

DOI: 10.21294/1814-4861-2020-19-1-90-96

УДК: 618.19-006.6-033.22-073.756.8

Для цитирования: Чанчикова Н.Г., Карлова Е.А., Савельева А.С., Силкина О.А., Чернов В.И., Зельчан Р.В., Синилкин И.Г., Брагина О.Д., Медведева А.А. Использование позитронно-эмиссионной томографии для выявления отдаленных метастазов у больных раком молочной железы. Сибирский онкологический журнал. 2020; 19(1): 90–96. – doi: 10.21294/1814-4861-2020-19-1-90-96.

For citation: Chanchikova N.G., Karlova E.A., Savel'eva A.S., Silkina O.A., Chernov V.I., Zeltchan R.V., Sinilkin I.G., Bragina O.D., Medvedeva A.A. Positron emission tomography for detection of distant metastases in patients with breast cancer. Siberian Journal of Oncology. 2020; 19(1): 90–96. – doi: 10.21294/1814-4861-2020-19-1-90-96.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЗИТРОННО-ЭМИССИОННОЙ ТОМОГРАФИИ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ОТДАЛЕННЫХ МЕТАСТАЗОВ У БОЛЬНЫХ РАКОМ МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ

Н.Г. Чанчикова¹, Е.А. Карлова¹, А.С. Савельева¹, О.А. Силкина¹,
В.И. Чернов^{2,3}, Р.В. Зельчан², И.Г. Синилкин², О.Д. Брагина²,
А.А. Медведева²

ФГБУ «Федеральный Сибирский научно-клинический центр Федерального
медико-биологического агентства», г. Красноярск, Россия¹

Россия, г. Красноярск, 660037, ул. Коломенская, 26¹

Научно-исследовательский институт онкологии, Томский национальный
исследовательский медицинский центр Российской академии наук, г. Томск, Россия²

Россия, г. Томск, 634009, пер. Кооперативный, 5. E-mail: medvedeva@tnimc.ru²

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
г. Томск, Россия³

Россия, г. Томск, 634050, пр. Ленина, 30³

Аннотация

Введение. Стандартными методами лучевой диагностики при выявлении отдаленных метастазов являются рентгенография грудной клетки, ультразвукография, магнитно-резонансная и компьютерная томография. Данные методы имеют определенные ограничения в выявлении отдаленных метастазов. Поиск новых методов диагностики отдаленного метастазирования, в частности рака молочной железы, послужил началом данной работы. **Материал и методы.** Ретроспективно были проанализированы результаты ПЭТ/КТ с ¹⁸F-ФДГ 50 пациенток с диагнозом рак молочной железы. **Результаты.** При использовании традиционных методов лучевой диагностики было высказано подозрение на наличие отдаленных метастазов у 29 пациенток, подтвержден метастатический процесс – у 16, чувствительность данных методик составила 80 %, специфичность – 67,5 %. По результатам ПЭТ/КТ с ¹⁸F-ФДГ у 29 пациенток не было диагностировано отдаленных метастазов, при динамическом наблюдении у одной из них было выявлено метастатическое поражение плевры, у 21 пациентки были зафиксированы отдаленные метастазы (в двух случаях не подтвержденные). Чувствительность метода составила 95 %, специфичность – 93,3 %. **Заключение.** Возможности ПЭТ/КТ с ¹⁸F-ФДГ существенно превосходят традиционные методы клинко-инструментальной диагностики при выявлении отдаленных метастазов рака молочной железы. Метод показан к широкому использованию в клинической практике на этапах стадирования этой патологии.

Ключевые слова: позитронно-эмиссионная томография, ПЭТ/КТ, ¹⁸F-ФДГ, метастатическое поражение, рак молочной железы.

POSITRON EMISION TOMOGRAPHY FOR DETECTION OF DISTANT METASTASES IN PATIENTS WITH BREAST CANCER

N.G. Chanchikova¹, E.A. Karlova¹, A.S. Savel'eva¹, O.A. Silkina¹, V.I. Chernov^{2,3}, R.V. Zeltchan², I.G. Sinilkin², O.D. Bragina², A.A. Medvedeva²

The Federal Siberian Research Clinical Centre under the Federal Medical Biological Agency, Krasnoyarsk, Russia¹

26, Kolomenskaya Street, Krasnoyarsk, 660037, Russia¹

Cancer Research Institute, Tomsk National Research Medical Center, Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russia²

5, Kooperativny Street, Tomsk, 634050, Russia. E-mail: medvedeva@tnimc.ru²

National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia³

30, Lenina Prospect, Tomsk, 634050, Russia³

Abstract

Background. Standard imaging techniques, including chest X-ray, ultrasonography, magnetic resonance imaging and computed tomography have some limitations in terms of their ability to detect distant metastases. The purpose of the study was to search for additional diagnostic techniques for breast cancer detection. **Material and Methods.** Results of ¹⁸F-FDG PET/scans were retrospectively analyzed in 50 breast cancer patients. **Results.** Traditional imaging techniques showed suspicion for distant metastases in 29 patients. Of them, metastatic disease was histologically confirmed in 16 patients. Sensitivity and specificity of traditional imaging techniques were 80 % and 67.5 %, respectively. Distant metastases were not detected by ¹⁸F-FDG PET/CT in 29 patients, however in one of these patients, both CT and cytological examination performed during the follow-up period revealed pleural metastases. ¹⁸F-FDG PET/CT detected distant metastases in 21 patients. Of these patients, two had no evidence of metastases confirmed by biopsy and other diagnostic imaging methods as well as during follow-up period. The sensitivity and specificity of ¹⁸F-FDG PET/CT in detection of distant metastases were 95 % and 93.3 %, respectively. **Conclusion.** Sensitivity of ¹⁸F-FDG PET/CT in the detection of breast cancer distant metastasis was significantly higher than that of the traditional imaging techniques.

Key words: positron emission tomography, PET/CT, ¹⁸F-FDG, distant metastases, breast cancer.

Введение

Преимущества, а в ряде случаев и незаменимость методов ядерной медицины в диагностике и лечении злокачественных новообразований обусловили её устойчивое развитие и превращение в неотъемлемую часть клинической онкологии. Исследования, проводимые в настоящее время, направлены как на изучение уже существующих методик для расширения показаний к их использованию, совершенствование технической базы, так и на разработку новых радиофармацевтических препаратов (РФП) [1–3]. Позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ) основана на использовании позитрон-излучающих РФП. В отличие от других методов лучевой диагностики, таких как компьютерная томография (КТ) и магнитно-резонансная томография (МРТ), при помощи ПЭТ можно обнаруживать небольшие концентрации вводимых агентов, обеспечивая возможность *in vivo* исследовать биологию опухоли [4]. Основным ограничением данного метода является невысокое пространственное разрешение (5–10 мм) по сравнению с КТ или МРТ. Кроме того, качество получаемого изображения существенно зависит от дозы вводимого РФП: чем выше доза, тем качественнее изображение, при этом введение больших

доз, естественно, лимитировано высокой лучевой нагрузкой на пациента.

Важным преимуществом ПЭТ перед однофотонной эмиссионной компьютерной томографией (ОФЭКТ) является возможность использовать широкий диапазон РФП. Радиофармацевтические препараты для ПЭТ основаны на частицах, которые присутствуют в биологических системах (¹⁸F, ¹¹C), в отличие от РФП для ОФЭКТ на основе ^{99m}Tc, ¹⁹⁹Tl или ¹¹¹In [4, 5]. Наиболее часто используемым РФП для ПЭТ является ¹⁸F-фтордезоксиглюкоза (¹⁸F-ФДГ) [6–10]. Указанный РФП транспортируется в клетки и подвергается фосфорилированию, однако в отличие от глюкозы в дальнейшем не подвергается окислению. Скорость поглощения и уровень захвата ¹⁸F-ФДГ отражают интенсивность метаболизма глюкозы в опухоли, для количественной оценки которой в клинике используют такой показатель, как величина стандартизованного поглощения (SUV). При расчете SUV накопление РФП в новообразовании нормализуется на вводимую дозу РФП и массу пациента [11].

Еще в 1930-х годах XX века O. Wargurg [11] было установлено, что метаболизм глюкозы в опухолях существенно превышает аналогичные показатели в нормальных тканях. Это в полной мере справедли-

во и для ^{18}F -ФДГ, интенсивное включение которой в злокачественных новообразованиях отражает усиленный метаболизм глюкозы в опухолях. В настоящее время большое количество исследований направлено на изучение целесообразности и определение показаний использования ПЭТ с ^{18}F -ФДГ при раке молочной железы (РМЖ) [12]. Показано, что интенсивное накопление ^{18}F -ФДГ коррелирует с более агрессивным течением опухолевого процесса. Главным образом это утверждение основано на сопоставлении результатов ПЭТ с ^{18}F -ФДГ, гистологического типа РМЖ и показателей клеточной пролиферации [12–15]. Менее сильные связи выявлены между уровнем аккумуляции ^{18}F -ФДГ с микрососудистой плотностью, ангиогенезом и плотностью опухолевых клеток [12, 13, 16]. Кроме того, поглощение указанного РФП не коррелирует с такими важными для прогноза течения заболевания факторами, как рецепторный статус, состояние регионарных лимфатических узлов и размер опухоли. В клинической практике ПЭТ с ^{18}F -ФДГ активно используют для динамического наблюдения за больными РМЖ.

Одной из серьезных проблем в онкологии является отдаленное метастазирование в процессе динамического наблюдения или на фоне проводимой терапии. Так, у больных РМЖ с большими опухолями (Т3) риск отдаленных метастазов достаточно высок, составляя 8,3–15,1 % [6–8].

Стандартными методами лучевой диагностики при обследовании пациентов с местнораспространенным раком молочной железы являются рентгенография грудной клетки (РГК), маммография, ультразвукография молочной железы и дополнительные исследования в зависимости от симптоматики: МРТ грудной клетки; остеосцинтиграфия; КТ, ультразвукография или МРТ брюшной полости; КТ, ультразвукография или МРТ таза. В то же время традиционные методы визуализации имеют свои ограничения при выявлении отдаленных метастазов РМЖ [16].

Целью исследования явилось изучение диагностических возможностей ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ в выявлении отдаленных метастазов у пациенток с верифицированным раком молочной железы.

Материал и методы

Ретроспективно были проанализированы результаты ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ 50 пациенток с диагнозом рак молочной железы II–IV стадии, наблюдающихся в КГУЗ «Красноярский краевой клинический онкологический диспансер им. А.И. Крыжановского» с 2015 по 2016 г. Всем пациенткам стандартно выполнялись остеосцинтиграфия, КТ брюшной полости и грудной клетки, при необходимости – ультразвукография. Кроме этого, всем больным проводилась ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ. Исследование выполнялось на томографе GE Discovery 600 на базе Центра ядерной меди-

цины ФГБУЗ СКЦ ФМБА России (г. Красноярск). Показанием к выполнению ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ явилось подозрение на наличие отдаленных метастазов по данным традиционных методов лучевой диагностики (n=32), местнораспространенный рак молочной железы (n=25) и подозрение на злокачественную опухоль молочной железы (n=3).

Позитронно-эмиссионная томография всего тела (от уровня глазниц до средней трети бедра) выполнялась в сочетании с низкодозным КТ-сканированием для коррекции аттенуации ПЭТ-данных. Исследование проводилось натощак (прием пищи исключался минимум за 6 ч до исследования), радиофармпрепарат ^{18}F -ФДГ вводился внутривенно в дозе 300–550 МБк (8–15 мКи) и через 60–90 мин выполнялось сканирование. Полученные изображения были реконструированы с использованием стандартных программ. Результаты каждого исследования интерпретировались специалистами по рентгенологии и радиологии.

Наличие или отсутствие отдаленных метастазов подтверждалось данными гистологических исследований или традиционных методов диагностики, либо при динамическом наблюдении за пациентами (сроки наблюдения – 1–20 мес).

Для оценки полученных результатов проводили расчет чувствительности и специфичности ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ по следующим формулам:

$$\text{чувствительность} = \text{ИП}/(\text{ИП}+\text{ЛЮ}) \times 100 \%;$$

$$\text{специфичность} = \text{ИО}/(\text{ЛП}+\text{ИО}) \times 100 \%,$$

где ИП – истинно положительное решение: наличие признаков метастатического поражения по данным ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ (традиционных методов лучевой диагностики) и результатам верификации; ЛЮ – ложноотрицательное решение: отсутствие метастатического поражения по результатам ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ (традиционных методов лучевой диагностики) при наличии метастазов по данным верифицирующих методик; ЛП – ложноположительное решение: наличие признаков метастатического поражения по данным ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ (традиционных методов лучевой диагностики) при отсутствии метастазов по данным верифицирующих методик; ИО – истинно отрицательное решение: отсутствие данных за метастатический процесс по результатам ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ (традиционных методов лучевой диагностики) и верифицирующих методик.

Результаты

Результаты комплексного обследования и клинического наблюдения позволили выявить наличие отдаленных метастазов (рис. 1, 2) у 19 пациенток, при этом в 70 % случаев наблюдалось метастатическое поражение костей скелета и лимфатического аппарата. Наличие метастазов было подтверждено гистологически у 7 пациенток, по результатам дополнительных диагностических процедур – у 9, при динамическом наблюдении – у 3 больных.

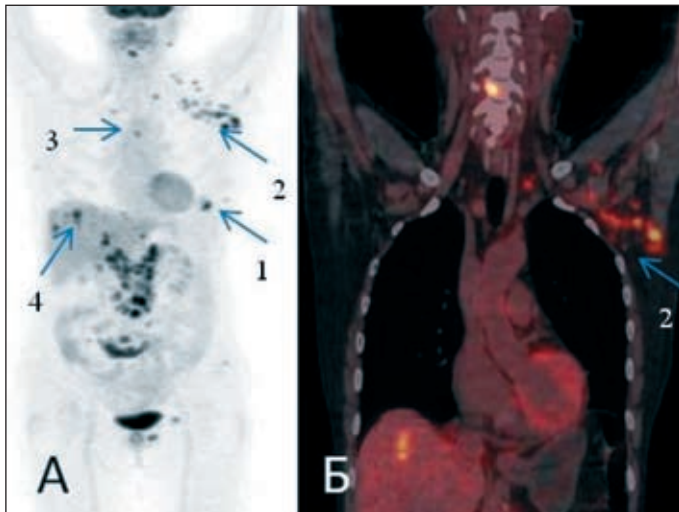


Рис. 1. Пациентка с диагнозом рак левой молочной железы. Состояние после полихимиотерапии. Метаболически активное образование левой молочной железы (1) с метастатическим поражением печени (4), надпочечников, скелета; подмышечных, над- и подключичных лимфоузлов слева (2), забрюшинных и средостенного (3) лимфоузлов – в виде множественных участков гиперфиксации индикатора. А – ПЭТ-скан, Б – совмещенные ПЭТ/КТ томограммы

Fig. 1. Left-sided breast cancer after polychemotherapy. Metabolically active lesion in the left breast (1) with metastatic lesions in the liver (4), adrenal glands, skeleton; axillary, supraclavicular and subclavian lymph nodes on the left (2), retroperitoneal and mediastinal (3) lymph nodes as multiple sites of hyperfixation of the radiotracer. A: PET scan. B: combined PET/CT tomograms

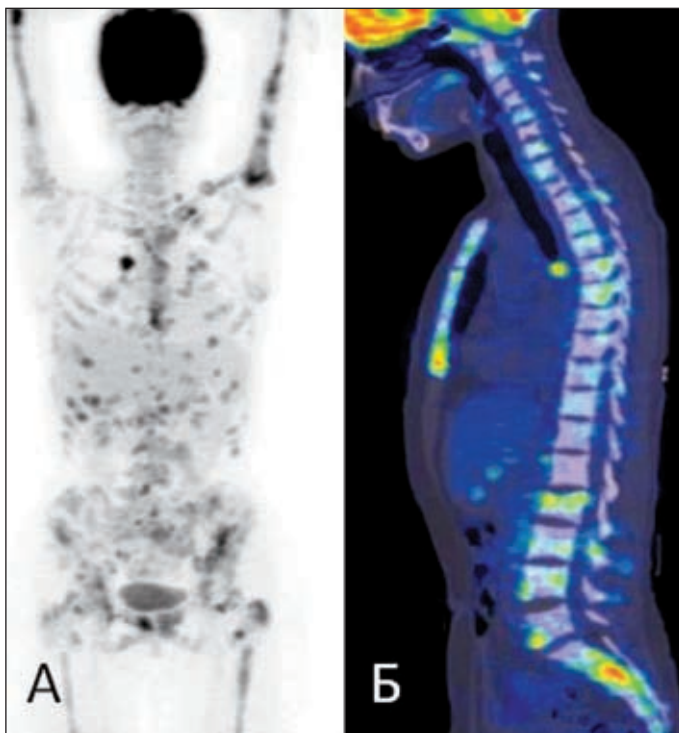


Рис. 2. Пациентка с диагнозом рак правой молочной железы. Состояние после радикальной мастэктомии в 2007 г. Признаки тотального метаболически активного поражения скелета вторичного характера. Вторичное метаболически активное поражение печени; лимфоузлов средостения, забрюшинных, подвздошных, над- и подключичного слева. А – ПЭТ-скан, Б – совмещенные ПЭТ/КТ томограммы

Fig. 2. Right-sided breast cancer after radical mastectomy. Signs of metabolically active secondary bone lesions. Metabolically active secondary lesions in the liver, mediastinal, retroperitoneal, iliac, and supraclavicular lymph nodes on the left. A: PET scan. B: combined PET/CT tomograms

У 31 больной по данным комплексного обследования и клинического наблюдения не было выявлено отдаленных метастазов. У 4 пациенток с подозрением на метастатическое поражение локализация процесса позволила выполнить биопсию, при гистологическом исследовании данных за метастаз не получено. У 16 больных по результатам дополнительных методов лучевой диагностики также не был подтвержден метастатический процесс. Диагноз отдаленного метастазирования был также отклонен у 11 пациенток после динамического наблюдения, при этом медиана наблюдения составила 10 мес. Ни одна из пациенток (n=31) без отдаленных метастазов не умерла во время наблюдения. У 4 больных впоследствии наблюдалось прогрессирование заболевания, которое сопровождалось

появлением метастазов в регионарные лимфатические узлы (n=1), отдаленные лимфатические узлы (n=2), кости (n=4) и легкие (n=1).

По результатам исследования с использованием традиционных методов лучевой диагностики было высказано подозрение на наличие отдаленных метастазов у 29 пациенток из 50 обследованных, из них у 16 подтвержден метастатический процесс. По нашим данным, чувствительность традиционных методов лучевой диагностики в выявлении отдаленных метастазов составила 80 %, специфичность – 67,5 %.

По результатам ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ у 29 пациенток не было диагностировано отдаленных метастазов, однако при динамическом наблюдении у одной из них было выявлено метастатическое поражение

плевры, подтвержденное при КТ грудной клетки и цитологическом исследовании. У 21 пациентки по результатам ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ были зафиксированы отдаленные метастазы. Однако у двух из них метастатическое поражение не было подтверждено ни результатами биопсии, ни данными других методов лучевой диагностики и при динамическом наблюдении (таблица). Чувствительность ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ в обнаружении отдаленных метастазов составила 95 %, специфичность – 93,3 %.

Обсуждение

В процессе проведения исследования у 19 из 50 пациенток РМЖ были выявлены отдаленные метастазы. Следует отметить, что результаты ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ значительно превосходили традиционные методы лучевой диагностики по чувствительности и специфичности. При ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ обнаружены метастазы, которые не были выявлены традиционными методами лучевой диагностики у 3 (16 %) из 19 пациенток.

В настоящее время известным фактом является способность ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ обнаруживать и дополнительно характеризовать отдаленные метастазы рака молочной железы. По данным литературы, у 16–30 % пациенток с локорегионарными рецидивами РМЖ эта гибридная методика используется для выявления отдаленных метастазов. Известно, что у 24 % пациенток данные изменения развиваются в течение 18 мес после диагностики рецидива заболевания, при этом чувствительность метода ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ в выявлении отдаленных метастазов, по разным источникам, варьирует от 84 до 93 % [17, 18].

Наиболее частой локализацией гематогенных метастазов РМЖ являются кости скелета. Несмотря на то, что остеосцинтиграфия обладает достаточно высокой общей чувствительностью в обнаружении костных метастазов, однако эти показатели снижаются при диагностике литических поражений или очагов, ограниченных костным мозгом. Тогда как ПЭТ с ^{18}F -ФДГ позволяет выявлять как остеолитические, так и остеобластические костные метастазы [19]. Чувствительность ПЭТ с ^{18}F -ФДГ в диагностике костных метастазов колеблется от 56 до 100 %, при выявлении литических

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Чернов В.И., Брагина О.Д., Синилкин И.Г., Медведева А.А., Зельчан Р.В. Радионуклидная тераностика злокачественных образований. Вестник рентгенологии и радиологии. 2016; 97(5): 306–313. [Chernov V.I., Bragina O.D., Sinilkin I.G., Medvedeva A.A., Zel'chan R.V. Radionuclide teranostic of malignancies. Journal of radiology and nuclear medicine. 2016; 97(5): 306–313. (in Russian)].
2. Чернов В.И., Медведева А.А., Синилкин И.Г., Зельчан Р.В., Брагина О.Д., Скуридин В.С. Опыт разработки инновационных радиофармпрепаратов в Томском НИИ онкологии. Сибирский онкологический журнал. 2015; S2: 45–47. [Chernov V.I., Medvedeva A.A., Sinilkin I.G., Zel'chan R.V., Bragina O.D., Skuridin V.S. Experience in developing innovative radiopharmaceuticals at the Tomsk Research Institute of Oncology. Siberian Journal of Oncology. 2015; S2: 45–47. (in Russian)].

Таблица /Table

Результаты исследований

Study results

Результат исследования/ Study results	ПЭТ/ПЕТ	Традиционные методы исследования/ Traditional methods
Истинноположительный/ True positive	19	16
Истинноотрицательный/ True negative	28	18
Ложноположительный/ False positive	2	13
Ложноотрицательный/ False negative	1	3

костных метастазов – 100 % (против 70 % для остеосцинтиграфии) [20–22]. Кроме этого, следует отметить, что ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ не только дает информацию о структуре костных поражений за счет КТ, но и позволяет оценить их метаболическую активность с помощью ПЭТ.

Полученные результаты показали, что ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ является более точным методом, чем традиционные методы лучевой диагностики для выявления отдаленных метастазов, что подтверждают данные литературы [23–27]. Считается, что данный метод лучевой визуализации имеет ограниченное значение в выявлении и ранней диагностике РМЖ, в частности при малых и неинвазивных опухолях. Следовательно, использование ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ на этапах первичной диагностики рака молочной железы нецелесообразно. Однако данный метод информативен при выявлении отдаленных метастазов, рецидивах РМЖ.

Закключение

Возможности ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ существенно превосходят традиционные методы лучевой диагностики при выявлении отдаленных метастазов рака молочной железы (чувствительность – 95 %, специфичность – 93,3 %). Метод показан к широкому использованию в клинической практике.

3. Vag T., Steiger K., Rossmann A., Keller U., Noske A., Herhaus P., Ettl J., Niemeyer M., Wester H.J., Schwaiger M. PET imaging of chemokine receptor CXCR4 in patients with primary and recurrent breast carcinoma. EJNMMI Res. 2018 Sep 6; 8(1): 90. doi: 10.1186/s13550-018-0442-0.

4. Tewson T., Krohn K. PET radiopharmaceuticals: state-of-the-art and future prospects. Semin Nucl Med. 1998; 28: 221–34. doi: 10.1016/s0001-2998(98)80028-7.

5. Тицкая А.А., Чернов В.И., Слонимская Е.М., Синилкин И.Г. Маммосцинтиграфия с $^{99\text{Tc}}$ в диагностике рака молочной железы. Сибирский онкологический журнал. 2008; 6: 5–10. [Titskaya A.A., Chernov V.I., Slonimskaya E.M., Sinilkin I.G. Mammoscintigraphy with $^{99\text{Tc}}$ for breast cancer detection. Siberian Journal of Oncology. 2008; 6: 5–10. (in Russian)].

6. Benard F., Turcotte E. Imaging in breast cancer: single-photon computed tomography and positron-emission tomography. Breast Cancer Res 2005; 7(4): 153–62. DOI: 10.1186/bcr1201.

7. Eubank W.B., Mankoff D.A. Evolving role of positron emission tomography in breast cancer imaging. *Semin Nucl Med* 2005; 35(2): 84–99. doi: 10.1053/j.semnuclmed.2004.11.001.
8. Kelloff G.J., Hoffman J.M., Johnson B., Scher H.I., Siegel B.A., Cheng E.Y., Cheson B.D., O'Shaughnessy J., Guyton K.Z., Mankoff D.A., Shankar L., Larson S.M., Sigman C.C., Schilsky R.L., Sullivan D.C. Progress and promise of FDG-PET imaging for cancer patient management and oncologic drug development. *Clin Cancer Res* 2005; 11(8): 2785–808. doi: 10.1158/1078-0432.CCR-04-2626.
9. Haidar M., Baassiri A., Maroun G., Barakat A., Nassar L., Abusara M., Gharzeddine K., Berjawi G. New era of PET/CT in breast cancer: high-resolution PET/dfCT. *Nucl Med Commun*. 2018 Nov; 39(11): 1039–1044. doi: 10.1097/MNM.0000000000000907.
10. Mankoff D.A., Muzi M., Krohn K.A. Quantitative positron emission tomography imaging to measure tumor response to therapy: what is the best method? *Mol Imaging Biol* 2003; 5(5): 281–5. doi: 10.1016/j.mibio.2003.09.002.
11. Warburg O. The metabolism of tumors. New York: Richard R. Smith; 1931.
12. Bos R., van Der Hoeven J.J., van Der Wall E., van Der Groep P., van Diest P.J., Comans E.F., Joshi U., Semenza G.L., Hoekstra O.S., Lammermsma A.A., Molthoff C.F. Biologic correlates of (18)fluorodeoxyglucose uptake in human breast cancer measured by positron emission tomography. *J Clin Oncol* 2002; 20(2): 379–87. doi: 10.1200/JCO.2002.20.2.379.
13. Avril N., Menzel M., Dose J., Schelling M., Weber W., Jänicke F., Nathrath W., Schwaiger M. Glucose metabolism of breast cancer assessed by 18F-FDG PET: histologic and immunohistochemical tissue analysis. *J Nucl Med* 2001; 42(1): 9–16.
14. Mankoff D.A., Dunnwald L.K., Gralow J.R., Ellis G.K., Charlop A., Lawton T.J., Schubert E.K., Tseng J., Livingston R.B. Blood flow and metabolism in locally advanced breast cancer: relationship to response to therapy. *J Nucl Med*. 2002; 43(4): 500–9.
15. Oshida M., Uno K., Suzuki M., Nagashima T., Hashimoto H., Yagata H., Shishikura T., Imazeki K., Nakajima N. Predicting the prognoses of breast carcinoma patients with positron emission tomography using 2-deoxy-2-fluoro[18F]-D-glucose. *Cancer*. 1998(1): 2227–34.
16. Alessio A.M., Kinahan P.E., Cheng P.M., Vesselle H., Karp J.S. PET/CT scanner instrumentation, challenges, and solutions. *Radiol Clin North Am*. 2004 Nov; 42(6): 1017–32.
17. Quon A., Gambhir S.S. FDG-PET and beyond: Molecular breast cancer imaging. *J Clin Oncol*. 2005; 23: 1664–1673. doi: 10.1200/JCO.2005.11.024.
18. Tafra L. Positron emission tomography (PET) and mammography (PEM) for breast cancer: importance to surgeons. *Ann Surg Oncol*. 2007 Jan; 14(1): 3–13. doi: 10.1245/s10434-006-9019-7.
19. Eubank W.B. Diagnosis of recurrent and metastatic disease using F-18 fluorodeoxyglucose-positron emission tomography. *PET Clin*. 2006 Jan; 1(1): 15–24. doi: 10.1016/j.epet.2005.09.002.
20. Fogelman I., Cook G., Israel O., Van der Wall H. Positron emission tomography and skeletal metastases. *Semin Nucl Med*. 2005 Apr; 35(2): 135–42. doi: 10.1053/j.semnuclmed.2004.11.005.
21. Du Y., Cullum I., Illidge T.M., Ell P.J. Fusion of metabolic function and morphology: Sequential [18F] Fluorodeoxyglucose positron-emission tomography/computed tomography studies yield new insights into the natural history of skeletal metastases in breast cancer. *J Clin Oncol*. 2007 Aug 10; 25(23): 3440–7. doi: 10.1200/JCO.2007.11.2854.
22. Nakai T., Okuyama C., Kubota T., Yamada K., Ushijima Y., Tanike K., Suzuki T., Nishimura T. Pitfalls of FDG-PET for the diagnosis of osteoblastic skeletal metastases in patients with breast cancer. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2005 Nov; 32(11): 1253–8. doi: 10.1007/s00259-005-1842-8.
23. Fuster D., Duch J., Paredes P., Velasco M., Muñoz M., Santamaria G., Fontanillas M., Pons F. Preoperative staging of large primary 1118 Role of PET/CT in Primary Breast Cancer Staging breast cancer with [18F] fluorodeoxyglucose positron emission tomography/computed tomography compared with conventional imaging procedures. *J Clin Oncol*. 2008 Oct 10; 26(29): 4746–51. doi: 10.1200/JCO.2008.17.1496.
24. Carkaci S., Macapinlac H.A., Cristofanilli M., Mawlawi O., Rohren E., Gonzalez Angulo A.M., Dawood S., Resetkova E., Le-Petross H.T., Yang W.T. Retrospective study of 18F-FDG PET/CT in the diagnosis of inflammatory breast cancer: Preliminary data. *J Nucl Med*. 2009 Feb; 50(2): 231–8. doi: 10.2967/jnumed.108.056010.
25. Alberini J.L., Lerebours F., Wartski M., Fourme E., Le Stanc E., Gontier E., Madar O., Cherel P., Pecking A.P. 18F-fluorodeoxyglucose positron emission tomography/computed tomography (FDG-PET/CT) imaging in the staging and prognosis of inflammatory breast cancer. *Cancer*. 2009 Nov 1; 115(21): 5038–47. doi: 10.1002/cncr.24534.
26. Groheux D., Moretti J.L., Baillet G., Espie M., Giacchetti S., Hindie E., Hennequin C., Vilcoq J.R., Cuvier C., Toubert M.E., Filmont J.E., Sarandi F., Misset J.L. Effect of (18)F-FDG PET/CT imaging in patients with clinical stage II and III breast cancer. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2008 Jul 1; 71(3): 695–704. doi: 10.1016/j.ijrobp.2008.02.056.
27. Heusner T.A., Kummel S., Koeninger A., Hamami M.E., Hahn S., Quinsten A., Bockisch A., Forsting M., Lauenstein T., Antoch G., Stahl A. Diagnostic value of diffusionweighted magnetic resonance imaging (DWI) compared to FDG PET/CT for whole-body breast cancer staging. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2010 Jun; 37(6): 1077–86. doi: 10.1007/s00259-010-1399-z.

Поступила/Received 03.10.2018
Принята в печать/Accepted 12.11.2018

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Чанчикова Наталья Геннадьевна, директор, Центр ядерной медицины ФГБУ ФСНКЦ ФМБА России (г. Красноярск, Россия). ORCID: 0000-0002-7079-4067.

Карлова Елена Анатольевна, врач-рентгенолог, Центр ядерной медицины ФГБУ ФСНКЦ ФМБА России (г. Красноярск, Россия). SPIN-код: 8288-4370. AuthorID (РИНЦ): 995743. ORCID: 0000-0002-3179-1381.

Савельева Анастасия Сергеевна, врач-рентгенолог, Центр ядерной медицины ФГБУ ФСНКЦ ФМБА России (г. Красноярск, Россия). SPIN-код: 6119-3241. Researcher ID (WOS): N-7431-2015. Author ID (Scopus): 56971189200. ORCID: 0000-0001-7013-1143.

Силкина Ольга Андреевна, радиолог, Центр ядерной медицины ФГБУ ФСНКЦ ФМБА России (г. Красноярск, Россия). Researcher ID (WOS): Q-9139-2018. ORCID: 0000-0002-5280-943X.

Чернов Владимир Иванович, доктор медицинских наук, профессор, заместитель директора по научной работе и инновационной деятельности Томского НИМЦ, заведующий отделением радионуклидной диагностики, Научно-исследовательский институт онкологии, Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук (г. Томск, Россия). SPIN-код: 6301-3612. Researcher ID (WOS): B-6789-2016. Author ID (Scopus): 7201429550. ORCID: 0000-0002-5524-9546.

Зельчан Роман Владимирович, кандидат медицинских наук, врач, Научно-исследовательский институт онкологии, Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук (г. Томск, Россия). SPIN-код: 2255-5282. Researcher ID (WOS): C-8597-2012. Author ID (Scopus): 56901332100. ORCID: 0000-0002-4568-1781.

Синилкин Иван Геннадьевич, кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник, Научно-исследовательский институт онкологии, Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук (г. Томск, Россия). SPIN-код: 7254-3474. Researcher ID (WOS): C-9282-2012. Author ID (Scopus): 6506263379. ORCID: 0000-0001-6351-6408.

Брагина Ольга Дмитриевна, кандидат медицинских наук, младший научный сотрудник, Научно-исследовательский институт онкологии, Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук (г. Томск, Россия). SPIN-код: 7961-5918. Researcher ID (WOS): E-9732-2017. Author ID (Scopus): 57190936256. ORCID: 0000-0001-5281-7758.

Медведева Анна Александровна, кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник, Научно-исследовательский институт онкологии, Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук (г. Томск, Россия). SPIN-код: 9110-1730. Researcher ID (WOS): D-7455-2012. Author ID (Scopus): 57188995343. ORCID: 0000-0002-5840-3625.

ВКЛАД АВТОРОВ

Чанчикова Наталья Геннадьевна: критический пересмотр с внесением ценного интеллектуального содержания.
Карлова Елена Анатольевна: анализ научной работы, обработка клинического материала.
Савельева Анастасия Сергеевна: оформление демонстрационного материала, анализ научной работы.
Силкина Ольга Андреевна: анализ научной работы, коррекция черновика рукописи.
Чернов Владимир Иванович: разработка концепции научной работы, анализ научной работы.
Зельчан Роман Владимирович: коррекция черновика рукописи, обработка клинического материала.
Синилкин Иван Геннадьевич: статистическая обработка, оформление демонстрационного материала.
Брагина Ольга Дмитриевна: литературный обзор, обработка клинического материала.
Медведева Анна Александровна: литературный обзор, обработка клинического материала, составление черновика рукописи и оформление статьи.

Финансирование

Это исследование не потребовало дополнительного финансирования.

Конфликт интересов

Авторы объявляют, что у них нет конфликта интересов.

ABOUT THE AUTHORS

Natalia G. Chanchikova, Director, Center of Nuclear Medicine (Krasnoyarsk, Russia). ORCID: 0000-0002-7079-4067.
Elena A. Karlova, MD, Radiologist, Center of Nuclear Medicine (Krasnoyarsk, Russia). ORCID: 0000-0002-3179-1381.
Anastasia S. Savelyeva, MD, Radiologist, Center of Nuclear Medicine (Krasnoyarsk, Russia). Researcher ID (WOS): N-7431-2015. Author ID (Scopus): 56971189200. ORCID: 0000-0001-7013-1143.
Olga A. Silkina, MD, Radiologist, Center of Nuclear Medicine (Krasnoyarsk, Russia). Researcher ID (WOS): Q-9139-2018. ORCID: 0000-0002-5280-943X.
Vladimir I. Chernov, MD, Professor, Deputy Director for Science and Innovation, Head of Nuclear Medicine Department, Cancer Research Institute, Tomsk National Research Medical Center, Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russia. Researcher ID (WOS): B-6789-2016. Author ID (Scopus): 7201429550. ORCID: 0000-0002-5524-9546.
Roman V. Zelchan, MD, PhD, Radiologist, Nuclear Medicine Department, Cancer Research Institute, Tomsk National Research Medical Center, Russian Academy of Sciences (Tomsk, Russia). Researcher ID (WOS): C-8597-2012. Author ID (Scopus): 56901332100. ORCID: 0000-0002-4568-1781.
Ivan G. Sinilkin, MD, PhD, Senior Researcher, Nuclear Medicine Department, Cancer Research Institute, Tomsk National Research Medical Center, Russian Academy of Sciences (Tomsk, Russia). Researcher ID (WOS): C-9282-2012. Author ID (Scopus): 6506263379. ORCID: 0000-0001-6351-6408.
Olga D. Bragina, MD, PhD, researcher, Nuclear Medicine Department, Cancer Research Institute, Tomsk National Research Medical Center, Russian Academy of Sciences (Tomsk, Russia). Researcher ID (WOS): E-9732-2017. Author ID (Scopus): 57190936256. ORCID: 0000-0001-5281-7758.
Anna A. Medvedeva, MD, PhD, Senior Researcher, Nuclear Medicine Department, Cancer Research Institute, Tomsk National Research Medical Center, Russian Academy of Sciences (Tomsk, Russia). Researcher ID (WOS): D-7455-2012. Author ID (Scopus): 57188995343. ORCID: 0000-0002-5840-3625.

AUTHOR CONTRIBUTION

Natalia G. Chanchikova: critical review with valuable intellectual content.
Elena A. Karlova: analysis of the study results, clinical data management.
Anastasia S. Savelyeva: contribution to the preparation of scientific illustrations, analysis of the research findings.
Olga A. Silkina: clinical data analysis, manuscript draft correction.
Vladimir I. Chernov: concept design, analysis of the study results.
Roman V. Zelchan: manuscript draft correction, clinical data analysis.
Ivan G. Sinilkin: statistical data processing, preparation of scientific illustrations.
Olga D. Bragina: literature review, clinical data analysis.
Anna A. Medvedeva: literature review, clinical data analysis, material processing, drafting of the manuscript.

Funding

This study required no funding.

Conflict of interest

The authors declare that they have no conflict of interest.