

# Сравнение диагностической ценности диффузионно-взвешенной магнитно-резонансной томографии, позитронно-эмиссионной томографии с $^{18}\text{F}$ -ФДГ и компьютерной томографии всего тела при метастатическом раке молочной железы

П. Б. Гележе\*, <sup>1,2</sup>, С. П. Морозов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ГБУЗ «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы», Москва

<sup>2</sup> Акционерное общество «Европейский медицинский центр», Москва

## Comparison of the Diagnostic Value of Whole-body MRI with Diffusion-weighted Images, $^{18}\text{F}$ -FDG Positron Emission Tomography Combined with Computer Tomography and Whole Body Computer Tomography in Metastatic Breast Cancer

P. B. Gelezhe\*, <sup>1,2</sup>, S. P. Morozov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Radiology Research and Practical Centre, Moscow

<sup>2</sup> European Medical Center, Moscow

### Реферат

Рак молочной железы занимает лидирующие позиции в онкологической заболеваемости и смертности. Точное стадирование заболевания повышает шансы на высокую безрецидивную выживаемость. Позитронно-эмиссионная томография с  $^{18}\text{F}$ -фтордезоксиглюкозой ( $^{18}\text{F}$ -ФДГ ПЭТ/КТ) считается «золотым стандартом» диагностики метастатического поражения при ряде онкологических заболеваний, в том числе и при раке молочной железы. Диффузионно-взвешенные изображения (ДВИ) являются специфической импульсной последовательностью, позволяющей дифференцировать злокачественный процесс за счет повышения сигнала. Место ДВИ всего тела в диагностическом алго-

---

\* **Гележе Павел Борисович**, врач-рентгенолог, радиолог АО «Европейский медицинский центр», научный сотрудник ГБУЗ «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы».

Адрес: 109029, г. Москва, Средняя Калитниковская ул., д. 28, стр. 1.  
Тел.: +7 (926) 358-36-99. Электронная почта: gelezhe.pavel@gmail.com  
ORCID.org/0000-0003-1072-2202

**Gelezhe Pavel Borisovich**, Radiologist and Nuclear Medicine Physician (European Medical Center), Junior Fellow of Research and Practical Clinical Center of Diagnostics and Telemedicine Technologies, Department of Healthcare Of Moscow.

Address: 28-1, ul. Srednyaya Kalitnikovskaya, Moscow, 109029, Russia.  
Phone number: +7 (926) 358-36-99. E-mail: gelezhe.pavel@gmail.com  
ORCID.org/0000-0003-1072-2202

ритме при раке молочной железы не определено. Целью работы являлась оценка возможностей ДВИ всего тела в сравнении с  $^{18}\text{F}$ -ФДГ ПЭТ/КТ и компьютерной томографией (КТ) всего тела в отношении местного и отдаленного распространения рака молочной железы. Было произведено сравнение диагностических показателей, включающих чувствительность, специфичность, положительное и отрицательное прогностическое значение, точность, для  $^{18}\text{F}$ -ФДГ ПЭТ/КТ, МРТ с ДВИ и КТ всего тела. МРТ всего тела с ДВИ продемонстрировала преимущество в диагностике метастатического поражения печени и скелета. Использование исключительно МРТ всего тела с ДВИ для стадирования и рестадирования рака молочной железы не является оправданным по причине низкой специфичности выявления метастазов регионарных и отдаленных лимфатических узлов. МРТ всего тела с ДВИ может быть рекомендована в качестве уточняющего метода после выполнения  $^{18}\text{F}$ -ФДГ ПЭТ/КТ или КТ всего тела.

**Ключевые слова:** рак молочной железы, магнитно-резонансная томография, позитронно-эмиссионная томография, компьютерная томография,  $^{18}\text{F}$ -фтордезоксиглюкоза.

### Abstract

Breast cancer occupies a leading position in cancer morbidity and mortality. Accurate staging of the disease increases the chances of a high relapse-free survival.  $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT is considered the «gold standard» for diagnosing metastatic lesions in a number of cancers, including breast cancer. Diffusion-weighted imaging (DWI) is a specific pulse sequence that allows differentiation of the malignant process. The place of whole body DWI in the diagnostic algorithm for breast cancer is not defined. The aim of the work was to evaluate the possibilities of whole body DWI in comparison with  $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT and whole body CT for the local and distant spread of breast cancer. A comparison was made of diagnostic indicators, including sensitivity, specificity, positive and negative predictive value, accuracy. A whole body MRI with DWI demonstrated an advantage in diagnosing metastatic lesions of the liver and skeleton. The use of exclusively whole body MRI with DWI for staging and restaging of breast cancer is not justified due to the low specificity of detection of metastases of regional and distant lymph nodes. A whole body MRI with DWI may be recommended as a clarifying method after performing  $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT or whole body CT.

**Key words:** Breast Cancer, Magnetic Resonance Imaging, Positron Emission Tomography, Computed Tomography,  $^{18}\text{F}$ -fluorodeoxyglucose.

### Актуальность

Рак молочной железы остается наиболее частым онкологическим заболеванием и второй причиной онкологической смертности среди женщин. После первичного лечения около одной трети всех пациенток, страдающих раком молочной железы, демонстрируют местный рецидив или отдаленные метастазы [4]. Точные первичное стадирование и динамический контроль увеличивают шансы на выздоровление и безрецидивную продолжительность жизни.

Наибольшую точность в отношении стадирования первичного и рецидивного рака молочной железы продемон-

стрировала позитронно-эмиссионная томография с  $^{18}\text{F}$ -фтордезоксиглюкозой, совмещенная с компьютерной томографией ( $^{18}\text{F}$ -ФДГ ПЭТ/КТ) [5]. Высокое диагностическое значение ПЭТ/КТ с  $^{18}\text{F}$ -ФДГ обеспечивается точной локализацией отдаленных метастазов, в частности, метастатическое поражение регионарных лимфатических узлов может быть выявлено с потрясающей точностью [12].

Диффузионно-взвешенные изображения (ДВИ) являются специфической импульсной последовательностью МРТ, основанной на визуализации движения молекул воды (диффузии). В течение

десятилетий ДВИ использовались для оценки заболеваний головного мозга, в частности, выявления зоны ишемического инфаркта на основании ограничения диффузии. В конце 1990-х гг. некоторые технические усовершенствования, такие, как создание DWIBS [7], позволили расширить область применения ДВИ для диагностики экстракраниальных патологических процессов. В настоящее время ДВИ являются одним из методик визуализации метастатического процесса [10]. Диффузия зависит от множества факторов, включающих в себя величину межклеточных промежутков, плотность жидкости, проницаемость межклеточных и внутриклеточных мембран. Злокачественные опухоли, как правило, демонстрируют повышение сигнала на ДВИ по сравнению с доброкачественными процессами. Причиной ограничения диффузии тканями опухоли может быть большее количество клеток на единицу объема и как следствие меньшие межклеточные промежутки [10]. Возможна количественная оценка степени ограничения диффузии за счет получения карт измеряемого коэффициента диффузии (ИКД). К преимуществам ДВИ всего тела следует отнести небольшое время сбора данных (около 20 мин), отсутствие ионизирующего излучения и необходимости внутривенного контрастного усиления. Ряд публикаций подтверждает ценность ДВИ как уточняющей импульсной последовательности при исследованиях всего тела в онкологии [1, 10]. ДВИ являются крайне чувствительным методом для диагностики отдаленных метастазов [2].

Диагностическая ценность ДВИ всего тела при раке молочной железы точно не определена.

**Цель:** сравнение возможностей ДВИ всего тела с  $^{18}\text{F}$ -ФДГ ПЭТ/КТ

всего тела и КТ всего тела в отношении местного и отдаленного распространения рака молочной железы.

## Материалы и методы

### Пациентки

Исследование имеет ретроспективный дизайн, данные были собраны с 1 января 2016 г. по 1 августа 2018 г.

В группу исследования включались пациентки с первичным инвазивным раком молочной железы, в истории болезни которых присутствовала информация о гистологических и иммуногистохимических характеристиках опухоли, включая рецепторный статус. Обязательной для включения в исследование являлась информация о количестве метастатических регионарных лимфатических узлов, выполнение МРТ всего тела с ДВИ, КТ или  $^{18}\text{F}$ -ФДГ ПЭТ/КТ всего тела в течение 2 нед. Общее количество пациенток составила 41 женщина; пациентки были разделены на группы (МРТ с ДВИ и  $^{18}\text{F}$ -ФДГ ПЭТ/КТ всего тела;  $n = 23$ ; МРТ с ДВИ и КТ всего тела;  $n = 18$ ). Краткая характеристика обеих групп представлена в табл. 1.

### Стандарты оценки

Ведущей задачей исследования являлась оценка диагностической точности МРТ всего тела с ДВИ,  $^{18}\text{F}$ -ФДГ ПЭТ/КТ и КТ. Гистологическое исследование опухоли и лимфатических узлов считается «золотым стандартом» подтверждения находки на диагностическом исследовании. По причине невозможности гистологической оценки всех выявляемых очагов была создана система оценки достоверности. Конкордантность очагов являлась подтверждением их истинности. К прочим критериям достоверности

Таблица 1

**Краткая характеристика групп сравнения МРТ с ДВИ, <sup>18</sup>F-ФДГ ПЭТ/КТ и КТ всего тела**

Параметр группы сравнения	Группа МРТ с ДВИ и <sup>18</sup> F-ФДГ ПЭТ/КТ всего тела	Группа МРТ с ДВИ и <sup>18</sup> F-ФДГ ПЭТ/КТ всего тела
Возраст, лет (средний, наименьший, наибольший)	59,4 ± 9,4, 46, 80	60,6 ± 13,3, 36, 91
Цель исследования	Рестадирирование (n = 21), стадирование (n = 2)	Рестадирирование (n = 15), стадирование (n = 3)
Гистологический тип	Инвазивный протоковый рак (n = 12), неспецифицированный рак (n = 11)	Неспецифицированный рак (n = 10), инвазивный протоковый рак (n = 8)
Молекулярный подтип	Люминальный В (n = 14), трижды негативный (n = 8), HER2neu подобный (n = 1)	Трижды негативный (n = 8), люминальный В (n = 7), люминальный А (n = 2), HER2neu подобный (n = 1)
Средний интервал между исследованиями, дней	8,5 ± 4,2	10,3 ± 2,9

сти относились информация от дополнительных МР-последовательностей и данные контрольных КТ всего тела.

**МРТ всего тела с протоколом ДВИ**

Исследование проводилось на томографе Siemens Aera, 1,5 Тл. Сбор данных ДВИ проводился ортогонально; TR — 5300 мс, TE — 74 мс, толщина среза — 5 мм, b-факторы — 50 и 900 с/мм<sup>2</sup>, матрица 128 × 96 пикселей. Дополнительные МР-последовательности включали в себя аксиальные T1-ВИ opp- и in-phase, T2-ВИ HASTE, сагиттальную T1-ВИ позвоночного столба. МРТ выполнялось без внутривенного контрастного усиления.

**<sup>18</sup>F-ФДГ ПЭТ/КТ всего тела**

Исследование проводилось на томографе ПЭТ/КТ Philips Gemini TF. Область исследования составляла интервал от уровня глазниц до середины бедер; про-

должительность сбора данных ПЭТ на позицию стола составляла 2 мин. Протокол исследования предполагал дополнительное выполнение КТ всего тела с внутривенным контрастированием (140 кВ, 60 мА/с, толщина среза 2,5 мм).

**Оценка изображений**

Исследования МРТ и ПЭТ/КТ оценивались врачом, имеющим специализацию в областях лучевой и радионуклидной диагностики. К ДВИ-положительным относились очаги с повышенным сигналом на сериях с высоким (900 мм кв/с) b-фактором. К ПЭТ-положительным относились очаги, имеющие SUV<sub>max</sub> более 2,5. При анализе компьютерных томограмм лимфатические узлы размером более 10 мм по короткой оси считались метастатическими. Выявленные находки были разделены на группы, исходя из анатомической локализации.

## Результаты

Всего было выявлено 820 метастатических очагов, из них в группе  $^{18}\text{F}$ -ФДГ ПЭТ/КТ и МРТ всего тела обнаружено 398, в группе КТ и МРТ всего тела — 422. Абсолютные и относительные количественные показатели по анатомическим областям представлены в табл. 2.

### Анализ групп сравнения по пациентам

Выявленные в результате статистического анализа чувствительность, специфичность, прогностические значения при сравнении по пациентам представлены в табл. 3 и 4. При анализе результатов группы  $^{18}\text{F}$ -ФДГ ПЭТ/КТ и МРТ следует обратить внимание на низкую специфичность (33,3 %) и точность (39,1 %) ДВИ в отношении диагностики метастатического поражения регионарных лимфатических узлов. Также представляет интерес 100 %-ная точность ДВИ в сравнении с 78,3 и 95,7 % точности  $^{18}\text{F}$ -ФДГ ПЭТ/КТ для оценки очагов скелета и печени. Обращает на себя внимание 100 %-ное положительное прогностическое значение ДВИ для визуализации метастазов легких.

В группе сравнения МРТ и КТ всего тела ДВИ немного уступили в точности

выявления метастазов легких и печени (94,4 % против 100 %). Недостаточной (33,3 и 44,4 % соответственно) была точность ДВИ и КТ для диагностики метастазов отдаленных лимфатических узлов.

### Анализ групп сравнения по очагам

Выявленные в результате статистического анализа чувствительность, специфичность, прогностические значения при сравнении по очагам представлены в табл. 5 и 6. Полученные данные в значительной степени коррелируют с указанными выше. МРТ с ДВИ продемонстрировала меньшую точность в диагностике регионарных и отдаленных лимфатических узлов по сравнению с ПЭТ/КТ (47,7; 27 % против 91,2; 81,1 % по данным ПЭТ/КТ). Выявлено большое преимущество  $^{18}\text{F}$ -ФДГ ПЭТ/КТ по сравнению с МРТ в точности обнаружения метастазов легких (94,6 % у ПЭТ/КТ и 21,8 % у ДВИ). В оценке метастазов печени и скелета МРТ превосходила ПЭТ/КТ (97,8; 100 % против 71,1; 60,1 %).

В группе сравнения МРТ с ДВИ и  $^{18}\text{F}$ -ФДГ ПЭТ/КТ ДВИ аналогично уступила в диагностике легочных оча-

Таблица 2

Количественные показатели в группах сравнения

Выявленные очаги	Группа $^{18}\text{F}$ -ФДГ ПЭТ/КТ и МРТ	Группа КТ и МРТ
Первичная опухоль	n = 6 (26,1 %)	n = 6 (33,3 %)
Регионарные лимфатические узлы	n = 3 (13,0 %)	n = 2 (11,1 %)
Отдаленные лимфатические узлы	n = 2 (8,7 %)	Не выявлено
Легкие	n = 6 (26,1 %)	n = 3 (16,6 %)
Печень	n = 2 (8,7 %)	n = 2 (11,1 %)
Скелет	n = 11 (47,8 %)	n = 6 (33,3 %)

Таблица 3

## Количественные показатели в группах сравнения

Анатомическая область	Ис-тинный результат		Результат ДВИ				Результат ПЭТ/КТ				Параметры теста ДВИ, точечная оценка (95 %-ный ДИ)						Параметры теста ПЭТ/КТ, точечная оценка (95 %-ный ДИ)					
	+	-	ИП	ЛО	ИО	ЛП	ИП	ЛО	ИО	ЛП	Sens	Spec	Valid	PPV	NPV	Sens	Spec	Valid	PPV	NPV		
Первичная опухоль	6	17	6	0	17	0	5	1	17	0	100,0 (54,1; 100,0)	100,0 (80,5; 100,0)	100,0 (85,2; 100,0)	100,0 (54,1; 100,0)	100,0 (80,5; 100,0)	83,3 (35,9; 99,6)	100,0 (80,5; 100,0)	95,7 (78,1; 99,1)	100,0 (47,8; 100,0)	94,4 (72,7; 99,9)		
	3	20	1	2	17	3	3	0	20	0	33,3 (0,8; 90,6)	85,0 (62,1; 96,8)	78,3 (56,3; 92,5)	25,0 (0,6; 80,6)	89,5 (66,9; 98,7)	100,0 (29,2; 100,0)	100,0 (83,2; 100,0)	100,0 (85,2; 100,0)	100,0 (29,2; 100,0)	100,0 (83,2; 100,0)		
Отдаленные лимфатические узлы	2	21	2	0	7	14	2	0	20	1	100,0 (15,8; 100,0)	33,3 (14,6; 57,0)	39,1 (19,7; 61,5)	12,5 (1,6; 38,3)	100,0 (59,0; 100,0)	100,0 (15,8; 100,0)	95,2 (76,2; 99,9)	95,7 (78,1; 99,9)	66,7 (9,4; 99,2)	100,0 (83,2; 100,0)		
	6	17	4	2	17	0	6	0	16	1	66,7 (22,3; 95,7)	100,0 (80,5; 100,0)	91,3 (72,0; 98,9)	100,0 (39,8; 100,0)	89,5 (66,9; 98,7)	100,0 (54,1; 100,0)	94,1 (71,3; 99,9)	95,7 (78,1; 99,9)	85,7 (42,1; 99,6)	100,0 (79,4; 100,0)		
Печень	2	21	2	0	21	0	1	1	21	0	100,0 (15,8; 100,0)	100,0 (83,9; 100,0)	100,0 (85,2; 100,0)	100,0 (15,8; 100,0)	100,0 (83,9; 100,0)	50,0 (1,3; 98,7)	100,0 (83,9; 100,0)	95,7 (78,1; 99,9)	100,0 (2,5; 100,0)	95,5 (77,2; 99,9)		
	11	12	11	0	12	0	7	4	11	1	100,0 (71,5; 100,0)	100,0 (73,5; 100,0)	100,0 (85,2; 100,0)	100,0 (71,5; 100,0)	100,0 (73,5; 100,0)	63,6 (30,8; 89,1)	91,7 (61,5; 99,8)	78,3 (56,3; 92,5)	87,5 (47,3; 99,7)	73,3 (44,9; 92,2)		
Все метастазы	14	9	14	0	4	5	12	2	8	1	100,0 (76,8; 100,0)	44,4 (13,7; 78,8)	78,3 (56,3; 92,5)	73,7 (48,8; 90,9)	100,0 (39,8; 100,0)	85,7 (57,2; 98,2)	88,9 (51,8; 99,7)	87,0 (66,4; 97,2)	92,3 (64,0; 99,8)	80,0 (44,4; 97,5)		
	6	17	4	2	17	0	6	0	16	1	66,7 (22,3; 95,7)	100,0 (80,5; 100,0)	91,3 (72,0; 98,9)	100,0 (39,8; 100,0)	89,5 (66,9; 98,7)	100,0 (54,1; 100,0)	94,1 (71,3; 99,9)	95,7 (78,1; 99,9)	85,7 (42,1; 99,6)	100,0 (79,4; 100,0)		

Таблица 4

Параметры ДВИ и КТ при анализе по пациентам

Анатомическая область	Истинный результат		Результат ДВИ				Результат КТ				Параметры теста ДВИ, точечная оценка (95 %-ный ДИ)					Параметры теста КТ, точечная оценка (95 %-ный ДИ)				
			ИП	ЛО	ИО	ЛП	ИП	ЛО	ИО	ЛП	Sens	Spec	Valid	PPV	NPV	Sens	Spec	Valid	PPV	NPV
Первичная опухоль	6	12	0	12	0	6	0	12	0	0	12	0	100,0 (54,1; 100,0)	100,0 (81,5; 100,0)	100,0 (73,5; 100,0)	100,0 (54,1; 100,0)	100,0 (81,5; 100,0)	100,0 (73,5; 100,0)	100,0 (54,1; 100,0)	
Регионарные лимфатические узлы	2	16	0	16	0	2	0	16	0	16	0	100,0 (15,8; 100,0)	100,0 (81,5; 100,0)	100,0 (79,4; 100,0)	100,0 (15,8; 100,0)	100,0 (81,5; 100,0)	100,0 (79,4; 100,0)	100,0 (15,8; 100,0)		
Отдаленные лимфатические узлы	0	18	0	6	12	0	0	8	10	33,3 (13,3; 59,0)	33,3 (13,3; 59,0)	0,0 (0,0; 26,5)	33,3 (13,3; 59,0)	100,0 (54,1; 100,0)	-	44,4 (21,5; 69,2)	44,4 (21,5; 69,2)	0,0 (0,0; 30,8)	100,0 (63,1; 100,0)	
Легкие	3	15	2	1	15	0	3	15	0	66,7 (9,4; 99,2)	100,0 (78,2; 100,0)	100,0 (15,8; 100,0)	94,4 (72,7; 99,9)	100,0 (93,8; 100,0)	100,0 (29,2; 100,0)	100,0 (78,2; 100,0)	100,0 (81,5; 100,0)	100,0 (29,2; 100,0)		
Печень	2	16	2	0	15	1	2	16	0	100,0 (15,8; 100,0)	93,8 (67,8; 99,8)	94,4 (72,7; 99,9)	66,7 (9,4; 99,2)	100,0 (78,2; 100,0)	100,0 (15,8; 100,0)	100,0 (81,5; 100,0)	100,0 (79,4; 100,0)	100,0 (15,8; 100,0)		
Скелет	6	12	6	0	11	1	5	12	0	100,0 (54,1; 100,0)	91,7 (61,5; 99,8)	94,4 (72,7; 99,9)	85,7 (42,1; 99,6)	100,0 (71,5; 100,0)	83,3 (35,9; 99,6)	100,0 (73,5; 100,0)	94,4 (72,7; 99,9)	100,0 (47,8; 100,0)		
Все метастазы	9	9	8	1	1	8	9	2	7	88,9 (51,8; 99,7)	11,1 (0,3; 48,2)	50,0 (26,0; 74,0)	50,0 (24,7; 75,3)	50,0 (1,3; 98,7)	100,0 (66,4; 100,0)	22,2 (2,8; 60,0)	61,1 (35,7; 82,7)	56,3 (29,9; 80,2)		



Таблица 5

Параметры ДВИ и ПЭТ/КТ при анализе по очагам

Анатомическая область	Истинный результат		Результат ДВИ				Результат ПЭТ/КТ				Параметры теста ДВИ, точечная оценка (95 %-ный ДИ)				Параметры теста ПЭТ/КТ, точечная оценка (95 %-ный ДИ)					
	+	-	ИП	ЛО	ИО	ЛП	ИП	ЛО	ИО	ЛП	Sens	Spec	Valid	PPV	NPV	Sens	Spec	Valid	PPV	NPV
Первичная опухоль	6	17	6	0	17	0	5	1	17	0	100,0 (54,1; 100,0)	100,0 (80,5; 100,0)	100,0 (85,2; 100,0)	100,0 (54,1; 100,0)	100,0 (80,5; 100,0)	83,3 (35,9; 99,6)	100,0 (80,5; 100,0)	95,7 (78,1; 99,1)	100,0 (47,8; 100,0)	94,4 (72,7; 99,9)
Регионарные лимфатические узлы	14	20	4	10	17	13	11	3	20	0	28,6 (8,4; 58,1)	56,7 (37,4; 74,5)	47,7 (32,5; 63,3)	23,5 (6,8; 49,9)	37,0 (19,4; 57,6)	78,6 (49,2; 95,3)	100,0 (83,2; 100,0)	91,2 (76,3; 98,1)	100,0 (71,5; 100,0)	87,0 (66,4; 97,2)
Отдаленные лимфатические узлы	10	21	10	0	7	46	10	0	20	7	100,0 (69,2; 100,0)	13,2 (5,5; 25,3)	27,0 (16,6; 39,7)	17,9 (8,9; 30,4)	100,0 (59,0; 100,0)	100,0 (69,2; 100,0)	74,1 (53,7; 88,9)	81,1 (64,8; 92,0)	58,8 (32,9; 81,6)	100,0 (83,2; 100,0)
Легкие	158	17	36	122	17	3	158	0	16	10	22,8 (16,5; 30,1)	85,0 (62,1; 96,8)	29,8 (23,2; 37,1)	92,3 (79,1; 98,4)	12,2 (7,3; 18,9)	100,0 (97,7; 100,0)	61,5 (40,6; 79,8)	94,6 (90,2; 97,4)	94,0 (89,3; 97,1)	100,0 (79,4; 100,0)
Печень	24	21	23	1	21	0	11	13	21	0	95,8 (78,9; 99,9)	100,0 (83,9; 100,0)	97,8 (88,2; 99,9)	100,0 (85,2; 100,0)	95,5 (77,2; 99,9)	45,8 (25,6; 67,2)	100,0 (83,9; 100,0)	71,1 (55,7; 83,6)	100,0 (71,5; 100,0)	61,8 (43,6; 77,8)
Скелет	186	12	186	0	12	0	108	78	11	1	100,0 (98,0; 100,0)	100,0 (73,5; 100,0)	100,0 (98,2; 100,0)	100,0 (98,0; 100,0)	100,0 (73,5; 100,0)	58,1 (50,6; 65,2)	91,7 (61,5; 99,8)	60,1 (52,9; 67,0)	99,1 (95,0; 100,0)	12,4 (6,3; 21,0)



Таблица 6

Параметры ДВИ и КТ при анализе по очагам

Анатомическая область	Истинный результат				Результат ДВИ				Результат КТ				Параметры теста ДВИ, точечная оценка (95 %-ный ДИ)					Параметры теста КТ, точечная оценка (95 %-ный ДИ)				
	+	-	ИП	ЛО	ИО	ЛП	ИП	ЛО	ИО	ЛП	Sens	Spec	Valid	PPV	NPV	Sens	Spec	Valid	PPV	NPV		
																					ИП	ЛО
Первичная опухоль	6	12	6	0	12	0	6	0	12	0	100,0 (54,1; 100,0)	100,0 (73,5; 100,0)	100,0 (81,5; 100,0)	100,0 (54,1; 100,0)	100,0 (73,5; 100,0)	100,0 (54,1; 100,0)	100,0 (73,5; 100,0)	100,0 (81,5; 100,0)	100,0 (54,1; 100,0)	100,0 (73,5; 100,0)		
Регионарные лимфатические узлы	11	16	7	4	16	0	7	4	16	0	63,6 (30,8; 89,1)	100,0 (79,4; 100,0)	100,0 (81,5; 100,0)	100,0 (59,0; 100,0)	80,0 (56,3; 94,3)	63,6 (30,8; 89,1)	100,0 (79,4; 100,0)	100,0 (81,5; 100,0)	100,0 (59,0; 100,0)	80,0 (56,3; 94,3)		
Отдаленные лимфатические узлы	0	18	0	0	6	44	0	0	8	25	-	12,0 (4,5; 24,3)	12,0 (4,5; 24,3)	0,0 (0,0; 8,0)	100,0 (54,1; 100,0)	-	24,2 (11,1; 42,3)	24,2 (11,1; 42,3)	0,0 (0,0; 13,7)	100,0 (63,1; 100,0)		
Легкие	72	15	35	37	15	0	72	0	15	0	48,6 (36,7; 60,7)	100,0 (78,2; 100,0)	57,5 (46,4; 68,0)	100,0 (90,0; 100,0)	28,8 (17,1; 43,1)	100,0 (95,0; 100,0)	100,0 (78,2; 100,0)	100,0 (95,8; 100,0)	100,0 (95,0; 100,0)	100,0 (78,2; 100,0)		
Печень	43	16	43	0	15	1	10	33	16	0	100,0 (91,8; 100,0)	93,8 (67,8; 99,8)	98,3 (90,9; 100,0)	97,7 (88,0; 99,9)	100,0 (78,2; 100,0)	23,3 (11,8; 38,6)	100,0 (79,4; 100,0)	44,1 (31,2; 57,6)	100,0 (69,2; 100,0)	32,7 (19,9; 47,5)		
Скелет	290	12	290	0	11	3	92	198	12	0	100,0 (98,7; 100,0)	78,6 (49,2; 95,3)	99,0 (97,1; 99,8)	99,0 (97,0; 99,8)	100,0 (71,5; 100,0)	31,7 (26,4; 37,4)	100,0 (73,5; 100,0)	34,4 (29,1; 40,1)	100,0 (96,1; 100,0)	5,7 (3,0; 9,8)		

гов (57,5 % у ДВИ и 100 % у КТ), однако имела более высокую точность при выявлении метастазов печени и скелета (97,7; 99 и 44,1; 34,4 %).

### Обсуждение

Полученные результаты продемонстрировали преимущество МРТ всего тела с ДВИ по сравнению с  $^{18}\text{F}$ -ФДГ ПЭТ/КТ и КТ для выявления метастазов печени, скелета при раке молочной железы (рис.). При этом использование только МРТ с ДВИ недостаточно для диагностики метастатического поражения при раке молочной железы по причине низкой точности выявления вовлечения лимфатических узлов. Аналогичные результаты были получены Neusner et al. [3]; в их работе ДВИ продемонстрировали меньшую точность диагностики

метастазов регионарных и отдаленных лимфатических узлов. Однако в этом исследовании были получены примеры ложнонегативных результатов  $^{18}\text{F}$ -ФДГ ПЭТ/КТ для метастазов скелета, которые были подтверждены только по МРТ с ДВИ.

По данным исследования Kosmin et al. [6], сделан вывод о большой пользе МРТ с ДВИ для выявления костных метастазов. Благодаря использованию МРТ стадия онкологического процесса была изменена в 34,7 % случаев.

В нашей работе МРТ с ДВИ показала низкую точность диагностики метастатического поражения лимфатических узлов за счет большого числа ложноположительных результатов. По данному вопросу существуют разнородные литературные данные, в частности,

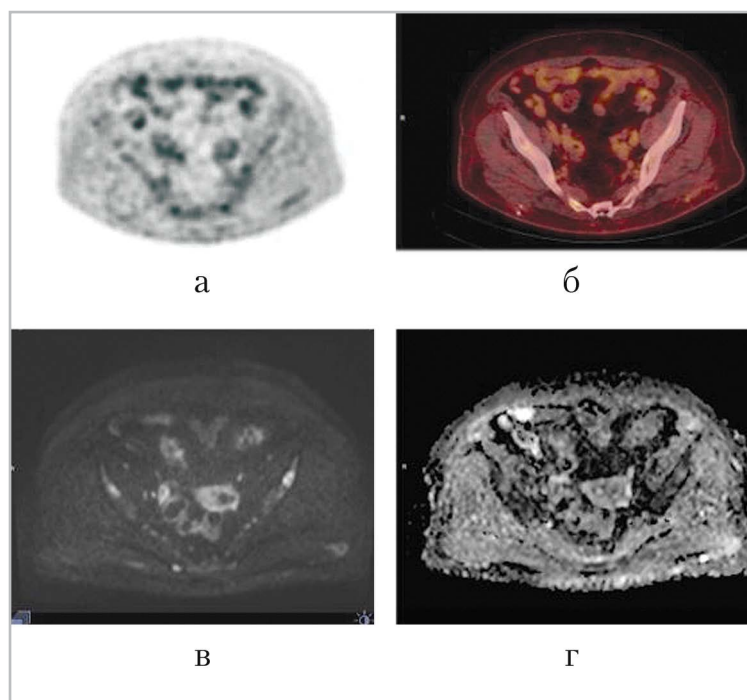


Рис.  $^{18}\text{F}$ -ФДГ ПЭТ/КТ и МРТ всего тела с ДВИ у пациентки с метастатическим раком молочной железы: *а* — изображение моноПЭТ с коррекцией аттенюации; *б* — совмещенное изображение ПЭТ/КТ без признаков метастатического поражения скелета; *в* — на ДВИ определяются одиночные метастатические очаги подвздошных костей; *г* — на карте ИКД также прослеживается ограничение диффузии в метастатических очагах

мета-анализ Xing et al. [17] свидетельствует о надежности ДВИ для дифференциальной диагностики лимфатических узлов при раке молочной железы. Напротив, в работе Parythikunpan et al. авторы пришли к заключению об ограниченной ценности МРТ с ДВИ в N-стадировании [13].

МРТ с ДВИ показала более высокую точность при выявлении метастазов печени, скелета по сравнению с <sup>18</sup>F-ФДГ ПЭТ/КТ и КТ всего тела. Точность ДВИ возрастает при использовании факультативных импульсных последовательностей, что подтверждается литературными данными [14]. Высокая диагностическая ценность ДВИ отражена в результатах мета-анализа научной группы под руководством Li, в котором общие показатели чувствительности и специфичности составили 89,7 и 95,4 % соответственно [8].

Имеются неоднозначные и часто противоречивые литературные данные о возможности использования МРТ с ДВИ для дифференциальной диагностики различных опухолевых процессов. Несмотря на относительно низкую точность МРТ с ДВИ для визуализации легочных очагов в нашей работе, Shen et al. [16] свидетельствуют об успешном применении ДВИ в оценке характера объемных образований легких. Schaarschmidt et al. [15] рекомендуют ДВИ как дополнение к <sup>18</sup>F-ФДГ ПЭТ/КТ в N-стадировании немелкоклеточного рака легкого. В исследовании Liu et al. [9] сообщается о низкой специфичности ДВИ в диагностике метастазов регионарных лимфатических узлов при раке шейки матки, что соответствует результатам и нашей работы.

К недостаткам ДВИ всего тела традиционно относят отсутствие стандарт-

ных протоколов сбора данных, применение разных b-факторов и как следствие невозможность сравнения показателей ИКД. Относительно низкое разрешение и отсутствие синхронизации по дыханию [7] ведет к низкой точности выявления легочных очагов. К преимуществам МРТ с ДВИ по сравнению с ПЭТ/КТ следует отнести отсутствие лучевой нагрузки, более высокую доступность и низкую стоимость.

### Ограничения исследования

Оценка всех конкордантных находок МРТ с ДВИ, <sup>18</sup>F-ФДГ ПЭТ/КТ и КТ как истинных является ограничением, так как ведет к завышению диагностической точности. По техническим причинам выполнение гистологической верификации всех выявленных метастатических очагов невозможно. Однако дополнительные критерии оценки очага, такие, как факультативные МР-последовательности и результаты контрольных КТ, являются общепринятыми диагностическими подходами.

Небольшая выборка приводит к широким границам 95 %-ных доверительных интервалов(ДИ). Оценка точности метода по очагам ограничена по причине выраженной корреляции данных в пределах одного пациента. При анализе по очагам отрицательный результат теста в одном органе имеет статистический вес, аналогичный выявлению всего лишь одного метастаза.

### Выводы

ДВИ всего тела являются высокочувствительным, но недостаточно специфичным методом диагностики метастатического поражения при раке молочной железы. Точность диагностики метастазов печени и в особенности скелета

при помощи ДВИ превосходит  $^{18}\text{F}$ -ФДГ ПЭТ/КТ и КТ всего тела. ДВИ обладают низкой специфичностью в отношении метастатического поражения лимфатических узлов, что исключает возможность применения ДВИ всего тела в качестве единственного метода диагностики при стадировании рака молочной железы. Методика ДВИ всего тела в сочетании с базовыми МР-импульсными последовательностями рекомендуется в качестве уточняющего метода диагностики отдаленных метастазов рака молочной железы. Реализация возможностей ДВИ для визуализации метастатического поражения лимфатических узлов требует дальнейших исследований.

### Список литературы/ References

1. *Dresen R., De Vuysere S., De Keyzer F. et al.* Whole-body diffusion-weighted MRI for operability assessment in patients with colorectal cancer and peritoneal metastases // *Cancer Imag.* 2019. № 19:1.
2. *Han S., Amant F., Michielsen K. et al.* Feasibility of whole body diffusion-weighted MRI for detection of primary tumour, nodal and distant metastases in women with cancer during pregnancy: a pilot study // *J. Magn. Reson. Imag.* 2017. № 46 (6). P. 1707–1717.
3. *Heusner T., Kuemmel S., Koeninger A. et al.* Diagnostic value of diffusion-weighted magnetic resonance imaging (DWI) compared to FDG PET/CT for whole-body breast cancer staging // *Eur. J. of Nucl. Med. and Mol. Imag.* 2010. № 6. P. 1077–1086.
4. *Jung N., Kim H., Jung J. et al.* Restaging the axilla after neo-adjuvant chemotherapy for breast cancer: Predictive factors for residual metastatic lymph node disease with negative imaging findings // *Breast J.* 2019. № 25 (2). P. 196–201.
5. *Kitajima K., Yamano T., Miyoshi Yu. et al.* Prognostic value of  $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT prior to breast cancer treatment. Comparison with magnetic resonance spectroscopy and diffusion weighted imaging // *Hell. J. Nucl. Med.* 2019. № 22(1). P. 25–35.
6. *Kosmin M., Priya V., Mei-Lin A. et al.* The addition of whole body magnetic resonance imaging to body computerised tomography alters treatment decisions in patients with metastatic breast cancer // *Eur. J. of Cancer.* № 77. P. 109–116.
7. *Kwee T., Takahara T., Ochiai R. et al.* Whole body diffusion-weighted magnetic resonance imaging // *Eur. J. Radiol.* 2009. № 70 (3). P. 409–417.
8. *Li B., Li Q., Nie W. et al.* Diagnostic value of whole body diffusion-weighted magnetic resonance imaging for detection of primary and metastatic malignancies: a meta-analysis // *Eur. J. Radiol.* 2014. № 83 (2). P. 338–344.
9. *Liu B., Gao S., Li S. A.* Comprehensive comparison of CT, MRI, positron emission tomography or positron emission tomography/CT, and diffusion weighted imaging-MRI for detecting the lymph nodes metastases in patients with cervical cancer: a meta-analysis based on 67 studies // *Gynecol. Obstet. Invest.* 2017. № 82 (3). P. 209–222.
10. *Morone M., Bali M., Tunariu N. et al.* Whole body MRI: current applications in oncology // *Am. J. Roentgenol.* 2017. № 209(6). P. 336–349.
11. *Ohno Y., Yoshikawa T., Kishida Y. et al.* Diagnostic performance of different imaging modalities in the assessment of distant metastasis and local recurrence of tumor in patients with non-small cell lung cancer // *Eur. Radiol.* 2018. № 28 (5). P. 1862–1874.
12. *Orsaria P., Chiaravalloti A., Caredda E. et al.* Evaluation of the usefulness of FDG-

- PET/CT for nodal staging of breast cancer // *Anticancer Res.* 2018. № 38 (12). P. 6639–6652.
13. *Paruthikunnan S., Kadavigere R., Karegowa L.* Accuracy of whole-body dwi for metastases screening in a diverse group of malignancies: comparison with conventional cross-sectional imaging and nuclear scintigraphy // *Am. J. Roentgenol.* 2017. № 209 (3). P. 477–490.
  14. *Rezk M., Nasr I., Ali I. et al.* Comparative study between 18F FDG-PET/CT and whole body MRI DWIBS in assessment of recurrent breast cancer (prospective, comparative, cross-sectional study design // *Ind. J. of Nucl. Med.* 2019. № 34 (1). P. 1–9.
  15. *Schaarschmidt B., Buchbender C., Nensa F. et al.* Correlation of the apparent diffusion coefficient (ADC. with the standardized uptake value (SUV in lymph node metastases of non-small cell lung cancer (NSCLC. patients using hybrid <sup>18</sup>F-FDG PET/MRI // *PLoS One.* 2015. № 10 (1). P. 1–14.
  16. *Shen G., Ma H., Liu B. et al.* Diagnostic Performance of DWI with multiple parameters for assessment and characterization of pulmonary lesions: a meta-analysis // *Am. J. of Roentgenol.* 2017. № 210. P. 1–10.
  17. *Xing H., Song C., Li W.* Meta-analysis of lymph node metastasis of breast cancer patients: Clinical value of DWI and ADC value // *Eur. J. Radiol.* 2016. № 85 (60). P. 1132–1137.

### Сведения об авторах

**Гележе Павел Борисович**, врач-рентгенолог, радиолог АО «Европейский медицинский центр», научный сотрудник ГБУЗ «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы».

Адрес: 109029, г. Москва, Средняя Калитниковская ул., д. 28, стр. 1.  
Тел.: +7 (926) 358-36-99. Электронная почта: gelezhe.pavel@gmail.com  
ORCID.org/0000-0003-1072-2202

**Gelezhe Pavel Borisovich**, Radiologist and Nuclear Medicine Physician (European Medical Center), Junior Fellow of Research and Practical Clinical Center of Diagnostics and Telemedicine Technologies, Department of Healthcare of Moscow.

Address: 28-1, ul. Srednyaya Kalitnikovskaya, Moscow, 109029, Russia.  
Phone number: +7 (926) 358-36-99. E-mail: gelezhe.pavel@gmail.com  
ORCID.org/0000-0003-1072-2202

**Морозов Сергей Павлович**, доктор медицинских наук, профессор, руководитель ГБУЗ «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы».

Адрес: 109029, г. Москва, Средняя Калитниковская ул., д. 28, стр. 1.  
Тел.: +7 (495) 678-54-95; +7 (495) 671-56-54. Электронная почта: npcmr@zdrav.mos.ru  
ORCID.org/0000-0001-6545-6170

**Morozov Sergey Pavlovich**, M. D. Med., Professor, Director of Research and Practical Clinical Center of Diagnostics and Telemedicine Technologies, Department of Healthcare of Moscow.

Address: 28-1, ul. Srednyaya Kalitnikovskaya, Moscow, 109029, Russia.  
Phone number: +7 (495) 678-54-95; +7 (495) 671-56-54. E-mail: npcmr@zdrav.mos.ru  
ORCID.org/0000-0001-6545-6170

### Финансирование исследования и конфликт интересов.

*Исследование не финансировалось какими-либо источниками. Авторы заявляют, что данная работа, ее тема, предмет и содержание не затрагивают конкурирующих интересов.*