

А.В. Муравлева^{1,3}, В.И. Чернов^{1,2}, В.Е. Гольдберг¹, Е.А. Шамсимухаметова¹, Р.В. Зельчан^{1,2}, А.А. Медведева^{1,2}, О.Д. Брагина^{1,2}, Н.О. Попова¹, В.В. Высоцкая¹, А.Н. Рыбина¹, А.В. Гольдберг¹

ОФЭКТ/КТ С 99m Tс-ПСМА В СТАДИРОВАНИИ И ДИАГНОСТИКЕ ЛИМФОМЫ ХОДЖКИНА

¹ Томский национальный исследовательский медицинский центр РАН, Томск

² Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск

³ Сибирский государственный медицинский университет Минздрава РФ, Томск

РЕЗЮМЕ Контактное лицо: Альбина Владимировна Муравлева, e-mail: albina_danilova7487@mail.ru

Цель: Демонстрация возможности использования ОФЭКТ/КТ с 99m Tс-ПСМА с целью визуализации лимфомы Ходжкина на этапе диагностики, а также в процессе терапии.

Материал и методы: Пациентке с диагнозом лимфома Ходжкина выполнялись стандартные исследования – компьютерная томография с внутривенным контрастированием, а также ПЭТ/КТ с 18 F-ФДГ. Дополнительно выполнялась ОФЭКТ/КТ с 99m Tс-ПСМА.

Результаты: Описан клинический случай лимфомы Ходжкина с поражением средостения у молодой пациентки. Продемонстрирована возможность современных методов ядерной медицины в диагностике лимфомы Ходжкина. Выполнена ОФЭКТ/КТ с 99m Tс-ПСМА как вариант альтернативного метода диагностики, при невозможности осуществить ПЭТ/КТ с 18 F-ФДГ на этапе специфического лечения.

Заключение: Представлен клинический случай лимфомы Ходжкина с поражением средостения у молодой пациентки. Продемонстрированы возможности ОФЭКТ/КТ с 99m Tс-ПСМА для визуализации поражения средостения.

Ключевые слова: лимфома Ходжкина, простатспецифический мембранный антиген, ОФЭКТ/КТ, 99m Tс-ПСМА

Для цитирования: Муравлева А.В., Чернов В.И., Гольдберг В.Е., Шамсимухаметова Е.А., Зельчан Р.В., Медведева А.А., Брагина О.Д., Попова Н.О., Высоцкая В.В., Рыбина А.Н., Гольдберг А.В. ОФЭКТ/КТ с 99m Tс-ПСМА в стадировании и диагностике лимфомы Ходжкина // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2025. Т. 70. № 4. С. 106–110. DOI:10.33266/1024-6177-2025-70-4-106-110

DOI:10.33266/1024-6177-2025-70-4-106-110

A.V. Muravleva^{1,3}, V.I. Chernov^{1,2}, V.E. Goldberg¹, E.A. Shamsimukhametova¹, R.V. Zelchan^{1,2}, A.A. Medvedeva^{1,2}, O.D. Bragina^{1,2}, N.O. Popova¹, V.V. Vysotskaya¹, A.N. Rybina¹, A.V. Goldberg¹

SPECT/CT with 99m Tc-PSMA in the Staging and Diagnosis of Hodgkin Lymphoma

¹ Tomsk National Research Medical Center, Tomsk, Russia

² National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

³ Siberian State Medical University, Tomsk, Russia

Contact person: A.V. Muravleva, e-mail: albina_danilova7487@mail.ru

ABSTRACT

Purpose: Demonstrate the possibility of using 99m Tc-PSMA SPECT/CT to visualize Hodgkin's lymphoma at the diagnostic stage, as well as during therapy.

Material and methods: The patient diagnosed with Hodgkin's lymphoma underwent standard studies – computed tomography with intravenous contrast, as well as PET/CT with 18 F-FDG. Additionally, 99m Tc-PSMA SPECT/CT was performed.

Results: A clinical case of Hodgkin's lymphoma with mediastinal lesions in a young patient is described. The possibility of modern nuclear medicine methods in the diagnosis of Hodgkin's lymphoma is demonstrated. SPECT/CT with 99m Tc-PSMA was performed as an alternative diagnostic method when it is impossible to perform PET/CT with 18 F-FDG at the stage of specific treatment.

Conclusion: The article presents a clinical case of Hodgkin's lymphoma with mediastinal involvement in a young patient. The capabilities of SPECT/CT with 99m Tc-PSMA for visualization of mediastinal lesions was demonstrated.

Keywords: Hodgkin's lymphoma, prostate-specific membrane antigen, SPECT/CT, 99m Tc-PSMA

For citation: Muravleva AV, Chernov VI, Goldberg VE, Shamsimukhametova EA, Zelchan RV, Medvedeva AA, Bragina OD, Popova NO, Vysotskaya VV, Rybina AN, Goldberg AV. SPECT/CT with 99m Tc-PSMA in the Staging and Diagnosis of Hodgkin Lymphoma. Medical Radiology and Radiation Safety. 2025;70(4):106–110. (In Russian). DOI:10.33266/1024-6177-2025-70-4-106-110

Введение

Лимфома Ходжкина (ЛХ) – одно из наиболее часто встречающихся заболеваний в структуре онкогематологической патологии. Субстратом опухоли являются В-лимфоциты. Данный вид лимфомы относится к индолентным, то есть медленно развиваются и характеризуются благоприятным прогнозом. В то же время встречаются достаточно агрессивные формы ЛХ, обладающие резистентностью к химио- и лучевой терапии, а также склонностью к рецидивированию. На долю лимфомы Ходжкина в России приходится 2,2 случая на 100 тыс. населения в год, смертность от этой патологии достигает 0,61 случаев на 100 тыс. населения в год. Данному заболеванию подвержены все возрастные категории, но чаще встречаются от 16 до 35 лет. В России среди заболевших преобладают женщины [1]. Этиология ЛХ неясна.

В субстрате пораженного лимфомой Ходжкина лимфоузла на 99 % преобладают реактивные Т и В лимфоциты, фибробласти, эозинофилы, дендритные клетки, гистиоциты и другие клеточные элементы. На долю гигантских одноядерных клеток Ходжкина и многоядерных клеток Березовского–Штернберга–Рид приходится лишь 1 %. Данные клетки продуцируют различные хемокины, перфорин, гранзим и другие вещества, способствующие дальнейшему развитию опухоли.

На сегодняшний день ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ входит в российские, европейские и американские стандарты обследования пациентов с ЛХ. Данный метод исследования рекомендуют выполнять на стадии диагностики заболевания, проведения специфического лечения и по завершении терапии, поскольку ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ дает объективную визуализацию распространенности опухолевого процесса, а также позволяет оценить ответ на проводимое лечение [1–6].

В Российской Федерации не все регионы обладают возможностью проведения ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ, из-за ограничений, связанных с невысокой оснащенностью дорогостоящими ПЭТ-сканерами и циклотронами, на которых осуществляется производство фтора-18. В связи с этим, актуальным является исследование возможности клинического применения других методов молекуллярной визуализации, как альтернативы ПЭТ. Одним из таких подходов может стать использование однофотонной эмиссионной компьютерной томографии (ОФЭКТ) с меченными $^{99\text{m}}\text{Tc}$ производной глюкозы ($^{99\text{m}}\text{Tc}$ -1-тио-D-глюкоза) [7–13] и ингибитором простатспецифического мембранный антигена, меченного технецием- 99m ($^{99\text{m}}\text{Tc}$ -ПСМА).

Простатспецифический мембранный антиген (ПСМА) – это трансмембранный гликопротеин II типа с глутамат-карбоксипептидазной активностью, состоящий из 3 доменов: короткой внутриклеточной части, трансмембранных участка и экстрацеллюлярного домена [2, 3].

Ведущей ролью ПСМА является способствование развитию злокачественной опухоли предстательной железы, которая в основном состоит из стромальных, эпителиальных и нейроэндокринных клеток, секретирующих факторы роста, хемокины и нейропептиды. Данные вещества, как известно, участвуют в процессах пролиферации, апоптоза, а также клеточного и тканевого гомеостаза. Рецептор ПСМА активно влияет на клетки микроокружения, нарушая баланс синтеза биологически активных веществ. Следствием этого является развитие неопластического процесса. Одновременно выявлена интересная особенность данного антигена. Установлена высокая экспрессия ПСМА некоторыми тканями,

не относящимися к предстательной железе, такими как доброкачественные опухоли, воспалительные процессы, злокачественные новообразования, некоторые виды лимфом. Данную особенность удалось выявить при помощи иммуно-гистохимического анализа (ИГХ) с использованием антител, специфичных с экстрацеллюлярному домену антигена [2, 3]. Следует отметить, что экспрессия ПСМА в вышеперечисленных структурах не столь выражена, по сравнению с клетками злокачественной опухоли предстательной железы.

Радиофармпрепарат (РФП) на основе ингибиторов (ПСМА) хорошо зарекомендовал себя в ПЭТ- и ОФЭКТ-диагностике рака предстательной железы. При этом в недавних публикациях, была отмечена возможность применения такого подхода для визуализации патологического процесса при лимфоме Ходжкина и фолликулярной лимфоме. В этом аспекте, наибольший практический интерес представляет использование $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -ПСМА, так как технеций-99m остается оптимальным радионуклидом для диагностических исследований благодаря своим физико-химическим свойствам и удобству получения [14, 15]. Сотрудники Томского политехнического университета и Томского НИМЦ с 80-х годов прошлого века разрабатывают инновационные РФП для ядерной медицины [16]. В 2022 г. получил регистрационное удостоверение $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -ПСМА, созданный этим коллективом. Данный РФП активно используется для диагностики рака предстательной железы [15], кроме того изучается возможность его применения для визуализации других злокачественных новообразований, в частности лимфом.

Целью исследования явилась демонстрация возможности использования ОФЭКТ/КТ с $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -ПСМА для диагностики и мониторинга лимфомы Ходжкина.

Данные истории болезни:

Пациентка О. 28 лет.

В ноябре 2023 г. отметила появление слабости, потливости, сухого кашля, похудения. В результате выполнения компьютерной томографии органов грудной клетки выявлена лимфоаденопатия средостения. Далее стала отмечать увеличение шейных лимфатических узлов. В декабре 2023 г. выполнена биопсия шейного лимфатического узла. При проведении гистологического и иммуно-гистохимического исследования биопсийного материала диагностирована лимфома Ходжкина, вариант нодулярного склероза. До начала специфической терапии, в соответствии с клиническими рекомендациями была выполнена позитронно-эмиссионная томография с ^{18}F -ФДГ. По данным ПЭТ/КТ от 10.01.2024 признаки лимфоаденопатии выше диафрагмы, образование средостения с размерами $57 \times 47 \times 8$ мм. В данном образовании визуализировалось повышенное поглощение РФП 5 Deauville ($\text{SUV}=8,5$) (рис. 1). По данным КТ органов грудной клетки с внутривенным контрастированием, перед началом специфического лечения определялось образование переднего средостения размерами $59 \times 41 \times 8,4$ мм. Пациентке перед началом химиотерапевтического лечения также выполнена ОФЭКТ/КТ с $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -ПСМА (рис. 2). Картина, полученная методом ОФЭКТ/КТ с $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -ПСМА практически идентична результатом ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ. При этом уровень аккумуляции $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -ПСМА в очаге поражения оказался несколько меньше ($\text{SUV}=7,5$).

С учетом верифицированного диагноза, согласно клиническим рекомендациям, проводились курсы полихимиотерапии по протоколу BEACOPP (циклоfosфан, доксорубицин, этопозид, дакарбазин, винкристин, блеомицин, преднизолон). По результатам промежуточного

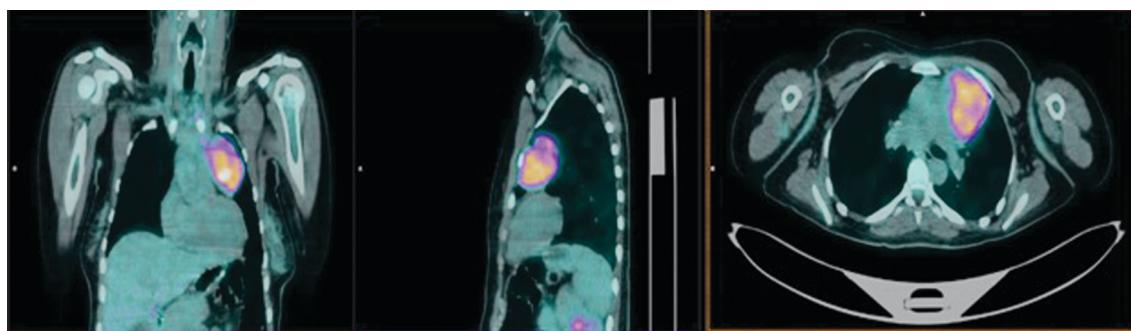


Рис. 1. ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ – визуализируется высокое накопление РФП (SUV=8,5) в образовании переднего средостения (стрелки)
Fig. 1. PET/CT with ^{18}F -FDG visualizes the uptake of radiopharmaceuticals (SUV=8.5) in the lesion of anterior mediastinum (arrows)

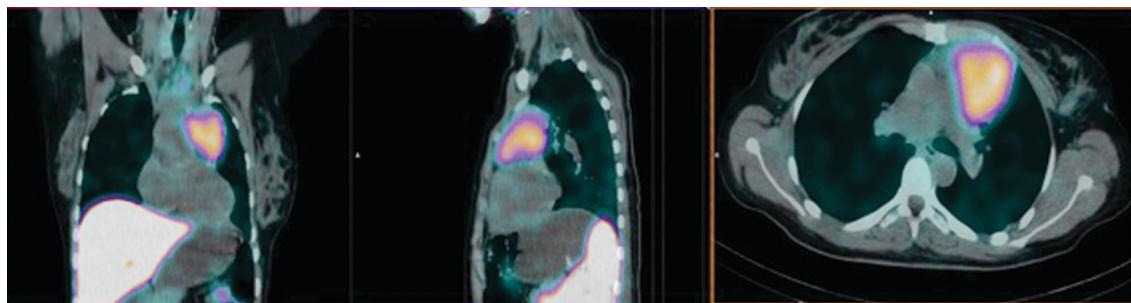


Рис. 2. ОФЭКТ/КТ с $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -ПСМА – визуализируется поглощение РФП (SUV=7,5) в переднем средостении (стрелки)
Fig. 2. SPECT/CT with $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -PSMA visualizes radiopharmaceutical uptake (SUV=7.5) in the anterior mediastinum (arrows)

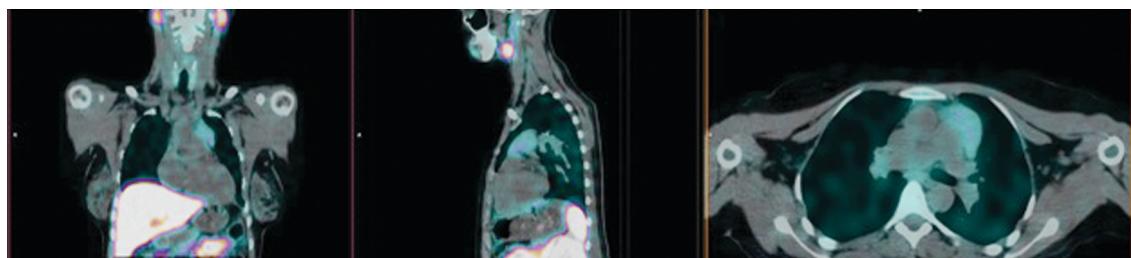


Рис. 3. ОФЭКТ/КТ с $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -ПСМА после 5 курсов химиотерапии. Визуализируется уменьшение размеров образования средостения и существенное снижение накопления РФП в остаточной опухоли (SUV=1,9)
Fig. 3. SPECT/CT with $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -PSMA after 5 courses of chemotherapy. A decrease in the size of the mediastinal mass and a significant decrease in the of radiopharmaceuticals uptake in the residual tumor are visualized (SUV = 1.9)

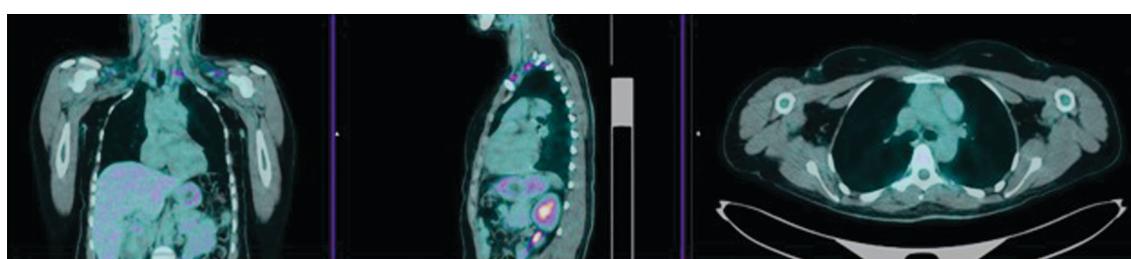


Рис. 4. ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ – визуализируется отсутствие поглощения РФП в переднем средостении
Fig. 4. PET/CT with ^{18}F -FDG shows absence of radiopharmaceutical uptake in the anterior mediastinum

обследования, отмечалась выраженная положительная динамика в виде уменьшения размеров ранее выявленных лимфоузлов и образования средостения. Учитывая тот факт, что выполнение промежуточной ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ не всегда является доступной опцией, во время очередной госпитализации была выполнена ОФЭКТ/КТ с $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -ПСМА после 5 курсов полихимиотерапии. Сцинтиграфическая картина демонстрировала положительную динамику в течении процесса на фоне проводимой химиотерапии (рис. 3). Отмечается уменьшение размеров образования средостения и существенное снижение накопления РФП в остаточной опухоли (SUV=1,9).

Учитывая наличие остаточной опухоли, проведено еще два курса полихимиотерапии. Специфическая терапия окончена в июне 2024 г. В ходе лечения достигнута ремиссия, подтвержденная ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ. По данным исследования отмечалось полное отсутствие накопления РФП в средостении (рис. 4).

Заключение

Представлен клинический случай лимфомы Ходжкина с поражением средостения. Продемонстрированы возможности применения ОФЭКТ/КТ с $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -ПСМА для визуализации процесса на стадии диагностики и оценки результатов химиотерапии на этапах лечения.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Российские клинические рекомендации по диагностике и лечению злокачественных лимфопролиферативных заболеваний / Под ред. И.В.Поддубной, В.Г.Савченко. Самара, 2018. 470 с.
2. Salas Fragomeni R.A., Amir T., Sheikhbahaei S., Harvey S.C., Javadi M.S., Solnes L.B., et al. Imaging of Nonprostate Cancers Using PSMA-Targeted Radiotracers: Rationale, Current State of the Field, and a Call to Arms // *J Nucl Med.* 2018. V.59. No.6. P. 871–7. doi: 10.2967/jnumed.117.203570.
3. Al-Ahmadi H.A., Olgac S., Gregor P.D., Tickoo S.K., Fine S.W., Kondagunta G.V., et al. Expression of Prostate-Specific Membrane Antigen in Renal Cortical Tumors // *Mod Pathol.* 2008. V.21. No.6. P. 727-32. doi: 10.1038/modpathol.2008.42.
4. Wang J.H., Kiess A.P. PSMA-Targeted Therapy for Non-Prostate Cancers // *Front Oncol.* 2023 Aug 14. No.13. P. 1220586. doi: 10.3389/fonc.2023.1220586. PMID: 37645427; PMCID: PMC10461313.
5. Чернов В.И., Дудникова Е.А., Гольдберг В.Е., Кравчук Т.Л., Данилова А.В., Зельчан Р.В., Медведева А.А., Синилкин И.Г., Брагина О.Д., Попова Н.О., Гольдберг А.В. Позитронная эмиссионная томография в диагностике и мониторинге лимфопролиферативных заболеваний // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2018. Т.63. №6. С. 41-50.
6. arrington S.F., Mikhaeel N.G., Kostakoglu L., et al. Role of Imaging in the Staging and Response Assessment of Lymphoma: Consensus of the International Conference on Malignant Lymphomas Imaging Working Group // *J Clin Oncol.* 2014. V.32. P.3048–58. doi: 10.1200/JCO.2013.53.5229.
7. Cheson B.D., Fisher R.I., Barrington S.F., et al. Recommendations for Initial Evaluation, Staging, and Response Assessment of Hodgkin and Non-Hodgkin Lymphoma: the Lugano Classification // *J Clin Oncol.* 2014. V.32. P. 3059–68. doi: 10.1200/JCO.2013.54.8800.
8. Dreyling M., Thieblemont C., Gallamini A., et al. ESMO Consensus Conferences: Guidelines on Malignant Lymphoma. Part 2: Marginal Zone Lymphoma, Mantle Cell Lymphoma, Peripheral T-Cell Lymphoma // *Ann Oncol.* 2013. V.24. P. 857–77. doi: 10.1093/annonc/mds643
9. Boellaard R., Delgado-Bolton R., Oyen W.J.G., et al. FDG PET/CT: EANM Procedure Guidelines for Tumour Imaging: Version 2.0 // *Eur J Nucl Med Mol Imaging.* 2015. No.42. P. 328–354.
10. Zeltchan R., Medvedeva A., Sinilkin I., et al. Experimental Study of Radiopharmaceuticals Based on Technetium-99m Labeled Derivative of Glucose for Tumor Diagnosis // VIII International Scientific Conference Issues of Physics and Technology in Science, Industry and Medicine. Tomsk, 1–3 June, 2016. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2016. No.135. P. 012054. doi: 10.1088/1757-899X/135/1/012054.
11. Зельчан Р.В., Медведева А.А., Синилкин И.Г. и др. Изучение функциональной пригодности туморотропного радиофармпрепарата ^{99m}Tc -1-тио-D-глюкоза в эксперименте // Молекулярная медицина. 2018. Т.16. №2. С.54-57. doi: 10.29296/24999490-2018-03-11
12. Чернов В.И., Медведева А.А., Синилкин И.Г. и др. Разработка радиофармпрепараторов для радионуклидной диагностики в онкологии // Медицинская визуализация. 2016. № 2. С. 63-66.
13. Chernov V.I., Dudnikova E.A., Zelchan R.V., et al. The First Experience of Using ^{99m}Tc -1-Thio-d-Glucose for Single-Photon Emission Computed Tomography Imaging of Lymphomas // Siberian Oncology Journal. 2018. V.17. No.4. С. 81-87. doi: 10.21294/1814-4861-2018-17-4-81-87.
14. Дудникова Е.А., Чернов В.И., Муравлева А.В. и др. Метаболическая однофотонная эмиссионная компьютерная томография с новым радиофармацевтическим препаратом « ^{99m}Tc -1-тио-D-глюкоза» в диагностике и мониторинге изолированной лимфомы молочной железы (клиническое наблюдение) // Сибирский онкологический журнал. 2020. Т.19. №5. С. 145-153. doi: 10.21294/1814-4861-2020-19-5-145-153.
15. Муравлева А.В., Чернов В.И., Дудникова Е.А. и др. Метаболическая однофотонная эмиссионная компьютерная томография с « ^{99m}Tc -1-тио-d-глюкозой» – новые возможности стадирования лимфомы Ходжкина // Российский электронный журнал лучевой диагностики. 2021. Т.11. №3. С. 171-177. doi: 10.21569/2222-7415-2021-11-3-171-177.
16. Chernov V., Dudnikova E., Zelchan R., Medvedeva A., Rybina A., Bragina O., Goldberg V., Muravleva A., Sørensen J., Tolmachev V. Phase I Clinical Trial Using $[^{99m}\text{Tc}]$ Tc-1-Thio-D-Glucose for Diagnosis of Lymphoma Patients // *Pharmaceutics.* 2022. No.14. P. 1274.
17. Tolmachev V.M., Chernov V.I., Deyev S.M. Targeted Nuclear Medicine. See and Destroy. // *Russ Chem Rev.* 2022. No.91. P. RCR5034. doi: 10.1070/RCR5034.
18. Чернов В.И. Инновационные радиофармпрепараты в диагностике и радионуклидной терапии злокачественных новообразований // Вестник Российской академии наук. 2024. Т.94. №1. С. 66-79. doi: 10.31857/S0869587324010088.
19. Лишманов Ю.Б., Чернов В.И., Кривоногов Н.Г., Глухов Г.Г., Маслова Л.В. Перфузионная сцинтиграфия миокарда с ^{199}Tl -хлоридом в эксперименте // Медицинская радиология. 1988. Т.33. №3. С. 13-16.

REFERENCES

1. Rossiyskiye Klinicheskiye Rekomendatsii po Diagnostike i Lecheniyu Zlokachestvennykh Limfoproliferativnykh Zabolевaniy = Russian Clinical Guidelines for the Diagnosis and Treatment of Malignant Lymphoproliferative Diseases. Ed. I.V.Poddubnaya, V.G.Savchenko. Samara Publ., 2018. 470 p. (In Russ.).
2. Salas Fragomeni R.A., Amir T., Sheikhbahaei S., Harvey S.C., Javadi M.S., Solnes L.B., et al. Imaging of Nonprostate Cancers Using PSMA-Targeted Radiotracers: Rationale, Current State of the Field, and a Call to Arms. *J Nucl Med.* 2018;59:6:871-7. doi: 10.2967/jnumed.117.203570.
3. Al-Ahmadi H.A., Olgac S., Gregor P.D., Tickoo S.K., Fine S.W., Kondagunta G.V., et al. Expression of Prostate-Specific Membrane Antigen in Renal Cortical Tumors. *Mod Pathol.* 2008;21:6:727-32. doi: 10.1038/modpathol.2008.42.
4. Wang J.H., Kiess A.P. PSMA-Targeted Therapy for Non-Prostate Cancers. *Front Oncol.* 2023 Aug 14;13:1220586. doi: 10.3389/fonc.2023.1220586. PMID: 37645427; PMCID: PMC10461313.
5. Chernov V.I., Dudnikova Ye.A., Gol'dberg V.Ye., Kravchuk T.L., Daniilova A.V., Zel'chan R.V., Medvedeva A.A., Sini-lkin I.G., Bragina O.D., Popova N.O., Gol'dberg A.V. Posi-tron Emission Tomography in the Diagnosis and Monitoring of Lymphoproliferative Diseases. *Meditinskaya Radiologiya i Radiatsionnaya Bezopasnost'* = Medical Radiology and Radiation Safety. 2018;63;6:41-50 (In Russ.).
6. Barrington S.F., Mikhaeel N.G., Kostakoglu L., et al. Role of Imaging in the Staging and Response Assessment of Lymphoma: Consensus of the International Conference on Malignant Lymphomas Imaging Working Group. *J Clin Oncol.* 2014;32:3048–58. doi: 10.1200/JCO.2013.53.5229.
7. Cheson B.D., Fisher R.I., Barrington S.F., et al. Recommendations for Initial Evaluation, Staging, and Response Assessment of Hodgkin and Non-Hodgkin Lymphoma: the Lugano Classification. *J Clin Oncol.* 2014;32:3059-68. doi: 10.1200/JCO.2013.54.8800.
8. Dreyling M., Thieblemont C., Gallamini A., et al. ESMO Consensus Conferences: Guidelines on Malignant Lymphoma. Part 2: Marginal Zone Lymphoma, Mantle Cell Lymphoma, Peripheral T-Cell Lymphoma. *Ann Oncol.* 2013;24:857–77. doi: 10.1093/annonc/mds643.
9. Boellaard R., Delgado-Bolton R., Oyen W.J.G., et al. FDG PET/CT: EANM Procedure Guidelines for Tumour Imaging: Version 2.0. *Eur J Nucl Med Mol Imaging.* 2015;42:328-354.

10. Zeltchan R., Medvedeva A., Sinilkin I., et al. Experimental Study of Radiopharmaceuticals Based on Technetium-99m Labeled Derivative of Glucose for Tumor Diagnosis. VIII International Scientific Conference Issues of Physics and Technology in Science, Industry and Medicine. Tomsk, 1–3 June, 2016. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2016;135:012054. doi: 10.1088/1757-899X/135/1/012054.
11. Zel'chan R.V., Medvedeva A.A., Sinilkin I.G., et al. Study of the Functional Suitability of the Tumortropic Radiopharmaceutical ^{99m}Tc -1-thio-D-glucose in an Experiment. *Molekulyarnaya Meditsina* = Molecular Medicine. 2018;16;2:54-57 (In Russ.). doi: 10.29296/24999490-201803-11
12. Chernov V.I., Medvedeva A.A., Sinilkin I.G., et al. Development of Radiopharmaceuticals for Radionuclide Diagnostics in Oncology. *Meditinskaya Vizualizatsiya* = Medical Visualization. 2016;2:63-66 (In Russ.).
13. Chernov V.I., Dudnikova E.A., Zelchan R.V., et al. The First Experience of Using ^{99m}Tc -1-Thio-d-Glucose for Single-Photon Emission Computed Tomography Imaging of Lymphomas. *Siberian Oncology Journal*. 2018;17;4:81-87. doi: 10.21294/1814-4861-2018-17-4-81-87.
14. Dudnikova Ye.A., Chernov V.I., Muravleva A.V., et al. Metabolic Single-Photon Emission Computed Tomography with a new Radiopharmaceutical Drug « ^{99m}Tc -1-thio-D-glucose» in the Diagnosis and Monitoring of Isolated Breast Lymphoma (Clinical Observation). *Sibirskiy Onkologicheskiy Zhurnal* = Siberian Journal of Oncology. 2020;19;5:145-153 (In Russ.). doi: 10.21294/1814-4861-2020-19-5-145-153.
15. Muravleva A.V., Chernov V.I., Dudnikova Ye.A., et al. Metabolic Single-Photon Emission Computed Tomography with “ ^{99m}Tc -1-thio-d-glucose” - New Possibilities for Staging Hodgkin's Lymphoma. *Rossiyskiy Elektronnyy Zhurnal Luchevoy Diagnostiki* = Russian Electronic Journal of Radiation Diagnostics. 2021;11;3:171-177 (In Russ.). doi: 10.21569/2222-7415-2021-11-3-171-177.
16. Chernov V., Dudnikova E., Zelchan R., Medvedeva A., Rybina A., Bragina O., Goldberg V., Muravleva A., Sørensen J., Tolmachev V. Phase I Clinical Trial Using [^{99m}Tc]Tc-1-Thio-D-Glucose for Diagnosis of Lymphoma Patients. *Pharmaceutics*. 2022;14:1274.
17. Tolmachev V.M., Chernov V.I., Deyev S.M. Targeted Nuclear Medicine. See and Destroy. *Russ Chem Rev*. 2022;91:RCR5034 (In Russ.). doi: 10.1070/RCR5034.
18. Chernov V.I. Innovative Radiopharmaceuticals in Diagnostics and Radionuclide Therapy of Malignant Neoplasms. *Vestnik Rossiyskoy Akademii Nauk* = Bulletin of the Russian Academy of Sciences. 2024;94;1:66-79 (In Russ.). doi: 10.31857/S0869587324010088.
19. Lishmanov Yu.B., Chernov V.I., Krivonogov N.G., Glukhov G.G., Maslova L.V. Perfusion Scintigraphy of the Myocardium with ^{199}Tl -Chloride in the Experiment. *Meditinskaya Radiologiya* = Medical Radiology. 1988;33;3:13-16 (In Russ.).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Работа была выполнена при финансовой поддержке программы развития ТПУ «Приоритет 2030» (Приоритет-2030-ИЗ-024-202-2024).

Участие авторов. Статья подготовлена с равным участием авторов.

Поступила: 20.03.2025. Принята к публикации: 25.04.2025.

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

Financing. The work was carried out with the financial support of the transport hub development program «Priority 2030» (Priority-2030-IZ-024-202-2024).

Contribution. Article was prepared with equal participation of the authors.

Article received: 20.03.2025. Accepted for publication: 25.04.2025.