

Сравнительный анализ информативности позитронной эмиссионной томографии с ^{18}F -фтордезоксиглюкозой и ^{11}C -метионином в дифференциальной диагностике одиночных образований в легком

М.С. Тлостанова¹, к. м. н., врач-радиолог;

А.О. Аветисян², к. м. н., заведующий отделением хирургии комбинированных и осложненных форм туберкулеза легких;

А.Р. Козак², к. м. н., врач-хирург

¹ ФГБУ «Российский научный центр радиологии и хирургических технологий»

Министерства здравоохранения РФ,

пос. Песочный, ул. Ленинградская, 70, Санкт-Петербург, 197758, Российская Федерация;

² ФГБУ «Научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии» Министерства здравоохранения РФ, Лиговский пр-т, 2, корп. 4, Санкт-Петербург, 193036, Российская Федерация

Comparative analysis of the informative value of ^{18}F -fluorodeoxyglucose and ^{11}C -methionine positron emission tomography in the differential diagnosis of solitary lung masses

M.S. Tlostanova¹, MD, PhD, Radiologist;

A.O. Avetisyan², MD, PhD, Head of the Surgical Department of Combined and Complicated Forms of Pulmonary Tuberculosis;

A.R. Kozak², MD, PhD, Surgeon

¹ Russian Research Center for Radiology and Surgical Technologies, Ministry of Health of the RF, poselok Pesochnyy, ul. Leningradskaya, 70, St. Petersburg, 197758, Russian Federation;

² Research Institute of Phthisiopulmonology, Ministry of Health of the RF, Ligovskiy prospekt, 2, korpus 4, St. Petersburg, 193036, Russian Federation

Цель исследования – изучить возможности повышения эффективности дифференциальной диагностики одиночных образований легких путем оптимизации количественного анализа данных позитронной эмиссионной томографии (ПЭТ) в условиях раздельного и сочетанного применения двух радиофармпрепаратов (РФП): ^{18}F -фтордезоксиглюкозы (ФДГ) и ^{11}C -метионина.

Материал и методы. Комплексное обследование, включающее проведение ПЭТ с ^{18}F -ФДГ и ^{11}C -метионином, выполнено 116 больным с одиночными образованиями в легких различного генеза. Окончательный диагноз у обследованных пациентов устанавливался на основании результатов морфологического анализа послеоперационного материала и/или лабораторных исследований, а также по данным динамического рентгенологического наблюдения.

Результаты. У больных с доброкачественными опухолями и большинства пациентов с очаговым пневмофиброзом гиперфиксации ^{18}F -ФДГ и ^{11}C -метионина не обнаружено. У всех больных раком легкого (РЛ) и пациентов с воспалительными заболеваниями при ПЭТ с ^{18}F -ФДГ регистрировалась аккумуляция РФП. У 3 больных с ^{18}F -ФДГ негативными типичными карциноидами в опухоли отмечался повышенный захват ^{11}C -метионина. При ПЭТ с ^{11}C -метионином у всех больных РЛ, а также у 38 из 42 пациентов с воспалительными заболеваниями в проекции образования регистрировалась аккумуляция РФП. Уровни стандартизированных показателей захвата (Standardized Uptake Value – SUV) независимо от используемого РФП у пациентов с воспалительными заболеваниями были значимо ниже, чем у больных раком легкого ($p \leq 0,05$).

Заключение. При использовании исследуемых РФП по отдельности диагностическая эффективность ПЭТ с ^{11}C -метионином в дифференциальной диагностике опухолевых и воспалительных заболеваний легких выше, чем ПЭТ с ^{18}F -ФДГ. При этом наибольшая информативность ПЭТ наблюдается при сочетанном применении этих РФП.

Objective: to study the possibilities of enhancing the efficiency of differential diagnosis of solitary lung masses by optimizing the quantitative analysis of positron emission tomography (PET) data when two radiopharmaceuticals (RP) (^{18}F -fluorodeoxyglucose (^{18}F -FDG) and ^{11}C -methionine) are used alone and in combination.

Material and methods. A comprehensive examination involving ^{18}F -FDG and ^{11}C -methionine PET was made in 116 patients with solitary lung masses of various genesis. A final diagnosis in the examinees was established from the results of postoperative material morphological analysis and/or laboratory tests and those of X-ray follow-up.

Results. No ^{18}F -FDG and ^{11}C -methionine hyperfixation was found in patients with benign tumors and in the majority of patients with focal pneumofibrosis. At ^{18}F -FDG and ^{11}C -methionine PET, RP accumulation was recorded in all patients with lung cancer (LC) and in patients with inflammatory diseases. Three patients with ^{18}F -FDG PET-negative typical carcinoid tumors were noted to have increased ^{11}C -methionine uptake. At ^{11}C -methionine PET, RP accumulation was recorded in the projection of formation in all the patients with LC and in 38 of the 42 patients with inflammatory diseases. Regardless of the used RP, the Standardized Uptake Value (SUV) was significantly lower in the patients with inflammatory diseases than in those with LC ($p \leq 0.05$).

Conclusions. When RP is used alone, the diagnostic efficiency of ^{11}C -methionine PET in the differential diagnosis of lung tumors and inflammations is higher than that of ^{18}F -FDG PET. At the same time, the highest informative value of PET is seen when ^{18}F -FDG and ^{11}C -methionine are used in combination.

Ключевые слова: позитронная эмиссионная томография, ^{18}F -фтордезоксиглюкоза, ^{11}C -метионин, рак легкого, доброкачественные опухоли, туберкулез

Index terms: positron emission tomography, ^{18}F -fluorodeoxyglucose, ^{11}C -methionine, lung cancer, benign tumors, tuberculosis

Введение

В настоящее время у больных с одиночными образованиями в легких позитронная эмиссионная томография (ПЭТ) с ^{18}F -фтордезоксиглюкозой (ФДГ) применяется достаточно широко. Основными достоинствами метода являются возможность проведения за одно сканирование дифференциальной диагностики злокачественных и доброкачественных опухолей легких, а также выполнение стадирования опухолевого процесса у больных с верифицированным раком легкого (РЛ) [1–4]. Вместе с тем необходимо признать, что, несмотря на внушительный многолетний опыт использования ПЭТ с ^{18}F -ФДГ у больных с образованиями в легких неясного генеза, проблемы, связанные с разграничением РЛ и воспалительных заболеваний, нельзя считать решенными.

К сожалению, при ПЭТ с ^{18}F -ФДГ злокачественные и воспалительные процессы в легком проявляются одинаково повышенным накоплением РФП. В связи с этим во всем мире при стандартной обработке метаболического изображения помимо визуального анализа проводится количественная обработка данных, которая заключается в автоматическом вычислении стандартизированных показателей захвата (Standardized Uptake Value – SUV). Показатели SUV являются числовыми классификаторами, с помощью которых обычно стремятся разграничивать злокачественный и активный воспалительный процессы в легком. Принято считать, что при уровне $\text{SUV} \geq 2,5$ образование в легком имеет злокачественную природу. Однако, по данным некоторых исследователей, при использовании этого порогового значения информативность метода в дифференциальной диагностике одиночных образований в легком невысока [4]. Чувствительность ПЭТ в этом исследовании составила 87,0%, специфичность – 14,3%, диагностическая точность определялась на уровне 76,7%

($p < 0,0001$). Основной причиной столь низкой точности ПЭТ, по мнению M. Mamede et al., является интенсивный захват ^{18}F -ФДГ в очагах воспаления, обусловленных прежде всего туберкулезным процессом. В одной из наших работ, посвященных данной проблеме, были получены схожие результаты [2]. При этом чувствительность метода в дифференциальной диагностике РЛ и воспалительных заболеваний составила 91,8%, специфичность – 52,2%, диагностическая точность – 79,5% ($p < 0,0001$). Анализ ложноположительных результатов показал, что основной причиной низкой эффективности метода стал обнаруженный нами диапазон так называемых «перекрестных» значений SUV – от 1,9 до 4,3, при котором частота выявления воспалительных заболеваний (чаще всего туберкулеза) совпадала с количеством диагностированных в этом интервале случаев РЛ. Проведенный анализ характеристических кривых показал, что при повышении числового классификатора с 2,5 до 4,3 показатели специфичности и диагностической точности возрастают до 88,6 и 80,2% соответственно.

Помимо оптимизации количественной обработки данных ПЭТ одним из путей повышения эффективности метода в дифференциальной диагностике РЛ и воспалительных заболеваний может стать использование других радиофармпрепаратов (РФП). Так, в зарубежной литературе имеются единичные сообщения о целесообразности применения у больных с одиночными образованиями в легких метионина, меченного углеродом 11 (^{11}C) [5–7]. Необходимо отметить, что ^{11}C -метионин на протяжении многих лет широко применяется у нейроонкологических больных. Для диагностики новообразований вне мозговой локализации данный РФП в настоящее время используется крайне редко. Главной причиной, сдерживающей широкое применение ^{11}C -метио-

нина для диагностики опухолей, имеющих вне мозговую локализацию, является его физиологическая гиперфиксация в анатомических структурах средостения, железах внутренней секреции, паренхиме печени и селезенки, а также костном мозге [5, 8, 9]. Это, безусловно, ограничивает возможности метода в диагностике отдаленно расположенных метастатических очагов у больных РЛ. Поэтому в случаях, когда требуется оценка стадии опухолевого заболевания, препаратом выбора остается ^{18}F -ФДГ.

Основными причинами, которые побудили нас к использованию ^{11}C -метионина у больных с одиночными образованиями легких, стали наши собственные результаты, отражающие низкую эффективность ПЭТ с ^{18}F -ФДГ в дифференциальной диагностике РЛ и воспалительных заболеваний, а также обнадеживающие, хотя и единичные сообщения зарубежных авторов, свидетельствующие о более высокой специфичности метода при использовании этого радиотрейсера.

Целью нашей работы явилось изучение возможностей повышения эффективности дифференциальной диагностики одиночных образований легких путем оптимизации количественного анализа данных ПЭТ в условиях раздельного и сочетанного применения двух радиофармпрепаратов: ^{18}F -фтордезоксиглюкозы и ^{11}C -метионина.

Материал и методы

Для реализации поставленной цели ПЭТ с ^{18}F -ФДГ и ^{11}C -метионином проведена 116 пациентам с одиночными, расположенными в периферических отделах легких образованиями. В таблице 1 представлено распределение обследованных пациентов в зависимости от диагноза.

Кроме ПЭТ в алгоритм комплексного обследования больных было включено бактериологическое исследование мокроты или промывных вод бронхов,

Таблица 1

Распределение пациентов в зависимости от диагноза

Морфологический диагноз	Число больных	
	абс.	%
Злокачественные и доброкачественные опухоли (n=74)		
плоскоклеточный РЛ	28	37,8
аденокарцинома	22	29,7
мелкоклеточный РЛ	6	8,2
бронхиолоальвеолярный РЛ	4	5,4
крупноклеточный РЛ	2	2,7
карциноид	3	4,0
хондрогамартома	9	12,2
Воспалительные заболевания (n=42)		
туберкулез	26	61,9
саркоидоз	5	11,9
абсцесс	2	4,8
грибковое поражение	2	4,8
очаговый пневмофиброз	7	16,7

проведение диаскинтеста, серологических и полимеразной цепной реакций компонентов плазмы крови для выявления антигенов и ДНК микобактерий туберкулеза, а также фибробронхоскопии, рентгенографии и компьютерной томографии (КТ) органов грудной клетки. Окончательный диагноз у обследованных пациентов устанавливался после изучения результатов морфологического анализа послеоперационного материала и/или лабораторных исследований, а также по данным динамического рентгенологического наблюдения.

Во всех случаях ПЭТ органов грудной клетки с ^{11}C -метионином проводилась через 10 мин после внутривенного введения РФП. Исследование с ^{18}F -ФДГ осуществляли по стандартной программе через 100–120 мин после внутривенной инъекции РФП. Обработка полученных данных включала визуальный анализ изображения в трех проекциях (трансаксиальной, фронтальной, сагиттальной), а также измерение уровней метаболической активности, выраженных показателями SUV.

Статистическую обработку полученных данных осуществляли с применением пакета MedCalc 11.0.1 for Windows. Методы описательной статистики включали

оценку среднего арифметического (M), средней ошибки среднего значения (m). Критический уровень достоверности нулевой статистической гипотезы принимали равным 0,05. Чувствительность, специфичность, диагностическая точность (ДТ), положительное и отрицательное прогностические значения (ППЗ, ОПЗ) метода определялись с помощью Receiver Operating Characteristic (ROC) анализа характеристических кривых. При этом числовыми классификаторами считались пороговые показатели SUV.

Результаты и обсуждение

По данным визуального анализа у всех больных с доброкачественными опухолями легких повышенного накопления ^{18}F -ФДГ и ^{11}C -метионина в проекции образования выявлено не было. Характер распределения РФП в доброкачественных опухолях соответствовал интактной паренхиме легкого. Отсутствие патологического захвата как ^{18}F -ФДГ, так и ^{11}C -метионина также было зарегистрировано у 5 из 7 обследованных пациентов с очаговым пневмофиброзом. У 2 больных этой группы в области уплотнения легочной ткани отмечено незначительное локальное увеличение захвата обоих РФП.

У всех больных РЛ при ПЭТ с обоими РФП в проекции опухоли были зарегистрированы очаги патологического накопления РФП. У 3 больных с высокодифференцированными карциноидами легких гиперфиксации ^{18}F -ФДГ в проекции опухоли не обнаружено. В то же время у всех этих пациентов при ПЭТ с ^{11}C -метионином наблюдался патологический захват РФП.

У пациентов с воспалительными заболеваниями при исследовании с ^{18}F -ФДГ во всех случаях в области очага воспаления, так же как и у больных РЛ, наблюдалась гиперфиксация РФП. При ПЭТ с ^{11}C -метионином у этих пациентов захват радиотрейсера в образовании был зарегистрирован в 38 из 42 случаев. У 4 пациентов с сохраняющимися на фоне лечения лабораторными признаками активности туберкулезного процесса при исследовании с ^{11}C -метионином в проекции образования определялось фоновое, соответствующее интактной паренхиме легкого распределение РФП.

Таким образом, результаты визуального анализа данных ПЭТ с ^{18}F -ФДГ и ^{11}C -метионином свидетельствовали о схожих семиотических проявлениях опухолевых и воспалительных процессов в легких. Так, у пациентов с РЛ и воспалительными заболеваниями в области образования определялся очаг патологического накопления РФП. У пациентов с доброкачественными опухолями легких и большинства больных с очаговым пневмофиброзом в участке уплотнения легочной ткани регистрировалось фоновое распределение РФП. Следует отметить, что наши результаты визуального анализа, полученные у больных РЛ, с доброкачественными опухолями и воспалительными заболеваниями, полностью согласовывались с данными других исследователей [9]. В то же время совершенно неожиданные данные были нами получены у 3 пациентов с высокодифференцированными

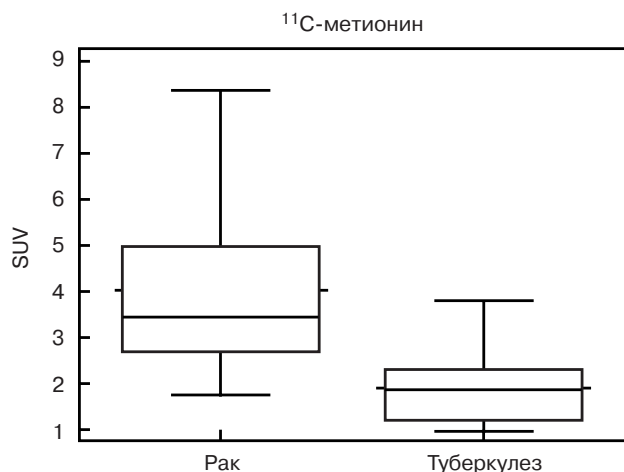


Рис. 1. Диаграмма размаха значений SUV, рассчитанных при проведении ПЭТ с ¹¹C-метионином у пациентов со злокачественными опухолями и воспалительными заболеваниями. Риска по бокам прямоугольников показывает средние значения SUV, прямая линия внутри – медиану. Верхняя и нижняя граница прямоугольника («ящика») соответствует 75-му и 25-му перцентильям. Внутрь «ящика» попадает 50% наблюдений, которые заканчиваются в наибольшем и наименьшем измерениях, не являющихся случайными выбросами.

карциноидами легких. Сочетанное использование РФП у больных с типичными карциноидами показало, что радиологическая симптоматика при этом гистологическом типе опухолей носит комплементарный характер: отсутствие аккумуляции ¹⁸F-ФДГ в опухоли сочетается с интенсивным захватом ¹¹C-метионина. Лишь дополнительное исследование с ¹¹C-метионином у этих больных позволило избежать ложноотрицательных результатов. Сцинтиграфическая картина при исследовании с двумя РФП не совпадала также и у 4 больных туберкулезом. Во всех этих случаях патологический захват ¹⁸F-ФДГ в образовании сочетался с отсутствием аккумуляции ¹¹C-метионина.

Сходство радиологических симптомов при воспалительных и опухолевых заболеваниях обусловило необходимость проведения количественного анализа уровней SUV. На рисунках 1, 2 представлены диаграммы, иллюстрирующие размах значений SUV, зарегистрированных при проведении ПЭТ с ¹¹C-метионином и ¹⁸F-ФДГ у пациентов со злокачественными опухолями лег-

ких и воспалительными заболеваниями.

По рисунку 1 видно, что у больных со злокачественными опухолями легких при ПЭТ с ¹¹C-метионином показатели SUV варьировали от 1,75 до 8,4 и составили в среднем $4,05 \pm 0,27$. При этом медиана полученных значений определялась на уровне 3,45 (от 3,0 до 4,0). У пациентов с воспалительными заболеваниями уровни стандартизированных показателей захвата были достоверно ниже, чем у больных РЛ ($p < 0,0001$), и определялись в пределах 1,0–3,8, среднее значение SUV составило $1,92 \pm 0,12$. Медиана показателей SUV у этих больных практически совпадала со средним значением и была на уровне 1,90 (от 1,60 до 2,20).

Согласно рисунку 2, при ПЭТ с ¹⁸F-ФДГ у больных РЛ показатели SUV варьировали в более широких пределах, чем при исследовании с ¹¹C-метионином, от 1,41 до 27,7, и составили в среднем $9,92 \pm 1,05$. При этом медиана зарегистрированных уровней SUV определялась на уровне 8,6 (от 5,97 до 12,24). У пациентов с воспалительными заболеваниями

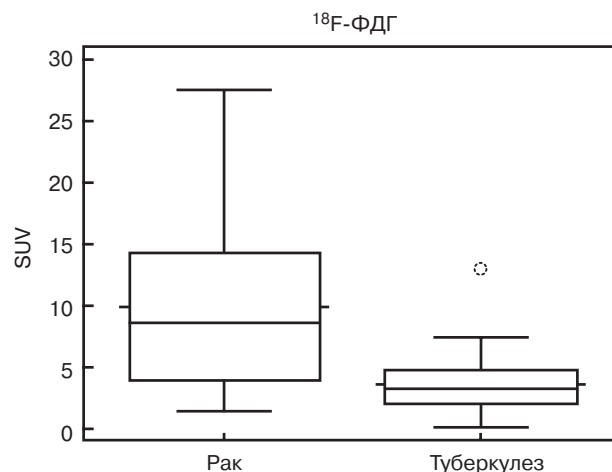


Рис. 2. Диаграмма размаха значений SUV, зарегистрированных при проведении ПЭТ с ¹⁸F-ФДГ у пациентов с РЛ и воспалительными заболеваниями. Из «ящика» вверх и вниз тянутся «усы», которые заканчиваются в наибольшем и наименьшем измерениях, не являющихся случайными выбросами. Не входящая в статистически значимый диапазон точка (выброс) изображена в виде кружочка. Выбросами считаются значения, лежащие в диапазонах, превышающих высоту «ящика» от его верхней и нижней границы в 1,5 раза.

минимальные и максимальные показатели SUV составили 0,3 и 13 соответственно. Среднее значение показателей SUV было значимо ниже, чем у больных РЛ, и определялось на уровне $3,68 \pm 0,38$ ($p < 0,001$). При этом медиана уровней SUV у пациентов с воспалительными заболеваниями составила 3,3 (от 2,45 до 4,50).

Методом построения классификационных деревьев нами были установлены диапазоны уровней SUV, зарегистрированные при ПЭТ с ¹⁸F-ФДГ и ¹¹C-метионином, при которых частота выявления РЛ была максимальной и достоверно различалась в каждой выборке. Количество диагностированных случаев РЛ в получившихся группах характеризовала величина ОР (отношение рисков), которая оценивалась нами по 4-балльной системе (от 0 до 3 баллов). Так, 0 баллов получила группа благоприятного, или безопасного, интервала. В нее вошли пациенты с воспалительными заболеваниями, имеющие низкие значения SUV: до 1,74 при ПЭТ с ¹¹C-метионином, до 1,44 при исследовании с ¹⁸F-ФДГ. Риск обнаружения РЛ при таких уровнях метаболической активности

Таблица 2

Диапазоны значений SUV, степени риска РЛ, определенные по отношению к группам благоприятного интервала при раздельной оценке данных ПЭТ с ^{18}F -ФДГ и ^{11}C -метионином

Степень риска РЛ, баллы	РФП	Диапазон значений SUV	Величина ОР
0	^{11}C -метионин	До 1,74	Группа благоприятного интервала
	^{18}F -ФДГ	До 1,44	Группа благоприятного интервала
1	^{11}C -метионин	От 1,75 до 2,39	10 раз
	^{18}F -ФДГ	От 1,45 до 4,45	0,96 раза
2	^{11}C -метионин	От 2,40 до 3,85	88,53 раза
	^{18}F -ФДГ	От 4,50 до 7,75	1,27 раза
3	^{11}C -метионин	Больше 3,85	1365 раз
	^{18}F -ФДГ	Больше 7,75	46 раз

был минимальным. Остальные пациенты по мере увеличения величины ОР были отнесены к группам с низкой степенью риска РЛ – 1 балл, с высокой – 2 балла и очень высокой – 3 балла.

В таблице 2 представлены диапазоны значений SUV, а также степени риска РЛ, определенные по отношению к группам благоприятного интервала при оценке данных ПЭТ с ^{18}F -ФДГ и ^{11}C -метионином по отдельности. По мере увеличения SUV отмечалось значимое повышение степени риска РЛ по отношению к группам благоприятного интервала как при ПЭТ с ^{18}F -ФДГ, так и при исследовании с ^{11}C -метионином ($r=0,66$ и $r=0,96$ соответственно, $p<0,0001$). Причем при использовании ^{11}C -метионина нарастание метаболических процессов оказалось значительно более существенным, чем при ПЭТ с ^{18}F -ФДГ, что сопровождалось увеличением ОР. Так, у пациентов с низкой степенью риска РЛ при ПЭТ с ^{11}C -метионином уровень ОР свидетельствовал о десятикратном увеличении частоты обнаружения онкологической патологии по сравнению с группой благоприятного интервала. При исследовании с ^{18}F -ФДГ у этих же пациентов величина ОР отличалась от группы сравнения лишь в 0,96 раза. При достижении SUV уровней, соответствующих очень высокой степени риска РЛ (3 балла), час-

Таблица 3
Степени риска РЛ и уровни ОР, рассчитанные по сумме баллов при комбинированной оценке результатов ПЭТ, проведенной с двумя РФП

Степень риска РЛ (сумма баллов)	Величина ОР
0 (0+0)	Группа благоприятного интервала
1 (0+1)	Группа благоприятного интервала
2 (0+2; 1+1)	19,59 раза
3 (0+3; 1+2)	33,48 раза
4 (1+3; 2+2)	61,67 раза
5 (2+3)	259 раз
6 (3+3)	1073 раза

тота выявления онкопатологии резко возрастала, причем независимо от используемого РФП.

Для определения степени риска РЛ в условиях сочетанного использования ^{18}F -ФДГ и ^{11}C -метионина результаты ПЭТ были проанализированы по 7-балльной шкале (от 0 до 6 баллов). Для этого количество баллов, полученных при применении каждого РФП по отдельности, складывалось, а получившаяся сумма позволяла оценить степень риска РЛ по отношению к группам благоприятного интервала, в которые вошли наблюдения с суммой баллов 0 и 1. В таблице 3 представлены степени риска РЛ и уровни ОР, рассчитанные по сумме баллов при комбинированной оценке результатов ПЭТ, проведенной с двумя РФП.

Нами выявлено, что при комбинированной оценке результатов ПЭТ, проведенной с ^{18}F -ФДГ

и ^{11}C -метионином, сохранилась прямая взаимосвязь между величиной ОР и степенью риска РЛ, которая была обнаружена при применении РФП по отдельности ($r=0,86$, $p<0,0001$). Так, большинство больных, отнесенных к группе благоприятного интервала при изолированном применении радиотрейсеров, в случае совместного использования ^{18}F -ФДГ и ^{11}C -метионина так и остались в группе нулевого риска РЛ. И наоборот, больные с очень высоким риском РЛ, рассчитанным при раздельном применении этих РФП, в случае комбинированного их использования так и остались в группе очень высокого риска РЛ.

Совместное использование РФП имело решающее значение у пациентов с риском РЛ, оцененным в 1 балл при исследовании с ^{18}F -ФДГ. В эту группу вошло большинство пациентов

**Пороговые значения SUV и информативность ПЭТ
при раздельном и сочетанном использовании ^{18}F -ФДГ и ^{11}C -метионина**

Тип исследования (пороговое значение SUV)	Чувствительность, %	Специфичность, %	ДТ, %	ППЗ, %	ОПЗ, %
ПЭТ с ^{18}F -ФДГ (SUV>4,3)	70,3	86,2	80,8	86,7	77,1
ПЭТ с ^{11}C -метионином (SUV>2,4)	89,5	87,5	86,9	87,1	86,7
Совместное использование ^{18}F -ФДГ (SUV>4,3) и ^{11}C -метионина (SUV>2,4)	92,1	90,5	91,2	89,7	92,7

с уровнями SUV из интервала «перекрестных значений». Проведение второго сканирования с ^{11}C -метионином позволило перевести этих больных из группы низкого риска РЛ в группу благоприятного интервала. При сумме баллов, равной 2, при условии комбинации 0 + 2, выполнение ПЭТ с ^{11}C -метионином обеспечило диагностику трех типичных ^{18}F -ФДГ-негативных карцином и позволило избежать получения ложноотрицательных результатов. При этой же сумме баллов, но при комбинации 1 + 1 изменения в легком при ПЭТ с ^{11}C -метионином в большинстве случаев нами были правильно расценены как воспалительные, несмотря на относительно высокие значения SUV при исследовании с ^{18}F -ФДГ. При ПЭТ с ^{11}C -метионином у этих больных уровни SUV были ниже порогового значения. При сумме баллов 3 и 4 риск выявления РЛ возрастал почти в 2 раза, что сопровождалось значительным увеличением уровней аккумуляции, прежде всего ^{11}C -метионина, тогда как при ПЭТ с ^{18}F -ФДГ значения SUV нередко находились в трудно классифицируемом интервале. В то же время, несмотря на выполнение исследований с двумя РФП, нам не удалось избежать ложноположительных результатов у 4 больных туберкулезом. Уровни SUV у этих пациентов независимо от используемого РФП были очень высокими и соответствовали риску РЛ 3 и 4 балла. При дальнейшем увеличении суммы баллов риск выявления РЛ возрастал в 259 раз и более. При этом в одном случае

среди пациентов с 5- и 6-балльным риском РЛ, как и у 4 больных предыдущей группы, был диагностирован активный туберкулезный процесс в легком.

По мнению некоторых авторов, уровень захвата ^{18}F -ФДГ и ^{11}C -метионина при туберкулезе отражает прежде всего активность воспалительного заболевания [10–12]. При этом интенсивность накопления ^{18}F -ФДГ в очаге гранулематозного воспаления напрямую зависит от количества глюкозотранспортных белков первого типа, а также числа макрофагов, расположенных преимущественно по периферии воспалительного инфильтрата. Значительное накопление ^{11}C -метионина при активном туберкулезе связано с увеличением в области воспалительного инфильтрата количества макрофагов и пролиферирующих лимфоцитов.

В таблице 4 представлены пороговые значения SUV и информативность ПЭТ при раздельном и сочетанном использовании ^{18}F -ФДГ и ^{11}C -метионина. Нами выявлено, что максимальные значения информативности ПЭТ в дифференциальной диагностике опухолевых и воспалительных заболеваний легких наблюдались при совместном использовании ^{18}F -ФДГ и ^{11}C -метионина. При раздельном применении РФП наибольшие показатели эффективности отмечались при ПЭТ с ^{11}C -метионином.

Выводы

1. Семиотика РЛ, доброкачественных опухолей, пневмофиброза и воспалительных заболева-

ний легких при ПЭТ с ^{18}F -ФДГ и ^{11}C -метионином одинакова.

2. Проведение ПЭТ с ^{11}C -метионином позволяет выявлять ФДГ-негативные высокодифференцированные карциномы легких.

3. При раздельном использовании РФП диагностическая точность ПЭТ с ^{11}C -метионином в выявлении РЛ выше, чем при ПЭТ с ^{18}F -ФДГ.

4. Максимальные показатели информативности ПЭТ в дифференциальной диагностике опухолевых и воспалительных заболеваний легких отмечаются при совместном использовании ^{18}F -ФДГ и ^{11}C -метионина.

Литература

1. Глостанова М.С., Аветисян А.О. Информативность позитронной эмиссионной томографии с [^{18}F]фтордезоксиглюкозой в дифференциальной диагностике рака легкого. *Вестник РГМУ*. 2012; 2: 41–4.
2. Глостанова М.С., Яблонский П.К., Пищик В.Г., Левченко Е.В., Аветисян А.О., Петров А.С. Новые подходы к количественной обработке результатов позитронной эмиссионной томографии с [^{18}F]фтордезоксиглюкозой у пациентов с различными заболеваниями бронхолегочной системы. *Вестник РГМУ*. 2012; 6: 45–8.
3. Kumar R., Halanaik D., Malhotra A. Clinical applications of positron emission tomography-computed tomography in oncology. *Indian J. Cancer*. 2010; 47 (2): 100–19.
4. Mamede M., Higashi T., Kitaichi M., Ishizu K., Ishimori T., Nakamoto Y. et al. [^{18}F]FDG Uptake and PCNA, Glut-1, and Hexokinase-II Expressions in cancers and inflammatory

- lesions of the lung. *Neoplasia*. 2005; 4: 369–79.
5. Wang T., Sun Y., Chu X., Yao S.L., Yang B., Tian J.H. et al. Positron emission tomography with special tracers in pulmonary abnormalities. *Zhonghua Wai Ke Za Zhi*. 2010; 48 (2): 99–102.
 6. Miyazawa H., Arai T., Lio M., Hara T. PET imaging of non-small-cell lung carcinoma with carbon-11-methionine: relationship between radioactivity uptake and flow-citometric parameters. *J. Nucl. Med.* 1993; 34 (11): 1886–91.
 7. Kubota K., Matsuzawa T., Ito M., Ito K., Fujiwara T., Abe Y. et al. Lung tumor imaging by positron emission tomography using C-11 L – methionine. *J. Nucl. Med.* 1985; 26: 37–42.
 8. Hubner K.F. Can 11C-methionine play a role in lung cancer staging? *J. Nucl. Med.* 2000. 41 (2): 291–2.
 9. Hsieh H.J., Lin S.H., Lin K.H., Lee C.Y., Chang C.P., Wang S.J. The feasibility of ¹¹C-methionine-PET in diagnosis of solitary lung nodules/masses when compared with ¹⁸F-FDG-PET. *Ann. Nucl. Med.* 2008; 22 (6): 533–8.
 10. Davis S.L., Nuernberger E.L., Peter K., Um P.K., Vidal C., Jedynak B., Pomper M.G. Noninvasive pulmonary [¹⁸F]-2-fluoro-deoxy-d-glucose positron emission tomography correlates with bactericidal activity of tuberculosis. *Drug. Treat. Antimicrob Agents Chemother.* 2009; 53 (11): 4879–84.
 11. Martinez V., Castilla-Lievre M.A., Guillet-Caruba C., Grenier G., Fior R., Desarnaud S. (18)F-FDG PET/CT in tuberculosis: an early non-invasive marker of therapeutic response. *Int. J. Tuberc. Lung. Dis.* 2012; 16 (9): 1180–5.
 12. Zhao S., Kuge Y., Kohanawa M., Takahashi T., Zhao Y., Yi M. et al. Usefulness of ¹¹C-methionine for differentiating tumors from granulomas in experimental rat models: a comparison with ¹⁸F-FDG and ¹⁸F-FLT. *J. Nucl. Med.* 2008. 49: 135–41.

References

1. Tlostanova M.S., Avetisyan A.O. The informativeness of positron emission tomography with [¹⁸F]-Fluorodeoxyglucose in differential diagnosis of lung cancer. *Vestnik RGMU*. 2012; 2: 41–4 (in Russian).
2. Tlostanova M.S., Yablonskiy P.K., Pishchik V.G., Levchenko E.V., Avetisyan A.O., Petrov A.S. The new approaches to quantitative analysis of positron emission tomography with [¹⁸F]-Fluorodeoxyglucose data in patients with various diseases of the bronchopulmonary system. *Vestnik RGMU*. 2012; 6: 45–8 (in Russian).
3. Kumar R., Halanaik D., Malhotra A. Clinical applications of positron emission tomography-computed tomography in oncology. *Indian J. Cancer*. 2010; 47 (2): 100–19.
4. Mamede M., Higashi T., Kitaichi M., Ishizu K., Ishimori T., Nakamoto Y. et al. [¹⁸F]FDG Uptake and PCNA, Glut-1, and Hexokinase-II Expressions in cancers and inflammatory lesions of the lung. *Neoplasia*. 2005; 4: 369–79.
5. Wang T., Sun Y., Chu X., Yao S.L., Yang B., Tian J.H. et al. Positron emission tomography with special tracers in pulmonary abnormalities. *Zhonghua Wai Ke Za Zhi*. 2010; 48 (2): 99–102.
6. Miyazawa H., Arai T., Lio M., Hara T. PET imaging of non-small-cell lung carcinoma with carbon-11-methionine: relationship between radioactivity uptake and flow-citometric parameters. *J. Nucl. Med.* 1993; 34 (11): 1886–91.
7. Kubota K., Matsuzawa T., Ito M., Ito K., Fujiwara T., Abe Y. et al. Lung tumor imaging by positron emission tomography using C-11 L – methionine. *J. Nucl. Med.* 1985; 26: 37–42.
8. Hubner K.F. Can 11C-methionine play a role in lung cancer staging? *J. Nucl. Med.* 2000. 41 (2): 291–2.
9. Hsieh H.J., Lin S.H., Lin K.H., Lee C.Y., Chang C.P., Wang S.J. The feasibility of ¹¹C-methionine-PET in diagnosis of solitary lung nodules/masses when compared with ¹⁸F-FDG-PET. *Ann. Nucl. Med.* 2008; 22 (6): 533–8.
10. Davis S.L., Nuernberger E.L., Peter K., Um P.K., Vidal C., Jedynak B., Pomper M.G. Noninvasive pulmonary [¹⁸F]-2-fluoro-deoxy-d-glucose positron emission tomography correlates with bactericidal activity of tuberculosis. *Drug. Treat. Antimicrob Agents Chemother.* 2009; 53 (11): 4879–84.
11. Martinez V., Castilla-Lievre M.A., Guillet-Caruba C., Grenier G., Fior R., Desarnaud S. (18)F-FDG PET/CT in tuberculosis: an early non-invasive marker of therapeutic response. *Int. J. Tuberc. Lung. Dis.* 2012; 16 (9): 1180–5.
12. Zhao S., Kuge Y., Kohanawa M., Takahashi T., Zhao Y., Yi M. et al. Usefulness of ¹¹C-methionine for differentiating tumors from granulomas in experimental rat models: a comparison with ¹⁸F-FDG and ¹⁸F-FLT. *J. Nucl. Med.* 2008. 49: 135–41.

Поступила 04.02.2014