



© СС 0 Коллектив авторов, 2026

УДК 616.36-079.4-073.756.8

<https://doi.org/10.24884/1607-4181-2026-33-1-75-83>

А. А. Иванова^{1*}, Д. В. Рыжкова^{2,3}, К. Е. Санарова^{2,4}, И. О. Руткин¹, А. А. Станжевский¹,
А. Д. Майстренко², Д. Н. Майстренко¹

¹ Российский научный центр радиологии и хирургических технологий им. академика А. М. Гранова
197758, Россия, Санкт-Петербург, посёлок Песочный, ул. Ленинградская, д. 70

² Национальный медицинский исследовательский центр им. В. А. Алмазова
197341, Россия, Санкт-Петербург, ул. Аккуратова, д. 2

³ Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И. П. Павлова
197022, Россия, Санкт-Петербург, ул. Льва Толстого, д. 6-8

⁴ Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)
197022, Россия, Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, д. 5 литера Ф

ВОЗМОЖНОСТИ ДВУХФАЗНОЙ ПЭТ/КТ С ⁶⁸Ga-ФАПИ В ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКЕ ОЧАГОВЫХ ПОРАЖЕНИЙ ПЕЧЕНИ

Поступила в редакцию 02.02.2026 г.; принята к печати 04.03.2026 г.

Резюме

Ведение. Исследования последних лет подтверждают эффективность позитронно-эмиссионной томографии, совмещенной с компьютерной томографией (ПЭТ/КТ) с мечеными лигандами ингибиторов белка активации фибробластов (ФАПИ) для визуализации злокачественных (ЗО) и доброкачественных образований (ДО).

Цель — оценка информативности двухфазной ПЭТ/КТ с ⁶⁸Ga-ФАПИ-04 у пациентов с очаговыми поражениями печени различной этиологии.

Методы и материалы. Обследовано 62 пациента с очаговыми поражениями печени различной этиологии с целью их дифференциальной диагностики (20/62 пациентов) и стадирования до лечения (42/62 больных). ПЭТ/КТ с ⁶⁸Ga-ФАПИ-04 выполняли в 2 фазы: I фаза (ПЭТ/КТ₂₀) — через 20 мин после введения ⁶⁸Ga-ФАПИ-04 (брюшная полость); II фаза (ПЭТ/КТ₆₀) — через 60 мин по протоколу «все тело». Обработка полученных результатов включала визуальный анализ изображений и расчет максимального значения стандартизованного показателя захвата (SUV_{max}) над областью очагов.

Результаты. В ходе комплексного клинично-лучевого обследования установлено 128 очагов в печени. В проекции объемных образований печени гиперфиксация РФЛП при ПЭТ/КТ₂₀ обнаружена в 109 (85,2 %) из 128 очагов: в 18 из 25 ДО и в 91 из 103 ЗО. Сходное количество ФАПИ-позитивных очагов было установлено при ПЭТ/КТ₆₀: 18 из 25 очагов ДО и 93 из 103 ЗО. При визуальной и количественной оценке данных двухфазной ПЭТ/КТ с ⁶⁸Ga-ФАПИ-04 чувствительность, специфичность и диагностическая точность в дифференциальной диагностике очаговых поражений печени как в I фазу, так и во II фазу исследования существенно не различались и составили 88,3 %, 28 %, 76,6 % и 90,3 %, 28 %, 78,1 % соответственно при визуальном анализе и 73,8 %, 64,0 %, 74,2 % и 68 %, 72 %, 71,6 % соответственно при количественной оценке интенсивности накопления ⁶⁸Ga-ФАПИ-04 очагах в печени.

Заключение. Повышенная аккумуляция ⁶⁸Ga-ФАПИ-04 наблюдалась в большинстве очагов в печени в обе фазы сканирования независимо от их природы. Выполнение двухфазного ПЭТ/КТ исследования нецелесообразно, т. к. не повышает информативность метода в дифференциальной диагностике природы новообразований. Расчет показателя SUV_{max} способствует повышению специфичности ПЭТ/КТ с ⁶⁸Ga-ФАПИ-04 в идентификации злокачественного поражения печени.

Ключевые слова: белок активации фибробластов, ПЭТ/КТ, ⁶⁸Ga-ФАПИ-04, двухфазное сканирование

Для цитирования: Иванова А. А., Рыжкова Д. В., Санарова К. Е., Руткин И. О., Станжевский А. А., Майстренко А. Д., Майстренко Д. Н. Возможности двухфазной ПЭТ/КТ с ⁶⁸Ga-ФАПИ в дифференциальной диагностике очаговых поражений печени. *Ученые записки ПСПбГМУ им. акад. И. П. Павлова*. 2026;33(1):75–83. <https://doi.org/10.24884/1607-4181-2026-33-1-75-83>.

* Автор для связи: Анна Александровна Иванова, ФГБУ «РНЦРХТ им. акад. А. М. Гранова» Минздрава России, 197758, Санкт-Петербург, поселок Песочный, ул. Ленинградская, д. 70. E-mail: anna-radiol@mail.ru.

Anna A. Ivanova^{1*}, Dariya V. Ryzhkova^{2, 3}, Kseniia E. Sanarova^{2, 4}, Igor O. Rutkin¹,
Andrei A. Stanzhevskii¹, Aleksey D. Maystrenko², Dmitry N. Maystrenko¹

Russian Scientific Center of Radiology and Surgical Technologies named after A. M. Granov
70, Leningradskaya str., Pesochny settlement, Saint Petersburg, Russia, 197758
Almazov National Medical Research Centre
2, Akkuratova str., Saint Petersburg, Russia, 197341
Pavlov University
6-8, L'va Tolstogo str., Saint Petersburg, Russia, 197022
Saint Petersburg State Electrotechnical University «LETI» named after V. I. Ulyanov (Lenin)
5, Professora Popova str., Saint Petersburg, Russia, 197022

POTENTIAL OF DUAL-PHASE ⁶⁸GA-FAPI PET/CT IN THE DIFFERENTIAL DIAGNOSIS OF FOCAL LIVER LESIONS

Received 02.02.2026; accepted 14.01.2026

Summary

Introduction. Recent studies have confirmed the effectiveness of positron emission tomography combined with computed tomography (PET/CT) using radiolabeled ligands of fibroblast activation protein inhibitors (FAPI) for the visualization of malignant lesions (ML) and benign lesions (BL).

The objective was to evaluate the diagnostic utility of dual-phase PET/CT with ⁶⁸Ga-FAPI-04 in patients with focal liver lesions of varying etiology.

Methods and materials. The study enrolled 62 patients with focal liver lesions of diverse etiologies for the purpose of differential diagnosis (20/62 patients) and pretreatment staging (42/62 patients). ⁶⁸Ga-FAPI-04 PET/CT imaging was performed in two phases: Phase I (PET/CT₂₀) – imaging began 20 minutes after administration of ⁶⁸Ga-FAPI-04 (limited to the abdominal region); Phase II (PET/CT₆₀) – 60 minutes after injection, performed as a «Whole-body» scan. Image analysis included visual assessment and calculation of the maximum standardized uptake value (SUVmax) over the lesion areas.

Results. Comprehensive clinical and imaging evaluation identified a total of 128 focal liver lesions. At the early-phase PET/CT scan (PET/CT₂₀), increased ⁶⁸Ga-FAPI-04 uptake was observed in 109 of 128 lesions (85.2 %): 18 of 25 BL and 91 of 103 ML. A comparable uptake pattern was seen on the delayed-phase scan (PET/CT₆₀): 18 of 25 BL and 93 of 103 ML. Visual and quantitative analyses of dual-phase ⁶⁸Ga-FAPI-04 PET/CT demonstrated no significant differences in sensitivity, specificity, and diagnostic accuracy between phase I and phase II for the differential diagnosis of focal liver lesions. Visual assessment yielded values of 88.3 %, 28 %, 76.6 % for phase I versus 90.3 %, 28 %, 78.1 % for phase II. Quantitative analysis of ⁶⁸Ga-FAPI-04 uptake intensity in hepatic lesions showed corresponding values of 73.8 %, 64 %, 74.2 % for phase I and 68 %, 72 %, 71.6 % for phase II.

Conclusion: Elevated ⁶⁸Ga-FAPI-04 uptake was observed in the majority of hepatic lesions during both early and delayed imaging phases, irrespective of lesion etiology. Given the absence of significant diagnostic gain between time points, dual-phase PET/CT acquisition appears unnecessary for differentiating the etiology of liver lesions. Quantitative assessment using SUVmax values contributes to improved specificity of ⁶⁸Ga-FAPI-04 PET/CT in identifying malignant hepatic involvement.

Keywords: fibroblast activation protein, PET/CT, ⁶⁸Ga-FAPI-04, dual-phase imaging

For citation: Ivanova A. A., Ryzhkova D. V., Sanarova K. E., Rutkin I. O., Stanzhevskii A. A., Maystrenko A. D., Maystrenko D. N. Potential of Dual-Phase ⁶⁸Ga-FAPI PET/CT in the Differential Diagnosis of Focal Liver Lesions. *The Scientific Notes of Pavlov University*. 2026;33(1):75–83. (In Russ.). <https://doi.org/10.24884/1607-4181-2026-33-1-75-83>.

* Corresponding author: Anna A. Ivanova, Russian Scientific Center of Radiology and Surgical Technologies named after A. M. Granov, 70, Leningradskaya str., Pesochny settlement, Saint Petersburg, Russia, 197758. E-mail: anna-radiol@mail.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема лечения и диагностики опухолевых поражений печени остается одной из наиболее актуальных в современной медицине. Несмотря на значительный прогресс современных методов визуализации, существует ряд проблем, связанных с поздней диагностикой и оценкой распространенности опухолевого процесса.

В настоящий момент разработаны радиофармацевтические лекарственные препараты (РФЛП) на основе ингибиторов белка активации фибробластов, меченые ⁶⁸Ga (⁶⁸Ga-ФАПИ), которые все чаще используются для диагностики различных ЗО и ДО. Исследования последних лет подтверждают результативность этих РФЛП для визуализации и оценки эффективности лечения как первичных, так метастатических поражений печени [1]. Опухоль-ассоциированные фибробласты являются одними из наиболее важных компо-

нентов микроокружения опухоли, создавая благоприятную микросреду для ее роста, инвазии и метастазирования. Они происходят из различных доброкачественных клеток, таких как фиброциты, эндотелиальные клетки, адипоциты, перициты и др. [2]. Учитывая, что первичные новообразования печени обладают сильной десмопластической реакцией [3], РФЛП на основе лигандов ФАПИ, демонстрируют высокую чувствительность (96 %) и умеренную специфичность (76 %) в выявлении ЗО печени [4] по сравнению с широко известной с ¹⁸F-фтордезоксиглюкозой (¹⁸F-ФДГ) [5, 6].

Хорошо известно, что печень является органом-мишенью для метастатического поражения различных видов опухолей. Низкое физиологическое накопление ⁶⁸Ga-FAPI-04 в печени способствует выявлению метастазов, особенно небольших размеров. В то же время, по данным литературы, лиганды ФАПИ имеют низкую чувствительность

Таблица 1

Характеристики пациентов

Table 1

Characteristics of patients		
Характеристика	Абс.	Отн., %
Пол: мужчины женщины	n = 62	
	28 34	45,0 55,0
Возраст, лет Медиана Диапазон	n = 62	
	54 42 – 75	
Цель исследования Дифференциальная диагностика Стадирование до лечения	n = 62	
	20 42	32,3 67,7

в выявлении высокодифференцированных НЭО и особенно их метастазов [7].

Имеющийся в настоящее время опыт ПЭТ/КТ с ^{68}Ga -ФАПИ выявил проблему его неспецифической гиперфиксации в различных органах и тканях. Установлено, что при различных доброкачественных и злокачественных процессах, в том числе печени, могут наблюдаться различные уровни накопления РФЛП, которые повышают риск ложноположительных результатов [8].

Несмотря на то, что количество исследований с лигандами ФАПИ в настоящее время неуклонно растет, остается открытым вопрос о диагностической ценности сканирования в различные интервалы времени для дифференциальной диагностики злокачественных и доброкачественных поражений. В литературе продолжается дискуссия об оптимальном времени начала исследования после введения ^{68}Ga -ФАПИ [9].

Целью исследования было сравнение информативности двухфазной ПЭТ/КТ с ^{68}Ga -ФАПИ-04 у пациентов с очаговыми поражениями печени различной этиологии.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Проведено комплексное клиничко-лучевое обследование 62 пациентов с очагами в печени, имеющими различную этиологическую природу. Исследование было одобрено этическим комитетом ФГБУ «Российский научный центр радиологии и хирургических технологий им. академика А. М. Гранова» МЗ РФ, протокол № #01-02/2021 от 11.02.2021 г. Информированное согласие на включение в исследование получено от каждого пациента.

У обследованных пациентов по данным конвенциональных методов исследования (УЗИ, МСКТ, МРТ) было обнаружено 128 очагов в печени. Окончательный диагноз по данным морфологического исследования установлен в 77,4 % (48/62) случаев, по данным клиничко-лабораторных методов исследования – в 22,6 % (14/62) случаев. Характеристики всех обследованных пациентов и очагов представлены в табл. 1, 2.

Из данных табл. 1 следует, что двухфазную ПЭТ/КТ ^{68}Ga -ФАПИ-04 проводили 62 пациентам – 28 мужчинам и 34 женщинам в возрасте около 54 лет. Главными причинами обследования пациентов являлись дифференциальная диагностика (20/62) и стадирование до лечения (42/62). Общее число выявленных в печени очагов составило 128, из них: злокачественную природу имели 80,5 % очагов, (чаще, метастазы), доброкачественную природу – 19,5 % очагов (чаще, гемангиомы). По распространенности в печени в большинстве случаев это были солитарные очаги, преимущественно, размерами >20 мм (58,6 %) (табл. 2).

ПЭТ/КТ с ^{68}Ga -ФАПИ-04 выполняли всем пациентам по единой методике. Сканирование осуществляли в 2 фазы:

I фаза – исследование начинали через 20 мин (ПЭТ/КТ₂₀) после введения 2 МБк/кг ^{68}Ga -ФАПИ-04 и сканировали только органы брюшной полости.

II фаза – исследование выполняли через 60 мин после инъекции ^{68}Ga -ФАПИ-04 (ПЭТ/КТ₆₀) и сканировали «все тело» (от макушки до середины бедра).

Итеративную реконструкцию изображений осуществляли в автоматическом режиме с помощью алгоритма OSEM (Ordered Subset Expectation Maximization). Постпроцессинговая обработка полученных результатов включала визуальный анализ позитронно-эмиссионных и компьютерных томограмм, а также совмещенных изображений с помощью программного обеспечения рабочей станции AW Volume Share 7 (AW4.7). Количественную оценку данных выполняли в программе PET VCAR (Volume Assisted Reading) и рассчитывали максимальное значение стандартизированного показателя захвата SUVmax (Standardized Uptake Value) над областью очагов на изображениях, полученных через 20 и 60 мин после введения ^{68}Ga -ФАПИ (очаг₂₀, очаг₆₀).

Оценку информативности двухфазной ПЭТ/КТ ^{68}Ga -ФАПИ-04 выполняли с расчетом показателей чувствительности, специфичности и диагностической точности.

Таблица 2

Характеристики очагов в печени

Table 2

Characteristics of liver lesions		
Общее число очагов в печени	n = 128	
Солитарный	61	48
Единичные (<5)	40	31
Множественные (≥5)	27	21
Размеры очагов в печени:	n=128	
до 10 мм	18	14,1
11 – 20 мм	35	27,3
>20 мм	75	58,6
Общее число злокачественных очагов (ЗО) в печени	n=103	80,5
Первичный рак печени:	n=24	18,8
Гепатоцеллюлярный рак (ГЦР)	13	10,2
Холангиоцеллюлярный рак ХЦР	10	7,8
Гемангиоэпителиома	1	1,0
Метастазы:	n=79	61,7
– колоректального рака (КРР)	36	28,1
– рака молочной железы (РМЖ)	8	6,2
– нейроэндокринных опухолей ЖКТ (НЭО)	17	13,4
– рака поджелудочной железы (РПЖ)	8	6,2
– прочие	10	7,8
Общее число доброкачественных очагов (ДО) в печени	n=25	19,5
Гемангиома	16	12,5
Фокальная нодулярная гиперплазия (ФНГ)	6	4,7
Гранулема	2	1,6
Крупноузловой цирроз	1	0,8

Статистическую обработку производили в программе «IBM SPSS Statistics» (версия 29.0.2.0). Проверка распределения на нормальность показала его отклонение, в связи с чем использовали непараметрический метод. Описательные статистики для непрерывных переменных выражали через медиану и интерквартильный размах (Me [Q1; Q3]). Оценку межгрупповых различий по количественным признакам проводили с использованием U-критерия Манна – Уитни и χ^2 -Пирсона. Статистически значимыми считали различия при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе комплексного клинично-лучевого обследования установлено 128 очагов в печени. При ПЭТ/КТ₂₀ в проекции объемных образований, выявленных при традиционных лучевых методах исследования, гиперфиксация РФЛП обнаружена в 109 (85,2 %) из 128 очагов. При ПЭТ/КТ₆₀ – 111 (86,7 %) из 128 очагов. Распределение очагов в печени в зависимости от фазы исследования и окончательного диагноза представлены в табл. 3.

Из данных табл. 3 следует, что независимо от фазы исследования патологические очаги в печени были визуализированы с помощью ПЭТ/КТ и проявлялись в виде гиперфиксации ⁶⁸Ga-ФАПИ-04 в подавляющем числе случаев – в 109 и 111 очагах (85,2 % и 86,7 % соответственно). Отсутствие повышенного накопления РФЛП в патологических

очагах в печени, также независимо от времени сканирования, существенно не различалось при I и II фазах исследования и составило 19/128 (14,8 %) и 17/128 (13,3 %) очагов ($\chi^2 = 0,129$, $p = 0,719$). Все первичные опухоли печени, независимо от степени злокачественности и фазы исследования, были ФАПИ-позитивными. Таким образом, ПЭТ/КТ с ⁶⁸Ga-ФАПИ-04 может дополнять другие методы диагностики первичных ЗНО печени, особенно ГЦР.

По нашим данным ФАПИ-негативные очаги в печени имели различную этиологию и являлись метастазами высокодифференцированных НЭО, рака предстательной железы и гемангиомами. Следует отметить, что 2/109 очага в печени злокачественной природы, которые были обнаружены только во II фазу сканирования, были метастазами КРР у пациента с сопутствующим циррозом печени. По всей видимости, высокое накопление РФЛП в функционально измененной паренхиме печени вследствие цирроза не позволило четко визуализировать метастатические очаги при ПЭТ/КТ₂₀, что согласуется с данными литературы [10].

Следует отметить, что число ФАПИ-позитивных ДО при первой и второй фазах сканирования не менялось и составило 18 (72,0 %) из 25 очагов. При этом только в 7 (28,0 %) ДО, являющихся гемангиомами, повышенного накопления РФЛП не наблюдали.

На рис. 1, а–з представлены результаты двухфазной ПЭТ/КТ с ⁶⁸Ga-ФАПИ-04 пациентов с ЗО и ДО печени, которые накопили РФЛП.

Таблица 3

Распределение очагов в печени в зависимости от фазы исследования и окончательного диагноза (n=128)

Table 3

Distribution of liver lesions according to the study phase and final diagnosis (n=128)

ПЭТ/КТ20 n = 109/128				ПЭТ/КТ60 n = 111/128			
ЗО, n = 103		ДО, n = 25		ЗО, n = 103		ДО, n = 25	
Число позитивных очагов	Число негативных очагов	Число позитивных очагов	Число негативных очагов	Число позитивных очагов	Число негативных очагов	Число позитивных очагов	Число негативных очагов
91 (88,3 %)	12 (11,7 %)	18 (72,0 %)	7 (28,0 %)	93 (90,3 %)	10 (9,7 %)	18 (72,0 %)	7 (28,0 %)

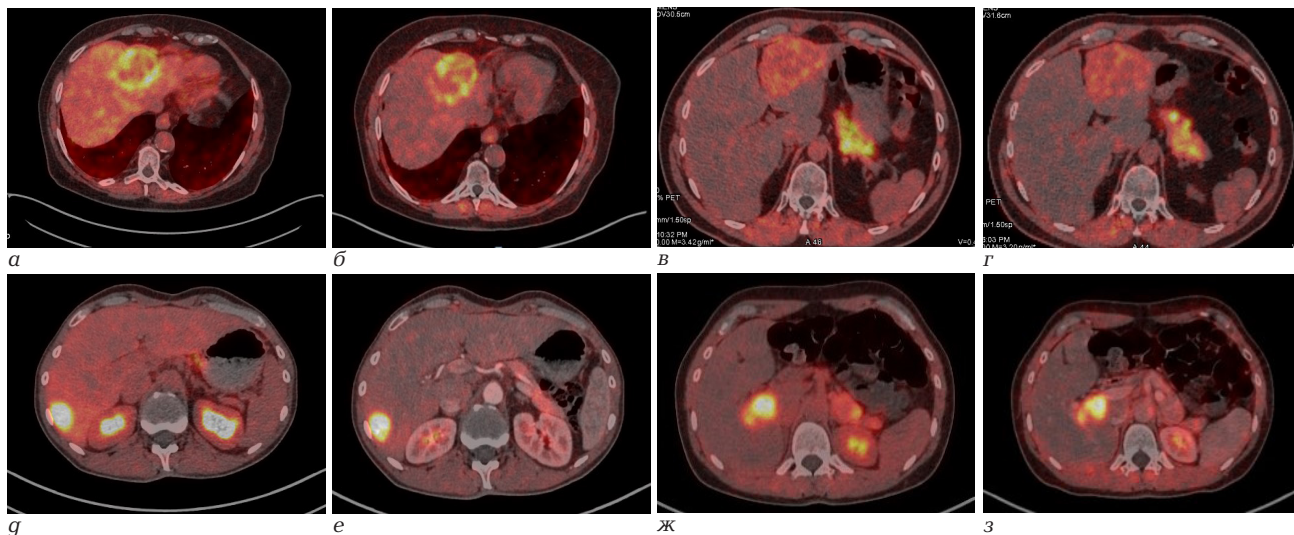


Рис. 1. Аксиальные срезы ПЭТ/КТ с ⁶⁸Ga-ФАПИ через 20 мин и 60 мин после введения РФЛП пациентов: с ГЦР (а, б), гемангиомой (в, г), метастатическим поражением печени КРП (г, е) и ФНГ (ж, з)

Fig. 1. Axial ⁶⁸Ga-FAPI-04 PET/CT slices acquired at 20 min and 60 min post-injection of the radiopharmaceutical in patients with: hepatocellular carcinoma (a, b), hepatic hemangioma (b, r), colorectal cancer liver metastases (g, e) and focal nodular hyperplasia (ж, з)

Таблица 4

Чувствительность, специфичность и диагностическая точность ПЭТ/КТ с ⁶⁸Ga-ФАПИ-04 при ПЭТ/КТ₂₀ и ПЭТ/КТ₆₀ у пациентов с очаговыми поражениями печени

Table 4

Sensitivity, specificity, and diagnostic accuracy of PET/CT with ⁶⁸Ga-FAPI-04 in PET/CT₂₀ and PET/CT₆₀ in patients with focal liver lesions

Фаза сканирования	Чувствительность, %	Специфичность, %	Диагностическая точность, %
ПЭТ/КТ ₂₀	88,3	28	76,6
ПЭТ/КТ ₆₀	90,3	28	78,1

Чувствительность, специфичность и диагностическая точность ПЭТ/КТ с ⁶⁸Ga-ФАПИ-04 при первой и второй фазах исследования представлены в табл. 4.

Таким образом, при визуальной оценке данных двухфазной ПЭТ/КТ с ⁶⁸Ga-ФАПИ-04 информативность метода существенно не различалась.

Распределение значений SUV_{max} в злокачественных и доброкачественных образованиях при ПЭТ/КТ с ⁶⁸Ga-ФАПИ-04 на 20 и 60 мин исследования представлены на рис. 1, а, б.

Из рис. 2, а следует, что уровни накопления РФЛП при двухфазном сканировании в ЗО незначительно снижались с течением времени и достоверно не различались между собой (p = 0,229).

Медианы SUV_{max} (очаг₂₀ и очаг₆₀) в ЗО составили 4,9 (Q1 3,6; Q3 7,8) и 4,6 (Q1 2,9; Q3 7,2). Аналогичные результаты были получены в ДО при ПЭТ/КТ с ⁶⁸Ga-ФАПИ-04 (p = 0,221). Медианы SUV_{max} (очаг₂₀ и очаг₆₀) в ДО составили 3,6 (Q1 2,2; Q3 4,6) и 2,6 (Q1 1,4; Q3 5,6), (рис. 2, б). В то же время, значения SUV_{max} в различные временные промежутки в ЗО были выше, чем в ДО, и имели достоверные различия (p = 0,0002 и p = 0,0008 соответственно).

Подобные результаты были получены в зарубежных исследованиях, где изучалась интенсивность накопления ⁶⁸Ga-ФАПИ у пациентов в доброкачественных и злокачественных поражениях различных органов [11, 12]. Авторы обнаружили гетерогенность интенсивности накопления РФЛП с широким

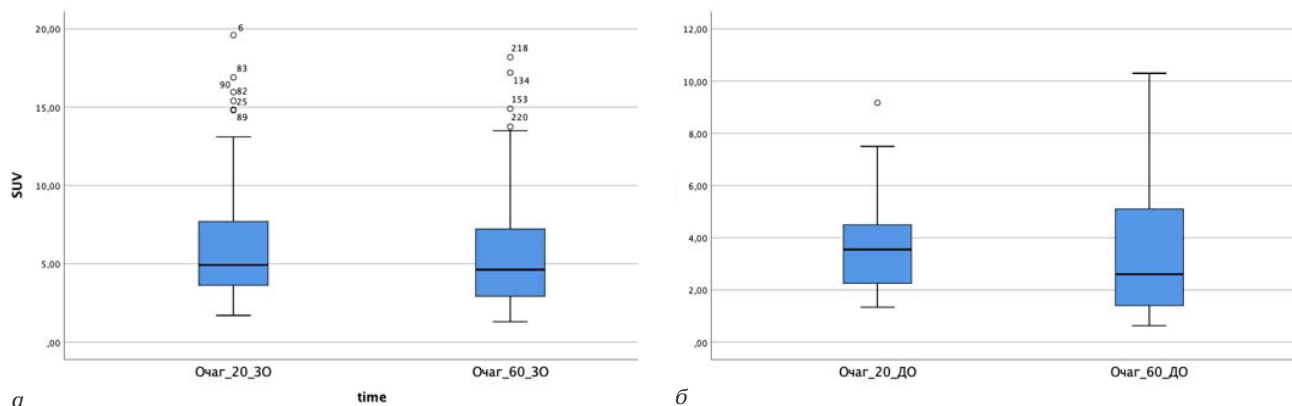


Рис. 2. Боксовые диаграммы. Распределение значений SUVmax (очаг₂₀, очаг₆₀) у пациентов со злокачественными (а) и доброкачественными поражениями печени (б). Линии внутри прямоугольников — медианы. Верхняя и нижняя границы прямоугольников соответствуют 75-му и 25-му процентилем. Из прямоугольника вверх и вниз тянутся так называемые усы, которые заканчиваются в наибольшем и наименьшем измерениях, не являющихся выбросами

Fig. 2. Box figure showing the distribution of SUVmax values (lesion₂₀, lesion₆₀) in patients with malignant (a) and benign (b) hepatic lesions. The line within each box represents the median. The upper and lower edges of the box correspond to the 75th and 25th percentiles, respectively. The «whiskers» extend from the box to the highest and lowest observed values that are not considered outliers

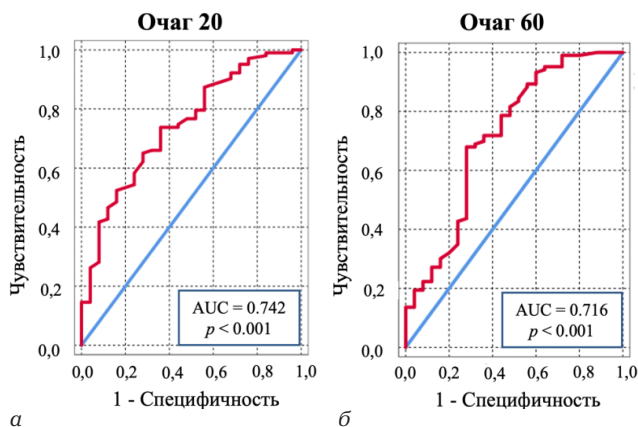


Рис. 3. Данные ROC-кривых показателей накопления РФЛП в ЗО и ДО на 20-й мин (а) и 60-й мин (б) исследования

Fig. 3. ROC curve analysis of radiopharmaceutical uptake in malignant versus benign lesions at 20 minutes (a) and 60 minutes (b) post-injection

диапазоном значений SUV, при этом средний показатель SUV в ДО был в два раза ниже, чем в ЗО, тем не менее, отмечалось существенное перекрытие его значений между этими поражениями. Мы согласны с данными литературы о необходимости учитывать не только клинические, но и рентгенологические данные в дифференциальной диагностике очаговых поражений печени различной природы.

В отличие от других РФЛП, накопление ⁶⁸Ga-ФАПИ при злокачественных новообразованиях либо не изменяется, либо немного снижается с течением времени, что подтверждается результатами нашего исследования. Учитывая быстрое вымывание лигандов ФАПИ из нормальных тканей, некоторые авторы предлагают различные варианты начала исследования, в том числе протоколы раннего сканирования [13].

Недавно несколько зарубежных исследователей опубликовали результаты динамических

ПЭТ/КТ с лигандами ФАПИ и сообщили о равнозначной выявляемости первичных новообразований и метастатических очагов при ПЭТ/КТ с ⁶⁸Ga-ФАПИ-46 и ⁶⁸Ga-ФАПИ-04 через 10, 20 и 60 мин после введения РФЛП [14, 15]. В противоположность этому К. Hu et al. (2022), проанализировали результаты двухфазной ПЭТ/КТ с ¹⁸F-FAPI-42 у пациентов со злокачественными новообразованиями и пришли к выводу, что некоторые очаги не были обнаружены сразу после введения РФЛП из-за высокого фонового накопления в окружающих тканях. Авторы считают оптимальным временем начала сканирования 60 мин после введения РФЛП [16].

В другой работе проводился анализ результатов ПЭТ/КТ с различными лигандами ФАПИ в 5 временных точках (через 10, 22, 34, 46 и 58 мин) после введения РФЛП. Частота выявления злокачественных, воспалительных/реактивных и дегенеративных поражений в период от 34 до 58 мин после введения РФЛП была одинаковой [17].

На рис. 3, а, б представлены пороговые значения SUV, при которых информативность ПЭТ/КТ ⁶⁸Ga-ФАПИ-04 в нашем исследовании оказалась наибольшей. Из рис. 3, а следует, что при уровне SUV ≥ 3,79 чувствительность ПЭТ/КТ₂₀ в дифференциальной диагностике ЗО и ДО в печени составила 73,8 %, специфичность — 64,0 %, площадь под кривой AUC — 0,742 (95 % ДИ 0,638 — 0,847; p < 0,001), диагностическая точность 74,2 %. Чувствительность ПЭТ/КТ₆₀ при уровне SUV ≥ 3,48 (рис. 3, б) составила 68 % (70/103), специфичность — 72 % (18/25), площадь под кривой AUC — 0,716 (95 % ДИ 0,592 — 0,840; p < 0,001), диагностическая точность 71,6 %.

Таким образом, расчет показателя SUVmax позволил повысить специфичность метода в дифференциальной диагностике природы но-

вообразований печени. Так, при пороговом значении $SUV_{max} \geq 3,785$ специфичность ПЭТ/КТ с ^{68}Ga -ФАПИ-04 при выполнении сканирования через 20 мин после инъекции РФЛП составила 64 %, тогда как при визуальной оценке была 28 %. При выполнении исследования через 60 мин при пороговом значении $SUV_{max} \geq 3,48$ специфичность ПЭТ/КТ возросла до 72 %, тогда как при визуальной оценке не превышала 28 %. Тем не менее, полученные в настоящем исследовании результаты продемонстрировали высокую вариабельность показателя SUV_{max} в очагах различной природы, что усложняет дифференциальную диагностику только на основании данных ПЭТ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, полученные результаты показали, что большинство очагов в печени вне зависимости от их природы характеризовались гиперфиксацией ^{68}Ga -ФАПИ-04. Выполнение двухфазного сканирования у пациентов с очаговым поражением печени нецелесообразно, т. к. не повышает специфичность метода в дифференциальной диагностике природы новообразования. Информативность метода ПЭТ/КТ через 20 и через 60 мин от момента введения ^{68}Ga -ФАПИ-04 значимо не различалась, поэтому в рамках одного исследования достаточно однократного ПЭТ/КТ сканирования. Расчет показателя SUV_{max} способствует повышению специфичности ПЭТ/КТ с ^{68}Ga -ФАПИ-04 в идентификации злокачественного поражения печени, тем не менее, его высокая вариабельность в очагах различной природы усложняет дифференциальную диагностику только на основании интенсивности накопления РФЛП.

Конфликт интересов

Авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

Authors declare no conflict of interest.

Соответствие нормам этики

Авторы подтверждают, что соблюдены права людей, принимавших участие в исследовании, включая получение информированного согласия в тех случаях, когда оно необходимо, и правила обращения с животными в случаях их использования в работе. Подробная информация содержится в Правилах для авторов. Проводимые методики одобрены локальным этическим комитетом ФГБУ «РНЦРХТ им. акад. А. М. Гранова» Минздрава России, протокол № 01-02/2021 от 11.02.2021 г.

Compliance with ethical principles

The authors confirm that they respect the rights of the people participated in the study, including obtaining informed consent when it is necessary, and the rules of treatment of animals when they are used in the study. Author Guidelines contains the detailed information. The study was approved by the Local Ethics Committee of the Federal State Budgetary Institution «Russian Scientific Center of Radiology and Surgi-

cal Technologies named after A. M. Granov» of the Ministry of Health of Russia, protocol No 01-02/2021 dated 11.02.2021.

Вклад авторов

А. А. Иванова — идея публикации, обработка материала, оценка результатов исследования, написание текста статьи, анализ и интерпретация данных; Д. В. Рыжкова, И. О. Руткин, А. А. Станжевский, Д. Н. Майстренко — общий дизайн исследования, рецензирование статьи; К. Е. Санарова — статистический анализ; А. Д. Майстренко — анализ литературы. Все авторы одобрили финальную версию статьи перед публикацией, выразили согласие нести ответственность за все аспекты работы, подразумевающую надлежащее изучение и решение вопросов, связанных с точностью или добросовестностью любой части работы.

Author contributions

A. A. Ivanova — idea of the publication, material processing, evaluation of immunohistochemical results, article writing, data analysis and interpretation; D. V. Ryzhkova, I. O. Rutkin, A. A. Stanzhevskii, D. N. Maistrenko — general design of the study and reviewing the article; K. E. Sanarova — statistical analysis; A. D. Maistrenko — literature analysis. All authors have approved the final version of the article before publication, agreed to assume responsibility for all aspects of the work, implying proper review and resolution of issues related to the accuracy or integrity of any part of the work.

ЛИТЕРАТУРА

1. Chen H., Pang Y., Wu J. et al. Comparison of [(68)Ga]Ga-DOTA-FAPI-04 and [(18)F] FDG PET/CT for the diagnosis of primary and metastatic lesions in patients with various types of cancer // *Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging.* – 2020. – Vol. 47. – P. 1820–1832. <https://doi.org/10.1007/s00259-020-04769-z>.
2. Chandekar K. R., Prashanth A., Vinjamuri S., Kumar R. FAPI PET/CT Imaging-An Updated Review // *Diagnostics (Basel).* – 2023. – Vol. 13. – P. 2018. <https://doi.org/10.3390/diagnostics13122018>.
3. Jiao M., Mingsong T., Hao J., Chunyin Z. Diagnostic value of 18F-FDG PET/CT and 68Ga-FAPI PET/CT in primary liver cancer: A systematic review and meta-analysis // *Hell. J. Nucl. Med.* – 2023. – Vol. 26, № 2. – P. 123–131. <https://doi.org/10.1967/s002449912575>.
4. Guo W., Pang Y., Yao L. et al. Imaging fibroblast activation protein in liver cancer: a single-center post hoc retrospective analysis to compare [68Ga]Ga-FAPI-04 PET/CT versus MRI and [18F]-FDG PET/CT // *Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging.* – 2021. – Vol. 48. – P. 1604–1617. <https://doi.org/10.1007/s00259-020-05095-0>.
5. Goh V., Sarker D., Osmany S. et al. Functional imaging techniques in hepatocellular carcinoma // *Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging.* – 2012. – Vol. 39. – P. 1070–1079. <https://doi.org/10.1007/s00259-012-2096-x>.
6. Pabst K. M., Trajkovic-Arsic M., Cheung P. F. Y. et al. Superior Tumor Detection for 68Ga-FAPI-46 Versus 18F-FDG PET/CT and Conventional CT in Patients with Cholangiocarcinoma // *J. Nucl. Med.* – 2023. – Vol. 64, № 7. – P. 1049–1055. <https://doi.org/10.2967/jnumed.122.265215>.
7. Has Simsek D., Guzel Y., Denizmen D. et al. The inferior performance of [68Ga]Ga-FAPI-04 PET/CT as a diagnostic and theranostic biomarker in [177Lu]Lu-DOTATATE refractory well-differentiated neuroendocrine tumors // *Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging.* – 2024. – Vol. 51. – P. 828–840. <https://doi.org/10.1007/s00259-023-06497-6>.
8. Shu Q., Wang Y., Deng M. et al. Benign lesions with 68Ga-FAPI uptake: a retrospective study // *Br J Radiol.* –

2023. – Vol. 96, № 1144. – P. 20220994. <https://doi.org/10.1259/bjr.20220994>.

9. Hope T. A., Calais J., Goenka A. H. et al. Procedure Standard/EANM Practice Guideline for Fibroblast Activation Protein (FAP) PET // *Journal of Nuclear Medicine*. – 2025. – Vol. 66, № 1. – P. 26–33. <https://doi.org/10.2967/jnumed.124.269002>.

10. Guo W., Pang Y., Yao L. et al. Imaging Fibroblast Activation Protein in Liver Cancer: A Single-Center Post Hoc Retrospective Analysis to Compare [68Ga]Ga-FAPI-04 PET/CT versus MRI and [18F]-FDG PET/CT // *Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging*. – 2021. – Vol. 48. – P. 1604–1617. <https://doi.org/10.1007/s00259-020-05095-0>.

11. Zheng S., Lin R., Chen S. et al. Characterization of the benign lesions with increased 68Ga-FAPI-04 uptake in PET/CT // *Ann. Nucl. Med.* – 2021. – Vol. 35. – P. 1312–1320. <https://doi.org/10.1007/s12149-021-01673-w>.

12. Qin C., Song Y., Liu X. et al. Increased uptake of 68Ga-DOTA-FAPI-04 in bones and joints: metastases and beyond // *Eur J Nucl. Med. Mol. Imaging*. – 2022. – Vol. 49. – P. 709–720. <https://doi.org/10.1007/s00259-021-05472-3>.

13. Glatting F. M., Hoppner J., Liew D. P. et al. Repetitive early 68Ga-FAPI PET acquisition comparing 68Ga-FAPI-02, 68Ga-FAPI-46, and 68Ga-FAPI-74: methodologic and diagnostic implications for malignant, inflammatory/reactive, and degenerative lesions // *J. Nucl. Med.* – 2022. – Vol. 63. – P. 1844–1851. <https://doi.org/10.2967/jnumed.122.264069>.

14. Ferdinandus J., Kessler L., Hirmas N. et al. Equivalent tumor detection for early and late FAPI-46 PET acquisition // *Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging*. – 2021. – Vol. 48, № 10. – P. 3221–3227. <https://doi.org/10.1007/s00259-021-05266-7>.

15. Xing H., Hu G., Zhu W. et al. Dynamic PET/CT scan of 68Ga-FAPI-04 for the optimal acquisition time in suspected malignant hepatic cancer patients // *Abdom. Radiol.* – 2023. – Vol. 48. – P. 895–901. <https://doi.org/10.1007/s00261-022-03764-2>.

16. Hu K., Wang L., Wu H. et al. [(18F)]FAP-42 PET imaging in cancer patients: Optimal acquisition time, biodistribution, and comparison with [(68)Ga]Ga-FAPI-04 // *Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging*. – 2022. – Vol. 49, № 8. – P. 2833–2843. <https://doi.org/10.1007/s00259-021-05646-z>.

17. Glatting F. M., Hoppner J., Liew D. P. et al. Repetitive Early 68Ga-FAPI PET Acquisition Comparing 68Ga-FAPI-02, 68Ga-FAPI-46, and 68Ga-FAPI-74: Methodologic and Diagnostic Implications for Malignant, Inflammatory/Reactive, and Degenerative Lesions // *Journal of Nuclear Medicine*. – 2022. – Vol. 63, № 12. – P. 1844–1851. <https://doi.org/10.2967/jnumed.122>.

REFERENCES

1. Chen H., Pang Y., Wu J. et al. Comparison of [(68)Ga]Ga-DOTA-FAPI-04 and [(18F)] FDG PET/CT for the diagnosis of primary and metastatic lesions in patients with various types of cancer // *Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging*. 2020;47:1820–1832. <https://doi.org/10.1007/s00259-020-04769-z>.

2. Chandekar K. R., Prashanth A., Vinjamuri S., Kumar R. FAPI PET/CT Imaging—An Updated Review // *Diagnostics (Basel)*. 2023;13:2018. <https://doi.org/10.3390/diagnostics13122018>.

3. Jiao M., Mingsong T., Hao J., Chunyin Z. Diagnostic value of 18F-FDG PET/CT and 68Ga-FAPI PET/CT in primary liver cancer: A systematic review and meta-analysis // *Hell. J. Nucl. Med.* 2023;26(2):123–131. <https://doi.org/10.1967/s002449912575>.

4. Guo W., Pang Y., Yao L. et al. Imaging fibroblast activation protein in liver cancer: a single-center post hoc ret-

rospective analysis to compare [68Ga]Ga-FAPI-04 PET/CT versus MRI and [18F]-FDG PET/CT // *Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging*. 2021;48:1604–1617. <https://doi.org/10.1007/s00259-020-05095-0>.

5. Goh V., Sarker D., Osmany S. et al. Functional imaging techniques in hepatocellular carcinoma // *Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging*. 2012;39:1070–1079. <https://doi.org/10.1007/s00259-012-2096-x>.

6. Pabst K. M., Trajkovic-Arsic M., Cheung P. F. Y. et al. Superior Tumor Detection for 68Ga-FAPI-46 Versus 18F-FDG PET/CT and Conventional CT in Patients with Cholangiocarcinoma // *J. Nucl. Med.* 2023;64(7):1049–1055. <https://doi.org/10.2967/jnumed.122.265215>.

7. Has Simsek D., Guzel Y., Denizmen D. et al. The inferior performance of [68Ga]Ga-FAPI-04 PET/CT as a diagnostic and theranostic biomarker in [177Lu]Lu-DOTATATE refractory well-differentiated neuroendocrine tumors // *Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging*. 2024;51:828–840. <https://doi.org/10.1007/s00259-023-06497-6>.

8. Shu Q., Wang Y., Deng M. et al. Benign lesions with 68Ga-FAPI uptake: a retrospective study // *Br J Radiol.* 2023;96(1144):20220994. <https://doi.org/10.1259/bjr.20220994>.

9. Hope T. A., Calais J., Goenka A. H. et al. Procedure Standard/EANM Practice Guideline for Fibroblast Activation Protein (FAP) PET // *Journal of Nuclear Medicine*. 2025;66(1):26–33. <https://doi.org/10.2967/jnumed.124.269002>.

10. Guo W., Pang Y., Yao L. et al. Imaging Fibroblast Activation Protein in Liver Cancer: A Single-Center Post Hoc Retrospective Analysis to Compare [68Ga]Ga-FAPI-04 PET/CT versus MRI and [18F]-FDG PET/CT // *Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging*. 2021;48:1604–1617. <https://doi.org/10.1007/s00259-020-05095-0>.

11. Zheng S., Lin R., Chen S. et al. Characterization of the benign lesions with increased 68Ga-FAPI-04 uptake in PET/CT // *Ann. Nucl. Med.* 2021;35:1312–1320. <https://doi.org/10.1007/s12149-021-01673-w>.

12. Qin C., Song Y., Liu X. et al. Increased uptake of 68Ga-DOTA-FAPI-04 in bones and joints: metastases and beyond // *Eur J Nucl. Med. Mol. Imaging*. 2022;49:709–720. <https://doi.org/10.1007/s00259-021-05472-3>.

13. Glatting F. M., Hoppner J., Liew D. P. et al. Repetitive early 68Ga-FAPI PET acquisition comparing 68Ga-FAPI-02, 68Ga-FAPI-46, and 68Ga-FAPI-74: methodologic and diagnostic implications for malignant, inflammatory/reactive, and degenerative lesions // *J. Nucl. Med.* 2022;63:1844–1851. <https://doi.org/10.2967/jnumed.122.264069>.

14. Ferdinandus J., Kessler L., Hirmas N. et al. Equivalent tumor detection for early and late FAPI-46 PET acquisition // *Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging*. 2021;48(10):3221–3227. <https://doi.org/10.1007/s00259-021-05266-7>.

15. Xing H., Hu G., Zhu W. et al. Dynamic PET/CT scan of 68Ga-FAPI-04 for the optimal acquisition time in suspected malignant hepatic cancer patients // *Abdom. Radiol.* 2023;48:895–901. <https://doi.org/10.1007/s00261-022-03764-2>.

16. Hu K., Wang L., Wu H. et al. [(18F)]FAP-42 PET imaging in cancer patients: Optimal acquisition time, biodistribution, and comparison with [(68)Ga]Ga-FAPI-04 // *Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging*. 2022;49(8):2833–2843. <https://doi.org/10.1007/s00259-021-05646-z>.

17. Glatting F. M., Hoppner J., Liew D. P. et al. Repetitive Early 68Ga-FAPI PET Acquisition Comparing 68Ga-FAPI-02, 68Ga-FAPI-46, and 68Ga-FAPI-74: Methodologic and Diagnostic Implications for Malignant, Inflammatory/Reactive, and Degenerative Lesions // *Journal of Nuclear Medicine*. 2022;63(12):1844–1851. <https://doi.org/10.2967/jnumed.122>.

Информация об авторах

Иванова Анна Александровна, кандидат медицинских наук, зав. отделением радиоизотопной позитронно-эмиссионной томографии, врач-радиолог, Российский научный центр радиологии и хирургических технологий им. акад. А. М. Гранова (Санкт-Петербург, Россия), ORCID: 0000-0002-9239-4814, SPIN: 6111-3095; **Рыжкова Дарья Викторовна**, доктор медицинских наук, проф. РАН, зав. кафедрой ядерной медицины и радиационных технологий с клиникой Института медицинского образования, Национальный медицинский исследовательский центр им. В. А. Алмазова (Санкт-Петербург, Россия), профессор кафедры рентгенологии и радиационной медицины, Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И. П. Павлова (Санкт-Петербург, Россия), ORCID: 0000-0002-7086-9153, SPIN: 7567-6920; **Санарова Ксения Евгеньевна**, ассистент кафедры биотехнических систем, Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина) (Санкт-Петербург, Россия), старший лаборант кафедры ядерной медицины и радиационных технологий с клиникой Института медицинского образования, Национальный медицинский исследовательский центр им. В. А. Алмазова (Санкт-Петербург, Россия), ORCID: 0000-0002-2311-7338, SPIN: 5186-6212; **Руткин Игорь Олегович**, зам. главного врача по хирургии, Российский научный центр радиологии и хирургических технологий им. академика А. М. Гранова (Санкт-Петербург, Россия), ORCID: 0000-0002-9018-0433, SPIN: 8471-4559; **Станжевский Андрей Алексеевич**, доктор медицинских наук, зам. директора по научной работе, Российский научный центр радиологии и хирургических технологий им. акад. А. М. Гранова (Санкт-Петербург, Россия), ORCID: 0000-0002-1630-0564, SPIN: 4025-4260; **Майстренко Алексей Дмитриевич**, кандидат медицинских наук, врач-сердечно-сосудистый хирург КДЦ, Национальный медицинский исследовательский центр им. В. А. Алмазова (Санкт-Петербург, Россия), ORCID: 0000-0003-0335-4712; **Майстренко Дмитрий Николаевич**, доктор медицинских наук, директор, Российский научный центр радиологии и хирургических технологий им. акад. А. М. Гранова (Санкт-Петербург, Россия), ORCID: 0000-0001-8174-7461, SPIN: 707363-4840.

Information about authors

Ivanova Anna A., Cand. of Sci. (Med.), Head of the Department of Radioisotope Positron Emission Tomography, Radiologist, Russian Scientific Center of Radiology and Surgical Technologies named after A. M. Granov (Saint Petersburg, Russia), ORCID: 0000-0002-9239-4814, SPIN: 6111-3095; **Ryzhkova Dariya V.**, Dr. of Sci. (Med.), Professor of the Russian Academy of Sciences, Head of the Department of Nuclear Medicine and Radiation Technologies with the Clinic of the Institute of Medical Education, Almazov National Medical Research Centre (Saint Petersburg, Russia), Professor of the Department of Radiology and Radiation Medicine, Pavlov University (Saint Petersburg, Russia), ORCID: 0000-0002-7086-9153, SPIN: 7567-6920; **Sanarova Kseniia E.**, Assistant of the Department of Biotechnical Systems, Saint Petersburg State Electrotechnical University «LETI» named after V. I. Ulyanov (Lenin) (Saint Petersburg, Russia), Senior Laboratory Assistant of the Department of Nuclear Medicine and Radiation Technologies with the Clinic of the Institute of Medical Education, Almazov National Medical Research Centre (Saint Petersburg, Russia), ORCID: 0000-0002-2311-7338, SPIN: 5186-6212; **Rutkin Igor O.**, Deputy Chief Physician for Surgery, Russian Scientific Center of Radiology and Surgical Technologies named after A. M. Granov (Saint Petersburg, Russia), ORCID: 0000-0002-9018-0433, SPIN: 8471-4559; **Stanzhevskii Andrei A.**, Dr. of Sci. (Med.), Deputy Director for Scientific Work, Russian Scientific Center of Radiology and Surgical Technologies named after A. M. Granov (Saint Petersburg, Russia), ORCID: 0000-0002-1630-0564, SPIN: 4025-4260; **Maystrenko Aleksey D.**, Cand. of Sci. (Med.), Cardiovascular Surgeon, Consulting and Diagnostic Center, Almazov National Medical Research Centre (Saint Petersburg, Russia), ORCID: 0000-0003-0335-4712; **Maystrenko Dmitry N.**, Dr. of Sci. (Med.), Director, Russian Scientific Center of Radiology and Surgical Technologies named after A. M. Granov (Saint Petersburg, Russia), ORCID: 0000-0001-8174-7461, SPIN: 707363-4840.