке местной распространенности заболевания. Опухолевая инвазия семенных пузырьков в большинстве случаев была обнаружена у больных с суммой Глисона более 8 баллов. При этом была определена тенденция к увеличению уровня накопления РФП в опухолевой ткани семенных пузырьков в зависимости от группы дифференцировки РПЖ. Анализ гистологического материала, полученного после РПЭ, показал опухолевую инвазию семенных пузырьков у 26 из 70 прооперированных больных (37,1%). Совпадение результатов гистологического исследования (ГИ) с данными ПЭТ/КТ было обнаружено у 22 больных, с данными МРТ — у 20 больных. Чувствительность, специфичность, положительная прогностическая ценность и отрицательная прогностическая ценность ПЭТ/КТ составили 85%, 92%, 85% и 92%, при

© Авторы, 2022. Издательство ООО «Балтийский медицинский образовательный центр». Данная статья распространяется на условиях «открытого доступа», в соответствии с лицензией CCBY-NC-SA 4.0 («Attribution-NonCommercial-ShareAlike») / «Атрибуция-Некоммерчески-Сохранение Условий» 4.0), которая разрешает неограниченное некоммерческое использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии указания автора и источника. Чтобы ознакомиться с полными условиями данной лицензии на русском языке, посетите сайт: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.ru>

этом по результатам МРТ были получены следующие соответствующие показатели: 77%, 88%, 77% и 88%. Анализируя уровни захвата ^{68}Ga -ПСМА в опухолевой ткани, мы обнаружили, что с увеличением группы дифференцировки РПЖ наблюдается стойкое повышение накопления РФП в опухолевой ткани предстательной железы. При этом также оценивалась взаимосвязь накопления РФП от уровня ПСА. Больные РПЖ при уровне ПСА $\geq 10,0$ нг/мл демонстрировали высокое накопление РФП по сравнению с пациентами, обладающими ПСА $< 10,0$ нг/мл ($p < 0,001$).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ: Использование ПЭТ/КТ ^{68}Ga -ПСМА при стадировании впервые выявленного и не подвергавшегося лечению РПЖ за одно исследование позволяет получить исчерпывающую информацию о местной, регионарной и отдаленной распространенности заболевания, а в некоторых случаях способствует изменению стадии TNM болезни. Применение данного метода перед планируемым хирургическим лечением РПЖ позволяет выявить значимые риски раннего послеоперационного рецидива, особенно у больных с индексом Глисона более 7 баллов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ПЭТ/КТ с ^{68}Ga -ПСМА, рак предстательной железы, лимфатические узлы, ПЭТ-визуализация

*Для корреспонденции: Долбов Артем Леонидович, e-mail: art.dolbov@yandex.ru

Для цитирования: Долбов А.Л., Станжевский А.А., Майстренко Д.Н., Школьник М.И., Розенгауз Е.В., Богомолов О.А., Сысоев Д.С., Мус В.Ф. Оптимизация алгоритма стадирования впервые выявленного рака предстательной железы путем применения ПЭТ/КТ с ^{68}Ga -ПСМА: ретроспективное исследование // *Лучевая диагностика и терапия*. 2022. Т. 13, № 4. С. 46–56, DOI: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2022-13-4-46-56>.

OPTIMIZATION OF STAGING ALGORITHM FOR NEWLY DETECTED PROSTATE CANCER BY USING PET/CT WITH ^{68}Ga -PSMA: A RETROSPECTIVE STUDY

¹Artyom L. Dolbov[✉]*, ¹Andrei A. Stanzhevskii[✉], ¹Dmitry N. Maistrenko[✉], ¹Mikhail I. Shkolnik[✉],
^{1,2}Eugeny V. Rozengauz[✉], ¹Oleg A. Bogomolov[✉], ¹Dmitriy S. Sysoev[✉], ¹Victor F. Mus[✉]

¹Granov Russian Research Center of Radiology and Surgical Technologies, St. Petersburg, Russia

²North-Western State Medical University named after I. I. Mechnikov, St. Petersburg, Russia

INTRODUCTION: Prostate cancer (PC) is the most common malignancy in men worldwide and ranks third in mortality. Improvement of the results of staging of newly detected prostate cancer is rightfully associated with the active use in clinical practice of positron emission tomography combined with computed tomography (PET/CT) with radiotracers based on prostate-specific membrane antigen (PSMA) ligands.

OBJECTIVE: The aim of the study was to determine the capabilities of PET/CT with ^{68}Ga -PSMA in evaluating the prevalence of newly diagnosed breast cancer in comparison with traditional imaging techniques (computed tomography, magnetic resonance imaging and bone scan) and to determine the role of this technology in the choice of treatment algorithm.

MATERIALS AND METHODS: 120 patients aged 46 to 74 years (median age 62.5 years) with histologically verified prostate cancer underwent PET/CT with ^{68}Ga -PSMA in our center to assess disease prevalence. The selection criteria for the study were: prostate-specific antigen (PSA) level of 5 ng/ml and above, presence of newly detected, histologically verified prostate cancer, no treatment, suspected metastatic lesion of pelvic and skeletal lymph nodes according to CT, MRI and OSG. All patients were divided into groups according to PSA level and Gleason score.

Statistics: Statistical processing of the results was performed by methods of variance statistics using Statistica 10.0, GraphPad Prism 9.3.1. Wilcoxon-Mann-Whitney and Friedman tests for ANOVA were used to determine the significance of differences between comparison groups. The chi-square test with Yates correction was used to determine the reliability of intergroup differences for nominal measures (such as the presence of previous recurrences). The level of correlation was assessed using Spearman criterion.

RESULTS: PET/CT imaging analysis in addition to MRI, CT, and OSG data showed TNM staging changes in 63 of 120 patients (52.3%) due to the detection of additional foci of metastatic lesions. Change of data about local spread of tumor with increasing of TNM stage due to detection of pathological RFP accumulation in seminal vesicles in 10 of 120 patients (8.3%), without structural changes using conventional imaging methods. In 20 of 64 patients (31.3%), PET/CT revealed lesions of regional lymph nodes (N) that were not visualized by conventional imaging methods due to their small size. Metastatic lesions of distant lymph nodes (M1a) and bones (M1b) undetected by CT, MRI, and OSG were found in 27 (22.5%) and 32 (26.7%) of 120 patients, respectively. At the same time, foci of pathological accumulation of ^{68}Ga -PSMA in the bones without structural changes on CT were detected in 7 and 32 patients (21.8%).

DISCUSSION: One of the objectives of this study was to compare the diagnostic capabilities of standard diagnostic imaging techniques, in particular MRI, CT and Bone scan, with the hybrid technology of PET/CT with ^{68}Ga -PSMA to improve the accuracy of PCa staging in order to determine treatment tactics. The results demonstrate minimal superiority of PET/CT with ^{68}Ga -PSMA over MRI in terms of sensitivity (96% and 94%, respectively) in assessing local disease prevalence. Tumor invasion of the seminal vesicles, in most cases, was detected in patients with a Gleason score greater than 8. At the same time there was a tendency for an increase in the level of radiotracer accumulation in the tumor tissue of the seminal vesicles depending on the differentiation group of PCa. Analysis of the histological material obtained after the prostatectomy demonstrated tumor invasion

of the seminal vesicles in 26 (37.1%) out of 70 operated patients. Coincidence of histological examination results with PET/CT data was found in 22 patients, with MRI data — in 20 patients. The sensitivity, specificity, positive predictive value, and negative predictive value of PET/CT were 85%, 92%, 85%, and 92%, while the corresponding values from MRI were as follows: 77%, 88%, 77%, and 88%. Analyzing the levels of ^{68}Ga -PSMA uptake in the tumor tissue, we found that with increasing prostate differentiation group, there was a persistent increase in radiotracer accumulation in the prostate tumor tissue. We also evaluated the interrelation of RFP accumulation with PSA level. The patients with PCa with PSA level ≥ 10.0 ng/ml demonstrated high accumulation of radiotracer accumulation compared to those with PSA < 10.0 ng/ml ($p < 0.001$).

CONCLUSIONS: The use of ^{68}Ga -PSMA PET/CT in the staging of newly diagnosed and untreated cancers provides comprehensive information on the local, regional, and distant extent of the disease, and in some cases contributes to a change in TNM stage of the disease in a single study. The use of this method before planned surgical treatment of PCa can significantly reduce the risk of early postoperative relapse, especially in patients with a Gleason score of more than 7 and a PSA level greater than 20 ng/ml.

KEYWORDS: PET/CT with ^{68}Ga -PSMA, prostate cancer, lymph nodes, PET imaging

*For correspondence: Artyom L. Dolbov, e-mail: art.dolbov@yandex.ru

For citation: Dolbov A.L., Stanzhevskii A.A., Maistrenko D.N., Shkolnik M.I., Rozengauz E.V., Bogomolov O.A., Sysoev D.S., Mus V.F. Optimization of staging algorithm for newly detected prostate cancer by using PET/CT with ^{68}Ga -PSMA: a retrospective study // *Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2022. Vol. 13, No. 4. P. 46–56, DOI: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2022-13-4-46-56>.

Введение. Рак предстательной железы (РПЖ) является наиболее распространенным злокачественным новообразованием у мужчин во всем мире и занимает третье место по смертности [1, с. 16–27]. После постановки диагноза точное определение распространенности заболевания и планирование последующего лечения являются основополагающими шагами как для выбора терапии, так и для прогноза. Количество, характер и локализация поражений являются основой для индивидуального лечения.

Опираясь на клинические рекомендации по диагностике и лечению РПЖ пациентам с впервые выявленным РПЖ, находящимся в группе среднего и высокого риска, показано проведение исследования брюшной полости и малого таза методами компьютерной томографии (КТ) и/или магнитно-резонансной томографии (МРТ) с целью стадирования заболевания по категориям T, N и M. Однако традиционные методы визуализации, такие как КТ и МРТ, сталкиваются со значительными ограничениями, поскольку они не обнаруживают поражения лимфатических узлов размером менее 10 мм [2, с. 387–395]. Кроме того, КТ и МРТ часто не позволяют правильно идентифицировать лимфаденопатии, не связанные с РПЖ. Аналогичным образом, метод ОСГ во многих случаях недостаточно специфичен для изменений костей у больных РПЖ.

Активное распространение в клинической практике гибридной технологии ПЭТ/КТ с радиотрейсерами на основе простатспецифического мембранного антигена (ПСМА) за одно исследование позволяет улучшить данные первичного стадирования РПЖ полученные с помощью МРТ, КТ и ОСГ и получить дополнительную информацию о распространенности заболевания.

Цель. Определить возможности ПЭТ/КТ с ^{68}Ga -ПСМА в оценке распространенности впервые

выявленного РПЖ по сравнению с традиционными методами лучевой визуализации (КТ, МРТ и остеосцинтиграфии) и установить роль этой технологии в выборе алгоритма лечения.

Материалы и методы. Информированное согласие получено от каждого пациента. 120 пациентам с гистологически верифицированным впервые выявленным РПЖ в нашем центре была выполнена ПЭТ/КТ с ^{68}Ga -ПСМА с целью оценки распространенности заболевания. Критериями отбора для выполнения исследования являлись: уровень простатспецифического антигена (ПСА) от 5 нг/мл, наличие впервые выявленного, гистологически верифицированного РПЖ, отсутствие лечения, подозрение на метастатическое поражение лимфатических узлов таза и скелета по данным КТ, МРТ и ОСГ. Все больные подразделялись на группы по уровню ПСА и сумме баллов Глисона.

ПЭТ/КТ с ^{68}Ga -ПСМА была выполнена 120 пациентам в возрасте от 46 до 76 лет (медиана 63). Уровень простатспецифического мембранного антигена (ПСА) находился в пределах 5–278 нг/мл (медиана 19,2). Пациенты были разделены на группы по сумме баллов Глисона: Г6 — $n=14$, Г7 — $n=42$, Г8 — $n=42$ и Г9 — $n=22$ (табл. 1).

Расчет дозы ^{68}Ga -ПСМА осуществлялся на массу тела пациента (1,5 МБк/кг). Препарат вводили в кубитальную вену в объеме 3,0–5,0 мл 0,9% раствора натрия хлорида. Сканирование осуществлялось на томографе GE Discovery 690 через 60 мин после введения РФП с обязательным опорожнением мочевого пузыря до укладки пациента на стол сканера. На первом этапе сканирования получали топограммы в сагиттальной и корональной проекциях протяженностью от вершины свода черепа до верхней трети бедра. Вторым этапом выполнялось КТ-сканирование в режиме «Whole body» в каудо-краниальном направлении при положении пациента на спине

Таблица 1

Распределение пациентов по возрасту и уровню простатспецифического антигена в разных группах Глисона

Table 1

Distribution of patients by age and PSA level in different Gleason groups

Сумма Глисона	Количество	Возраст		Уровень ПСА, нг/мл	
		медиана	диапазон	медиана	диапазон
6	14	62,5	46–69	14,4	5,7–38,5
7	42	63,5	50–73	16,9	5,3–230,0
8	42	63,0	46–74	17,9	5,0–278,0
9	22	64,0	47–71	34,9	5,6–128,0
Всего / Total	120	63,0	46–74	19,2	5,0–278,0

с заведенными за голову руками. Напряжение на рентгеновской трубке составляло 120 кВ, при этом сила тока подбиралась автоматически (в пределах от 50 до 300 мАс) в зависимости от массы и объема тела пациента (режим автоматической адаптации тока рентгеновской трубки и размера сканируемой области) с целью минимизации лучевой нагрузки. Толщина срезов при реконструкции составляла 1,25 мм. Третьим этапом, после завершения КТ-сканирования автоматически осуществлялась ПЭТ-исследование. Продолжительность ПЭТ/КТ-исследования в среднем составляла 25–30 мин, время сканирования одной «кровати» — 3 мин, количество «кроватей» зависело от роста пациента и в среднем составляло 6–7. Коррекция аттенуации полученных ПЭТ-данных (коррекции эмиссионных данных на поглощение и рассеивание излучения окружающими тканями) выполнялась по данным КТ-сканирования. При повторных ПЭТ/КТ-исследованиях сканирование выполнялось в той же последовательности с соблюдением всех этапов. Реконструкция изображения осуществлялась автоматически: полученных ПЭТ-данных — по итерационному алгоритму OSEM (Ordered Subsets Expectation Maximization) с использованием фильтра Gaussian 5,0 мм, с числом итераций, равным 2, и сабсетов, равным 14; КТ-данных — с толщиной реконструируемого среза 2,0 мм с перекрытием срезов 1,5 мм в мягкотканном (Kernel B20f medium smooth) и легочном (Kernel B60f very sharp) режимах. Дополнительно для маркировки кишечника во всех наблюдениях сразу после введения РФП пациенту предлагали выпить 500 мл бутилированной воды, в которой было разведено 10 мл 75% урографина. Для повышения качества низкодозной КТ, выполненной для коррекции аттенуации, внутривенно вводили контрастный препарат (Омнипак — 300 мг). Дозу контрастного вещества рассчитывали в зависимости от массы тела пациента и вводили при помощи автоматического инжектора со скоростью 2,5 мл/с, задержка сканирования составляла 45 секунд.

Обработка результатов исследования проводилась с применением программного обеспечения GE Healthcare AW. Совмещение КТ- и ПЭТ-данных исследования выполнялось в автоматическом режи-

ме, при помощи прикладного программного пакета Fusion.

Обработка данных заключалась в визуальной оценке совмещенных томограмм, а также в проведении полуколичественного анализа с расчетом стандартизированного уровня накопления (SUV). Измерение показателей SUV выполнялось аппаратным способом с помощью автоматического оконтуривания области интереса. Вычисление SUV осуществлялось с поправкой на безжировую массу тела (SUV_{lbm}) по формулам:

$$\text{SUV}_{\text{lbm}} = A_{\text{VOI}} / [A_{\text{введ.}} / \text{LBM}],$$

где A_{VOI} — значение радиоактивности в объеме интереса (кБк/мл); $A_{\text{введ.}}$ — введенная активность (МБк); VM — масса тела (кг); LBM — безжировая масса тела (кг).

$$\text{LBM}_{\text{male}} (\text{James}) = 1,1B - 128(B/P)^2,$$

где B — вес; P — рост.

При анализе полученных ПЭТ/КТ-изображений оценивались особенности физиологического распределения ^{68}Ga -ПСМА в организме, интенсивность его накопления в отдельных органах и тканях, а также в области интереса. Очаг гиперфиксации радиотрейсера расценивали как патологический, если он был обнаружен в областях, не имеющих отношения к физиологическому накоплению ^{68}Ga -ПСМА.

Статистическую обработку результатов проводили методами вариационной статистики с использованием набора статистических программ Statistica 10.0, GraphPad Prism 9.3.1. Для определения достоверности различий между группами сравнения использовали критерий Вилкоксона–Манна–Уитни и Фрийдмана для ANOVA. Для выявления достоверности межгрупповых различий для номинальных показателей (таких как наличие предшествующих рецидивов) использовали тест хи-квадрат с поправкой Йейтса. Уровень корреляции оценивали с помощью критерия Спирмена.

Результаты ПЭТ/КТ были верифицированы: данными гистологических исследований — в 77,8% случаев, в 22,2% — результатами других методов

визуализации (ОСГ, КТ, МРТ), повторных ПЭТ/КТ-исследований, динамическим наблюдением с помощью других методов визуализации (ОСГ, МРТ, КТ), клиническими данными в процессе наблюдения, дальнейшей динамикой уровня ПСА, а также на основании сочетания всего вышеперечисленного в течение 14 ± 3 (1–12) мес после проведения ПЭТ/КТ.

Результаты. Патологическое накопление ^{68}Ga -ПСМА в предстательной железе было выявлено у 116 из 120 больных (96,7%), при этом у оставшихся 4 больных накопление РФП в опухолевой ткани не превышало физиологическую аккумуляцию РФП в ткани предстательной железы (ПЖ). Средний уровень накопления (SUV_{max}) ^{68}Ga -ПСМА в опухоли составлял $\text{SUV}_{\text{max}} = 11,6 \pm 0,8$ (диапазон 4,0–46,7). При этом в нормальной ткани ПЖ средний уровень накопления радиотрейсера равнялся $\text{SUV}_{\text{max}} = 1,6 \pm 0,02$ (диапазон 1,0–2,3).

Оценка и интерпретация результатов проводились на основании накопления РФП в неизменной части предстательной железы и определения гиперфиксации ^{68}Ga -ПСМА в очаге поражения. МР-признаки, соответствующие РПЖ, были выявлены у 113 пациентов (94,2%). У оставшихся 7 больных было высказано предположение о злокачественной природе выявленных изменений. При анализе данных уровня накопления РФП (SUV_{max}) в опухолевой ткани предстательной железы и группах Глисона (от 6 до 9) была получена отчетливая тенденция к увеличению уровня накопления РФП в соответствии с группами дифференцировки. Более низкие средние значения SUV_{max} были обнаружены в подгруппе «Глисон 6» (медиана 5,2) по сравнению с «Глисон 7» (медиана 7,4), «Глисон 8» (медиана 10,2) и «Глисон 9» (медиана 10). При анализе всех групп вместе выявлены статистически значимые ($p < 0,05$) корреляции по Спирману между уровнем накопления ^{68}Ga -ПСМА в предстательной железе и уровнем ПСА ($0,454$, $p < 0,05$).

у 37 из 120 больных (30,1%). При этом у 20 из 37 больных (54%) поперечный размер лимфоузлов не превышал 10 мм. По результатам МРТ и КТ тазовые лимфоузлы, расцененные как метастатически измененные (поперечный размер ≥ 10 мм), были обнаружены у 18 больных: у 13 при МРТ (10,8%) и у 5 при КТ (4,2%). Патологическое накопление ^{68}Ga -ПСМА в лимфоузлах других локализаций (абдоминальные, внутригрудные, подключичные) определялось у 27 из 120 больных (22,5%), при этом у 23 из них ПСМА-позитивные лимфоузлы были не увеличены. При МРТ и КТ данных о метастатическом поражении лимфоузлов не было получено. Суммарно с помощью ПЭТ/КТ удалось обнаружить патологическое накопление ^{68}Ga -ПСМА в лимфатических узлах у 64 из 120 больных (53,3%).

Очаговая гиперфиксация ^{68}Ga -ПСМА в костях наблюдалась у 32 из 120 пациентов (26,7%). При этом очаги патологического накопления ^{68}Ga -ПСМА в костях без структурных изменений по данным КТ были обнаружены у 7 и 32 пациентов (21,8%). На рис. 2 представлены данные ПЭТ/КТ с ^{68}Ga -ПСМА, демонстрирующие возможности метода в оценке поражения костей скелета у больных РПЖ.

Изменения, характерные для метастатического поражения костей, по результатам МРТ и КТ были выявлены у 20 из 120 пациентов (16,7%), с помощью ОСГ — у 14 (11,7%) больных. Сопоставление результатов ПЭТ/КТ и данных традиционных методов лучевой визуализации (МРТ, КТ, ОСГ) представлено в табл. 3.

При анализе результатов ПЭТ/КТ и сравнении с данными рутинных методов лучевого обследования (МРТ, КТ и ОСГ) у 63 из 120 пациентов (52,3%) наблюдалось изменение стадии по TNM. Изменение данных о местном распространении опухоли с повышением стадии по критерию T за счет выявления патологического накопления РФП в семенных пузырьках

Таблица 2
Сопоставление результатов ПЭТ/КТ и МРТ, КТ в оценке местной распространенности опухоли у больных раком предстательной железы

Table 2

Comparison of PET/CT and MRI, CT results in the assessment of local tumor prevalence in patients with prostate cancer

Всего пациентов	n=120	
	ПЭТ/КТ	МРТ и КТ
Метод визуализации		
Область поражения		
Предстательная железа	116 (96,7%)	113 (94,2%)
Семенные пузырьки	30 (25%)	20 (16,7%)

Патологическое накопление ^{68}Ga -ПСМА в семенных пузырьках было обнаружено у 30 пациентов (25%), в то время как по результатам МРТ и КТ инвазия опухоли в семенные пузырьки была выявлена только у 20 пациентов (16,7%) (табл. 2).

Патологическая гиперфиксация ^{68}Ga -ПСМА в тазовых лимфатических узлах была обнаружена

у 10 из 120 пациентов (8,3%), без структурных изменений при традиционных методах лучевой визуализации. У 20 из 64 пациентов (31,3%) по данным ПЭТ/КТ было выявлено поражение регионарных лимфоузлов (N), не визуализируемое с помощью традиционных методов лучевой диагностики вследствие их малых размеров. Метастатическое поражение отда-

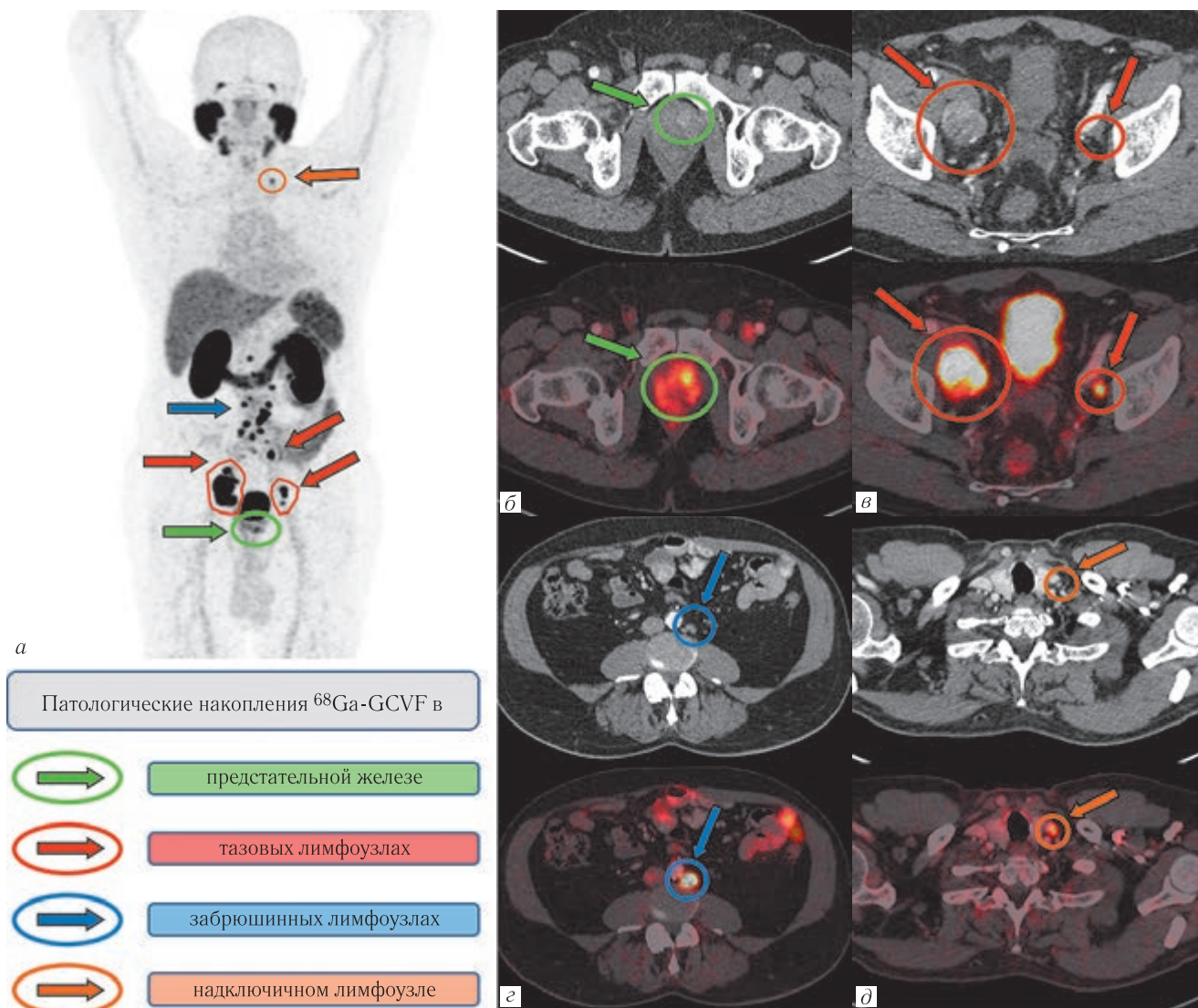


Рис. 1. Представлены данные ПЭТ/КТ с ^{68}Ga -ПСМА у больного раком предстательной железы, иллюстрирующие возможности метода в выявлении первичной опухоли и оценке распространенности опухолевого процесса.

Патологическое накопление ^{68}Ga -ПСМА наблюдается в предстательной железе и лимфатических узлах. На моно-ПЭТ изображениях в корональной (а) проекции определяется патологическое накопление РФП в предстательной железе (зеленая стрелка), а также в тазовых (красная стрелка), абдоминальных (синяя стрелка), и надключичном (слева) лимфатических узлах (оранжевая стрелка). На аксиальных КТ- и ПЭТ/КТ-изображениях отмечено патологическое накопление РФП в предстательной железе (б) — зеленая стрелка, тазовых (в) — красная стрелка, забрюшинных (г) — синяя стрелка и надключичном лимфоузле (слева) (д) — оранжевая стрелка. По данным КТ поперечный размер забрюшинных и надключичного лимфоузлов не превышает 8–9 мм, при этом на ПЭТ/КТ-изображениях (г, д) определяется патологически повышенное накопление ^{68}Ga -ПСМА, свойственное метастатическому поражению

Fig. 1. Data of PET/CT with ^{68}Ga -PSMA in a patient with prostate cancer are presented, illustrating the possibilities of the method in detection of a primary tumor and evaluation of the tumor process prevalence. Pathological ^{68}Ga -PSMA accumulation is observed in the prostate and lymph nodes. PET images in the coronal (a) projection show pathological accumulation of ^{68}Ga -PSMA in the prostate (green arrow), as well as in the pelvic (red arrow), abdominal (blue arrow), and supraclavicular (left) lymph nodes (orange arrow). Axial CT and PET/CT images show pathological accumulation of ^{68}Ga -PSMA in the prostate (б) — green arrow, pelvic (в) — red arrow, retroperitoneal — blue arrow (г) and supraclavicular (left) (д) — orange arrow lymph nodes. According to CT scan, the transverse size of retroperitoneal and supraclavicular lymph nodes does not exceed 8–9 mm, while PET/CT images (г, д) show pathologically increased accumulation of ^{68}Ga -PSMA characteristic of metastatic lesion

ленных лимфоузлов (M1a) и костей (M1b), не обнаруженное при КТ, МРТ и ОСТ, определялось у 27 (22,5%) и 32 (26,7%) из 120 пациентов соответственно. При этом очаги патологического накопления ^{68}Ga -

ПСМА в костях без структурных изменений по данным КТ были обнаружены у 7 и 32 пациентов (21,8%).

На основании комплексной оценки распространенности РПЖ все пациенты были разделены

Таблица 3
Сопоставление результатов ПЭТ/КТ, МРТ, КТ и ОСГ в оценке метастатического поражения костей

Table 3
Comparison of PET/CT, MRI, CT and Bone Scan results in the assessment of metastatic bone lesions

Всего пациентов	n=120		
Метод визуализации	ПЭТ/КТ	МРТ и КТ	ОСГ
Область поражения			
Кости	32 (26,7%)	20 (16,7%)	14 (11,7%)
Без структурных изменений при КТ	7 (21,8%)	—	—

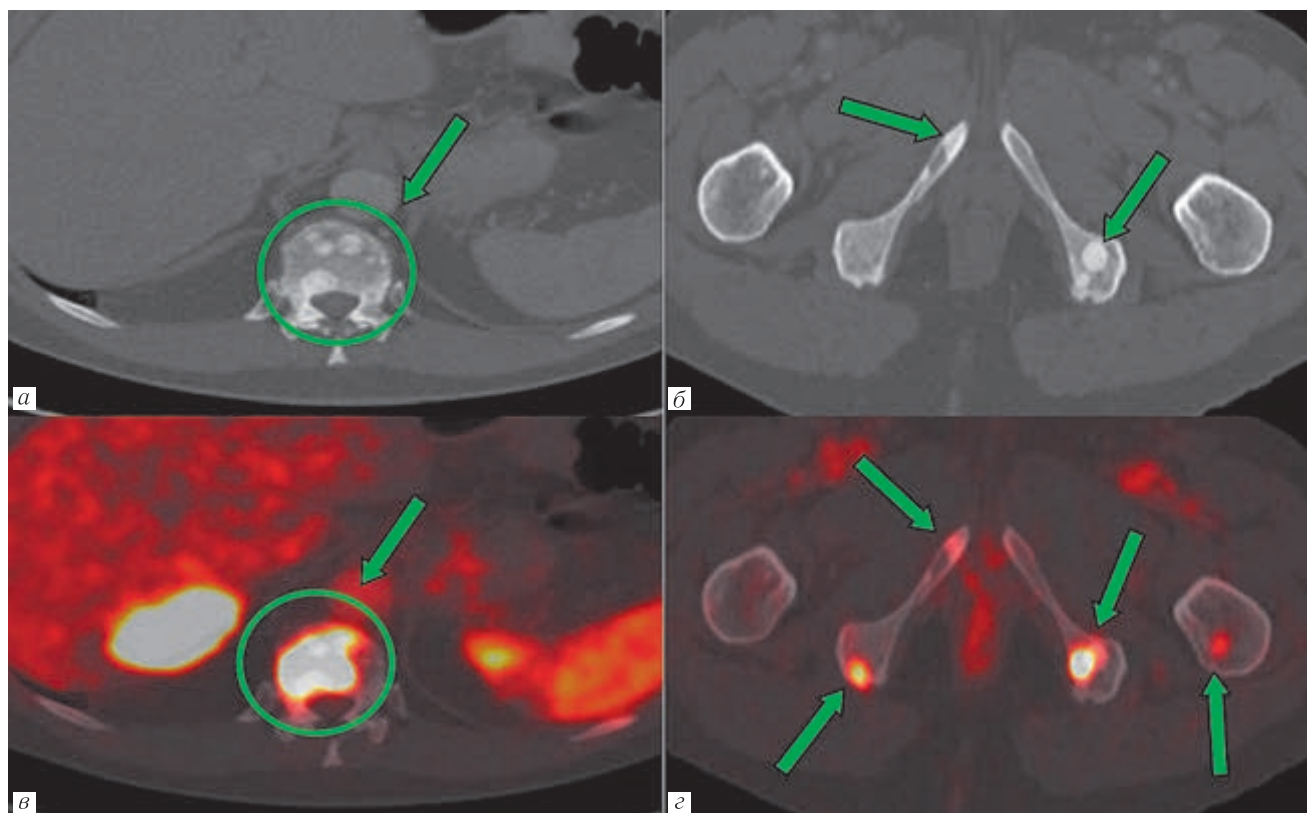


Рис. 2. Представлены данные ПЭТ/КТ с ^{68}Ga -ПСМА у больного раком предстательной железы, иллюстрирующие возможности метода в выявлении метастатического поражения костей. На КТ-изображениях в аксиальной проекции (а, б) выявляются очаги остеобластической перестройки костной ткани в теле позвонка ThIX и нижних ветвях лонных костей обозначенные зелеными стрелками. На совмещенных ПЭТ/КТ-изображениях (в, г) в проекции остеобластических очагов определяется патологическое накопление ^{68}Ga -ПСМА (зеленые стрелки), что соответствует метастатическому поражению (зеленые стрелки)

Fig. 2. We present PET/CT data with ^{68}Ga -PSMA in a patient with prostate cancer, illustrating the capabilities of the method in the detection of metastatic bone lesions. Axial CT images (a, б) show foci of osteoblastic bone remodeling in the body of ThIX vertebra and lower branches of pubic bones marked by green arrows. Combined PET/CT images (в, г) show pathological accumulation of ^{68}Ga -PSMA (green arrows) in the projection of osteoblastic foci, which corresponds to metastatic lesion

на группы в зависимости от метода последующего лечения: радикальная простатэктомия (70 больных), гормональная терапия (10 пациентов), комбинированное лечение в виде дистанционной лучевой терапии (ДЛТ) и гормональной терапии (20 человек) и комбинированное лечение в виде химиогормональной терапии (20 пациентов).

Патологическое накопление ^{68}Ga -ПСМА в лимфатических узлах было обнаружено у 24 из 70 пациентов (34,3%), которым была выполнена РПЭ. По результатам КТ и МРТ лимфоузлы, диагностированные как метастатически пораженные, были обнару-

жены у 10 из 70 больных (14,3%). Патологическое накопление ^{68}Ga -ПСМА было обнаружено преимущественно у больных с суммой Глисона 7, 8 и более баллов. При этом у больных с суммой баллов Глисона 6 гиперфиксация радиотрейсера в лимфоузлах не определялась.

При гистологическом исследовании удаленных лимфоузлов метастатическое поражение было обнаружено у 16 из 24 (66,7%) пациентов. Средний уровень накопления РФП в метастатически пораженных лимфоузлах (SUV_{max}) составил $15,4 \pm 2,3$ (диапазон 4,3–44,4). Во всех гистологических отрицательных

случаях было обнаружено минимально повышенное накопление ^{68}Ga -ПСМА $\text{SUV}_{\text{max}}=2,05\pm 0,8$ (диапазон 1,5–2,5), значительно более низкое, чем при верифицированном метастатическом поражении. Медиана поперечного размера ПСМА-позитивных лимфоузлов составляла 12,1 мм. У 6 из 16 больных поперечный размер лимфоузлов был менее 10 мм и при этом имел патологическое накопление РФП.

Анализ ROC-кривых показал, что уровень накопления РФП в тазовых лимфатических узлах с метастатическим поражением имел выраженное отклонение от нормальных величин накопления радиотрейсера в интактных лимфатических узлах ($p<0,0001$). Рассчитанная чувствительность, специфичность, положительная и отрицательная прогностическая ценность ПЭТ/КТ с ^{68}Ga -ПСМА в диагностике метастатического поражения лимфатических узлов при уровне накопления РФП в пределах $\text{SUV}=1,6\text{--}44,4$ составляли 89%, 85%, 67% и 96%, соответственно. Также был определен пороговый уровень накопления РФП в лимфатических узлах, позволяющий судить об их метастатическом поражении, который составлял при этом $\text{SUV}_{\text{max}}=4,2$; показатели чувствительности и специфичности были равны 97% и 99% положительная и отрицательная прогностическая ценность составляли 89% и 95% соответственно. Площадь под кривой ROC составила $0,9951\pm 0,005244$ (значение \pm стандартная ошибка); 95% доверительный интервал 0,9848–1,000. Объединенные показатели чувствительности, специфичности, положительной и отрицательной прогностической ценности МРТ и КТ составили 62%, 91%, 33% и 90%. Анализ корреляции по Спирмену внутри групп при делении по сумме баллов по Глисон показал, что в группе «Глисон 9» уровень накопления РФП в тазовых лимфоузлах коррелирует с данным показателем в забрюшинных лимфоузлах с коэффициентом корреляции 0,674 ($p<0,05$). В группах «Глисон 6» и «Глисон 7» достоверно значимых корреляций не было.

После исключения из исследования больных с распространенным метастатическим процессом патологическое накопление РФП в единичных очагах поражения костей скелета (олигометастазах) было обнаружено у 12 из 90 пациентов (13,3%). Средний уровень накопления РФП составлял $\text{SUV}_{\text{max}}=9,7\pm 2,8$ (диапазон 2,4–34,0). С помощью ОСГ, МРТ и КТ метастатическое поражение костей было обнаружено у 7 из 90 больных (8%). Большинство очагов гиперфиксации РФП, обнаруженных при ПЭТ, совпадали с остеосклеротическими изменениями, выявленными при КТ или очагами гиперфиксации остеотропного РФП, меченного $^{99\text{m}}\text{Tc}$, при ОСГ. Лишь у 4 из 12 больных определялась очаговая гиперфиксация ^{68}Ga -ПСМА в костях без отчетливых структурных изменений, характерных для метастазов рака предстательной железы. Рассчитанные показатели чувствительности, специфичности, положительной и отрицательной прогно-

стической ценности ПЭТ/КТ с ^{68}Ga -ПСМА в диагностике метастатического поражения скелета составляют 75%, 96%, 75% и 96% соответственно, против суммарных значений КТ и МРТ, ОСГ — 37%, 94%, 58% и 87% соответственно.

За время наблюдения после лечения 42 пациентам было выполнено повторное ПЭТ/КТ-исследование. В подавляющем большинстве случаев отмечалось снижение уровня накопления ^{68}Ga -ПСМА в ранее выявленных лимфатических узлах и костях. У пяти пациентов, получающих гормональную терапию, наблюдалось прогрессирование процесса в виде появления новых очагов гиперфиксации ^{68}Ga -ПСМА в костях и лимфатических узлах. Также при повторном сканировании у четырех пациентов было обнаружено появление остеосклеротического компонента на КТ-изображениях в тех очагах, которые ранее не имели структурных изменений при первом ПЭТ/КТ-исследовании (рис. 3).

Таким образом, с помощью ПЭТ/КТ мы обнаружили 103 лимфоузла с патологическим уровнем накопления ^{68}Ga -ПСМА в сравнении с 43 метастатически измененными лимфоузлами, выявленными с помощью МРТ/КТ. При этом поперечный размер 60 из 103 выявленных лимфоузлов был менее 10 мм. У больных с метастатическим поражением костей скелета с помощью ПЭТ/КТ было выявлено 57 очагов патологической гиперфиксации РФП. У этих же пациентов с помощью МРТ и КТ было выявлено 17 очагов, по данным остеосцинтиграфии — 15 фокусов гиперфиксации РФП.

Обсуждение. В настоящее время нет четких клинических рекомендаций по использованию ПЭТ/КТ с ^{68}Ga -ПСМА при первичном стадировании РПЖ. Одной из задач настоящего исследования являлось сравнение диагностических возможностей стандартных методов лучевой диагностики, в частности МРТ, КТ и ОСГ, с гибридной технологией ПЭТ/КТ с ^{68}Ga -ПСМА, для повышения точности стадирования РПЖ с целью определения тактики лечения.

Среди методов лучевой диагностики в оценке местной распространенности РПЖ главенствующее положение, безусловно, занимает МРТ, так как она обладает более высоким пространственным разрешением. Опубликованные исследования демонстрируют высокие показатели чувствительности мультипараметрической МРТ (мпМРТ) в 98,6% случаев, которые незначительно превосходят результаты ПЭТ/КТ с ^{68}Ga -ПСМА-11 — 96% [4, с. 42–49; 5, с. 382–390]. Результаты проведенного нами исследования, напротив, демонстрируют минимальное превосходство ПЭТ/КТ с ^{68}Ga -ПСМА над МРТ по показателю чувствительности (96% и 94% соответственно). Данные специфичности у больных с впервые выявленным РПЖ оценивать не представлялось возможным, так как в исследование были включены только пациенты с верифицированным диагнозом, а контрольная группа отсутствовала.

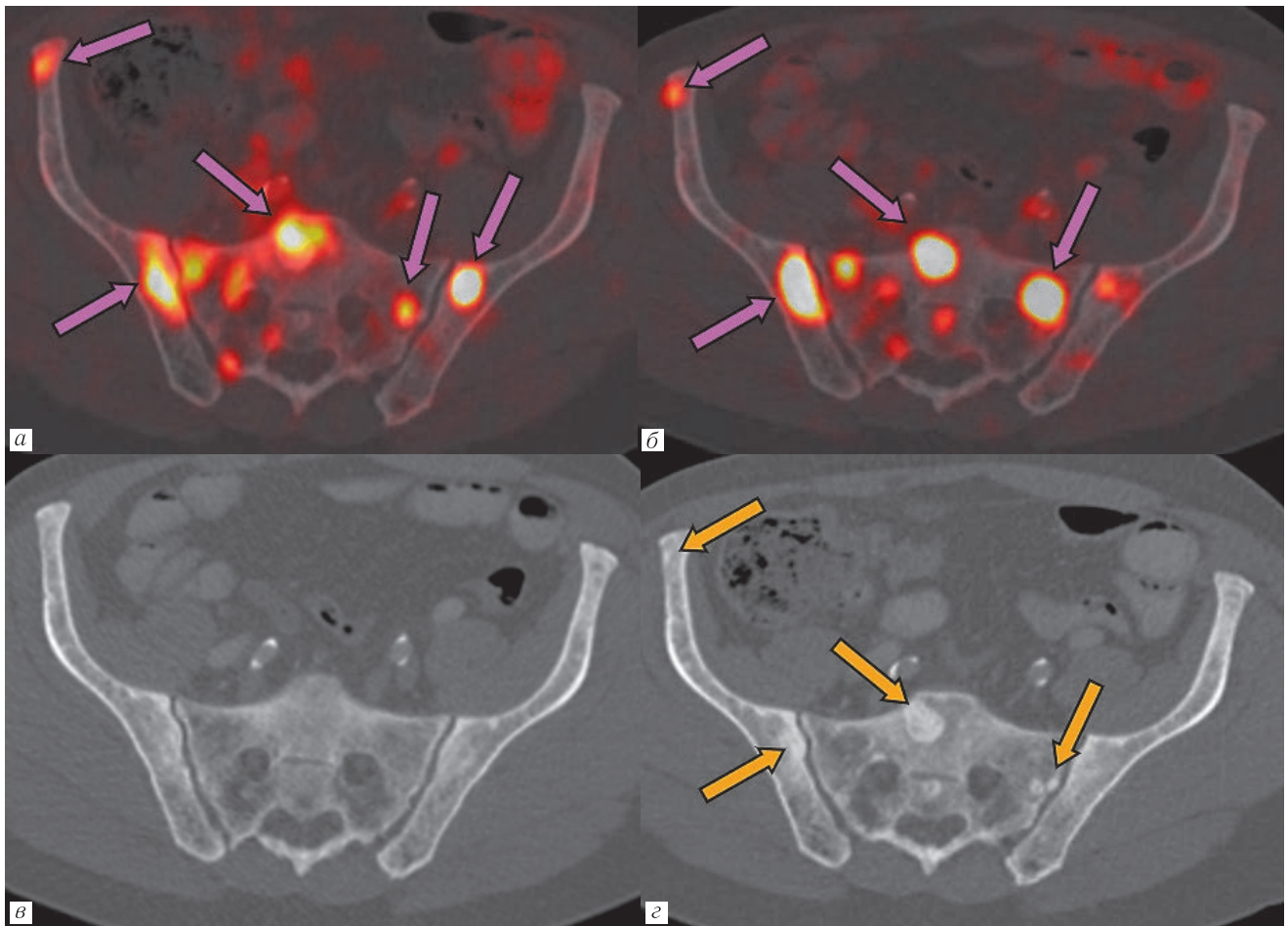


Рис. 3. Представлены данные ПЭТ/КТ с ^{68}Ga -ПСМА у больного раком предстательной железы с метастатическим поражением костей, демонстрирующие изменение структуры костной ткани в процессе динамического наблюдения. На совмещенном ПЭТ/КТ-изображении (а) в проекции костей таза определяются множественные очаги патологического накопления ^{68}Ga -ПСМА (обозначены фиолетовыми стрелками), при этом на КТ-части сканирования (б) структурные изменения в костной ткани отсутствуют. При динамическом контроле после гормональной терапии на совмещенных ПЭТ/КТ-изображениях (в) определяется увеличение размеров ранее выявленных ^{68}Ga -ПСМА-позитивных очагов и появление участков остеобластической перестройки костной ткани (обозначены оранжевыми стрелками) на КТ-изображении (г), что соответствует метастатическому поражению

Fig. 3. We present PET/CT data with ^{68}Ga -PSMA in a patient with metastatic bone lesions, demonstrating changes in bone tissue structure during dynamic follow-up. The combined PET/CT image (а) shows multiple foci of pathological accumulation of ^{68}Ga -PSMA in the pelvic bone projection (marked by purple arrows), while the CT part of the scan (б) shows no structural changes in bone tissue. At dynamic follow-up after hormonal therapy, the combined PET/CT images (в) show an increase in the size of the previously identified ^{68}Ga -PSMA positive foci and the appearance of osteoblastic bone remodeling sites (indicated by orange arrows) on the CT image (г), which corresponds to a metastatic lesion

При оценке экстракапсулярного распространения РПЖ ряд авторов сообщают о превосходстве ПЭТ/КТ с ^{68}Ga -ПСМА над мпМРТ [5, с. 382–390; 6, с. 202–209]. В ходе проведенного исследования опухолевая инвазия семенных пузырьков в большинстве случаев была обнаружена у больных с суммой Глисона более 8 баллов. При этом была определена тенденция к увеличению уровня накопления РФП в опухолевой ткани семенных пузырьков в зависимости от группы дифференцировки РПЖ. Анализ гистологического материала, полученного после РПЭ, показал опухолевую инвазию семенных пузырьков у 26 из 70 прооперированных больных (37,1%). Совпадение результатов гистологического исследования (ГИ) с данными ПЭТ/КТ было обнаружено у 22 больных, с данными

МРТ — у 20 больных. Чувствительность, специфичность, положительная прогностическая ценность и отрицательная прогностическая ценность ПЭТ/КТ составили 85%, 92%, 85% и 92%, при этом по результатам МРТ были получены соответствующие показатели: 77%, 88%, 77% и 88%. Как следует из полученных результатов, показатели чувствительности и специфичности ПЭТ/КТ в оценке опухолевого поражения семенных пузырьков совпадали с полученными в исследовании M. Chen и соавт. [5, с. 382–390]. Таким образом, несмотря на ограниченные возможности ПЭТ/КТ в оценке местной распространенности заболевания, полученные данные позволили получить дополнительную клиническую информацию, необходимую для выбора лечения РПЖ.

Что касается корреляции между суммой Глисона и уровнем захвата РФП в опухолевой ткани, то полученные результаты подтверждают ранее опубликованные работы Sachrekidis и соавт. [7, с. 473–479; 8, с. 941–949], в которых опухоли с суммой Глисона 6 и 7 баллов показали низкое поглощение ^{68}Ga -ПСМА-11 со средним значением SUV_{max} 5,9 и 8,3 соответственно по сравнению с больными в группах Глисона 8 и более баллов (медиана SUV_{max} : 21,2; $p < 0,001$). Анализируя уровни захвата ^{68}Ga -ПСМА в опухолевой ткани, мы обнаружили, что с увеличением группы дифференцировки РПЖ наблюдается стойкое повышение накопления РФП в опухолевой ткани ПЖ. Иными словами, чем более агрессивна опухоль, тем интенсивнее в ней аккумулируется РФП. Самые низкие значения SUV_{max} были обнаружены в группе «Глисон 6» и напротив самые высокие значения были в группе «Глисон 9» ($p < 0,01$). При этом в данных работах также оценивалась взаимосвязь накопления РФП с уровнем ПСА. Больные РПЖ при уровне ПСА $\geq 10,0$ нг/мл демонстрировали высокое накопление РФП по сравнению с пациентами, обладающими ПСА $< 10,0$ нг/мл ($p < 0,001$). Полученные результаты применения ПЭТ/КТ с ^{68}Ga -ПСМА подтверждают опубликованные данные других авторов, доказывая высокое сродство рецепторов ПСМА опухолевой ткани к ^{68}Ga -ПСМА [8, с. 941–949; 9, с. 388–396; 10, с. 10–13].

Таким образом, результаты нашего исследования свидетельствуют о большом потенциале ПЭТ/КТ в оценке распространенности РПЖ перед другими методами лучевой диагностики, такими как КТ, МРТ и ОСТ, который позволяет точнее выполнить стадирование заболевания. Особое внимание следует уделить возможности гибридной технологии ПЭТ/КТ в оценке метастатического поражения неувеличенных лимфатических узлов и костного мозга без структурных изменений в костной ткани. Большая зона сканирования, распространяющаяся от теменной кости до верхней трети бедра за одно сканирование, позволяет визуализировать изменения в органах и тканях, недоступных при использовании рутинных методов стадирования РПЖ.

Заключение. Использование ПЭТ/КТ ^{68}Ga -ПСМА при стадировании впервые выявленного и не подвергавшегося лечению РПЖ за одно исследование позволяет получить исчерпывающую информацию о местной, регионарной и отдаленной распространенности заболевания, а в некоторых случаях способствует изменению стадии TNM болезни. Применение данного метода перед планируемым хирургическим лечением РПЖ позволяет значительно снизить риск раннего послеоперационного рецидива, особенно у больных с индексом Глисона более 7 баллов и уровнем ПСА более 20 нг/мл.

Сведения об авторах:

Долбов Артем Леонидович — врач-рентгенолог, младший научный сотрудник отделения радиоизотопной позитронной эмиссионной томографии федерального государственного бюджетного учреждения «Российский научный центр радиологии и хирургических технологий имени академика А. М. Гранова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 197758, Санкт-Петербург, пос. Песочный, Ленинградская ул., д. 70; e-mail: art.dolbov@yandex.ru; SPIN-код 6447–7663; Author ID 1096925; Scopus Author ID 57203140829; ORCID 0000–0002–2195–2401;

Станжевский Андрей Алексеевич — доктор медицинских наук, заместитель директора по научной работе федерального государственного бюджетного учреждения «Российский научный центр радиологии и хирургических технологий имени академика А. М. Гранова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 197758, Санкт-Петербург, пос. Песочный, Ленинградская ул., д. 70; e-mail: stanzhewsky@yandex.ru; SPIN-код 4025–4260; AuthorID 199418; Scopus Author ID 8857214600; ORCID 0000–0002–1630–0564;

Майстренко Дмитрий Николаевич — доктор медицинских наук, директор федерального государственного бюджетного учреждения «Российский научный центр радиологии и хирургических технологий имени академика А. М. Гранова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 197758, Санкт-Петербург, пос. Песочный, Ленинградская ул., д. 70; SPIN-код 7363–4840; AuthorID 661060; Scopus Author ID 57193120885; ORCID 0000–0001–8174–7461;

Школьник Михаил Иосифович — доктор медицинских наук, главный научный сотрудник отдела интервенционной радиологии и оперативной хирургии федерального государственного бюджетного учреждения «Российский научный центр радиологии и хирургических технологий имени академика А. М. Гранова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 197758, Санкт-Петербург, пос. Песочный, Ленинградская ул., д. 70; e-mail: Shkolnik_phd@mail.ru; SPIN-код 4743–9236; AuthorID 929571; Scopus Author ID 8071470300; ORCID 0000–0003–0589–7999;

Розенгауз Евгений Владимирович — доктор медицинских наук, главный научный сотрудник отдела лучевой диагностики федерального государственного бюджетного учреждения «Российский научный центр радиологии и хирургических технологий имени академика А. М. Гранова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 197758, Санкт-Петербург, пос. Песочный, Ленинградская ул., д. 70; профессор кафедры лучевой диагностики и лучевой терапии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Северо-Западный государственный медицинский университет имени И. И. Мечникова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 191015, Санкт-Петербург, Кирочная ул., д. 41; e-mail: rozengaouz@yandex.ru; SPIN-код 5662–6639; AuthorID 568607 Scopus Author ID 7801405261; ORCID 0000–0003–1742–7783;

Богомолов Олег Алексеевич — кандидат медицинских наук, врач-онколог отделения оперативного лечения онкоурологических и онкогинекологических заболеваний федерального государственного бюджетного учреждения «Российский научный центр радиологии и хирургических технологий имени академика А. М. Гранова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 197758, Санкт-Петербург, пос. Песочный, Ленинградская ул., д. 70; e-mail: urologbogatolov@gmail.com, SPIN-код 6554–4775; AuthorID 537357; Scopus Author ID 56527049600; ORCID 0000–0002–5860–9076;

Сысоев Дмитрий Сергеевич — кандидат физико-математических наук, руководитель группы разработки приборов для ядерной медицины федерального государственного бюджетного учреждения «Российский научный центр радиологии и хирургических технологий имени академика А. М. Гранова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 197758, Санкт-Петербург, пос. Песочный, Ленинградская ул., д. 70; e-mail: dssysoev@mail.ru; AuthorID 1165824; Scopus Author ID 57192701113; ORCID 0000–0003–2792–3852;

Мус Виктор Федорович — доктор медицинских наук, главный научный сотрудник отдела лучевых и комбинированных методов лечения федерального государственного бюджетного учреждения «Российский научный центр радиологии и хирургических технологий имени академика А. М. Гранова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 197758, Санкт-Петербург, пос. Песочный, Ленинградская ул., д. 70; AuthorID 390055; Scopus Author ID 6601971090; ORCID 0000–0002–0735–3269.

Information about authors:

Artyom L. Dolbov — radiologist of the Department of Radioisotope Positron Emission Tomography «Russian Research Center of Radiology and Surgical Technologies named after academician A. M. Granov», St. Petersburg, Russia, address: Saint Petersburg, Pesochny settlement, Leningradskaya str., 70, 197758; e-mail: art.dolbov@yandex.ru; SPIN-код 6447–7663; Author ID 1096925; Scopus Author ID 57203140829; ORCID 0000–0002–2195–2401;

- Andrei A. Stanzhevskii* — Dr. of Sci. (Med.), Deputy Director for Research of the Department of Radioisotope Positron Emission Tomography «Russian Research Center of Radiology and Surgical Technologies named after academician A. M. Granov», St. Petersburg, Russia. address: Saint Petersburg, Pesochny settlement, Leningradskaya str., 70; 197758; e-mail: stanzhevsky@yandex.ru; SPIN-код 4025–4260; Author ID 199418; Scopus Author ID 8857214600; ORCID 0000–0002–1630–0564;
- Dmitry N. Maystrenko* — Dr. of Sci. (Med.), Head of A.M. Granov Russian Scientific Center of Radiology and Surgical Technologies of the Ministry of Health of the Russian Federation, address: Saint Petersburg, Pesochny settlement, Leningradskaya str., 70, 197758; SPIN 7363–4840; ORCID 0000–0001–8174–7461;
- Mikhail I. Shkolnik* — Dr. of Sci. (Med.), chief Researcher of the Department of radiology «Russian Research Center of Radiology and Surgical Technologies named after academician A. M. Granov», St. Petersburg, Russia, address: Saint Petersburg, Pesochny settlement, Leningradskaya str., 70, 197758; e-mail: Shkolnik_phd@mail.ru; SPIN-код 4743–9236; Author ID 929571; Scopus Author ID 8071470300; ORCID 0000–0003–0589–7999;
- Evgeny V. Rozengauz* — Dr. of Sci. (Med.), chief researcher of the Department of radiology «Russian Research Center of Radiology and Surgical Technologies named after academician A. M. Granov», address: Saint Petersburg, Pesochny settlement, Leningradskaya str., 70, 197758, North-Western State Medical University named after I. I. Mechnikov, St. Petersburg, Russia, address: St. Petersburg, Kirochnaya str., 41, rozengauz@yandex.ru SPIN-код 5662–6639; Author ID 568607 Scopus Author ID 7801405261 ORCID 0000–0003–1742–7783;
- Oleg A. Bogomolov* — Cand. of Sci. (Med.), Oncologist, Department of Surgical Treatment of Oncological and Oncogynecological Diseases of the Department of radiology «Russian Research Center of Radiology and Surgical Technologies named after academician A. M. Granov», St. Petersburg, Russia, address: Saint Petersburg, Pesochny settlement, Leningradskaya str., 70; 197758, urologbogomolov@gmail.com; SPIN-код 6554–4775; AuthorID 537357; Scopus Author ID 56527049600; ORCID 0000–0002–5860–9076;
- Dmitry S. Sysyov* — Cand. of Sci. (Phy. and Math.), Head of the Group for the Development of devices for nuclear Medicine of the Federal State Budgetary Institution «Russian Scientific Center of Radiology and Surgical Technologies named after Academician A. M. Granov», address: Saint Petersburg, Pesochny settlement, Leningradskaya str., 70, 197758, dssysov@mail.ru; AuthorID 1165824; Scopus Author ID 57192701113; ORCID 0000–0003–2792–3852;
- Viktor F. Mus* — Dr. of Sci. (Med.), Chief Researcher of the Department of Radiation and Combined Methods of Treatment of the Federal State Budgetary Institution «Russian Scientific Center of Radiology and Surgical Technologies named after Academician A. M. Granov»; Saint Petersburg, Pesochny settlement, Leningradskaya str., 70, 197758; AuthorID 390055; Scopus Author ID 6601971090; ORCID 0000–0002–0735–3269.

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства, согласно международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределен следующим образом. Концепция и план исследования — *А. А. Станжевский, Д. Н. Майстренко, В. Ф. Мус*; сбор и математический анализ данных — *А. Л. Долбов, М. И. Школьник, Д. С. Сысоев, Е. В. Розенгауз, О. А. Богомолов*; подготовка рукописи — *А. Л. Долбов, А. А. Станжевский, Д. Н. Майстренко, М. И. Школьник, Е. В. Розенгауз, О. А. Богомолов, Д. С. Сысоев, В. Ф. Мус*.

Authors' contributions. All authors met the ICMJE authorship criteria. Special contribution: *AAS, DNM, VFM* aided in the concept and plan of the study; provided collection and mathematical analysis of data: *ALD, MISH, DSS, EVR, OAB*; manuscript preparation: *ALD, AAS, DNM, MISH, EVR, OAB, DSS, VFM*.

Потенциальный конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Соответствие принципам этики. Одобрение этического комитета не требовалось, информированное согласие получено от каждого пациента.

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

Поступила/Received: 10.11.2022.

Принята к печати/Accepted: 25.11.2022.

Опубликована/Published: 29.12.2022.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

- Torre L.A., Siegel R.L., Ward E.M. et al. Global Cancer Incidence and Mortality Rates and Trends-An Update // *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev.* 2016. Vol. 25, No. 1. P. 16–27. doi: 10.1158/1055–9965.EPI-15-0578.
- Hövels A.M., Heesakkers R.A., Adang E.M. et al. The diagnostic accuracy of CT and MRI in the staging of pelvic lymph nodes in patients with prostate cancer: a meta-analysis // *Clin. Radiol.* 2008. Vol. 63, No. 4. P. 387–395. doi: 10.1016/j.crad.2007.05.022.
- Szigeti F., Schweighofer-Zwink G., Meissnitzer M. et al. Incremental Impact of [⁶⁸Ga]Ga-PSMA-11 PET/CT in Primary N and M Staging of Prostate Cancer Prior to Curative-Intent Surgery: a Prospective Clinical Trial in Comparison with mpMRI // *Mol. Imaging. Biol.* 2022. Vol. 24, No. 1. P. 50–59. doi: 10.1007/s11307-021-01650-9.
- Scheltema M.J., Chang J.I., Stricker P.D. et al. Diagnostic accuracy of ⁶⁸Ga-prostate-specific membrane antigen (PSMA) positron-emission tomography (PET) and multiparametric (mp)MRI to detect intermediate-grade intra-prostatic prostate cancer using whole-mount pathology: impact of the addition of ⁶⁸Ga-PSMA PET to mpMRI // *BJU Int.* 2019. Vol. 124, No. 1. P. 42–49. doi: 10.1111/bju.14794.
- Chen M., Zhang Q., Zhang C. et al. Comparison of ⁶⁸Ga-prostate-specific membrane antigen (PSMA) positron emission tomography/computed tomography (PET/CT) and multi-parametric magnetic resonance imaging (MRI) in the evaluation of tumor extension of primary prostate cancer // *Transl. Androl. Urol.* 2020. Vol. 9, No. 2. P. 382–390. doi: 10.21037/tau.2020.03.06.
- Koseoglu E., Kordan Y., Kilic M. et al. Diagnostic ability of Ga-68 PSMA PET to detect dominant and non-dominant tumors, upgrading and adverse pathology in patients with PIRADS 4–5 index lesions undergoing radical prostatectomy // *Prostate Cancer Prostatic Dis.* 2021. Vol. 24, No. 1. P. 202–209. doi: 10.1038/s41391-020-00270-8.
- Sachpekidis C., Kopka K., Eder M. et al. ⁶⁸Ga-PSMA-11 Dynamic PET/CT Imaging in Primary Prostate Cancer // *Clin. Nucl. Med.* 2016. Vol. 41, No. 11. P. e473–e479. doi: 10.1097/RLU.0000000000001349.
- Uprimny C., Kroiss A.S., Decristoforo C. et al. ⁶⁸Ga-PSMA-11 PET/CT in primary staging of prostate cancer: PSA and Gleason score predict the intensity of tracer accumulation in the primary tumour // *Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging.* 2017. Vol. 44, No. 6. P. 941–949. doi: 10.1007/s00259-017-3631-6.
- Onal C., Torun N., Oymak E. et al. Retrospective correlation of ⁶⁸Ga-PSMA uptake with clinical parameters in prostate cancer patients undergoing definitive radiotherapy // *Ann. Nucl. Med.* 2020. Vol. 34, No. 6. P. 388–396. doi: 10.1007/s12149-020-01462-x.
- Zhou C., Tang Y., Deng Z. et al. Comparison of ⁶⁸Ga-PSMA PET/CT and multiparametric MRI for the detection of low- and intermediate-risk prostate cancer // *EJNMMI Res.* 2022. Vol. 12, No. 1. P. 10. Published 2022 Feb 11. doi: 10.1186/s13550-022-00881-3.