

# ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЗИТРОННОЙ ЭМИССИОННОЙ ТОМОГРАФИИ С $^{18}\text{F}$ -ФТОРДЕЗОКСИГЛЮКОЗОЙ, $^{11}\text{C}$ -МЕТИОНИНОМ И $^{82}\text{Rb}$ -ХЛОРИДОМ В ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКЕ ОПУХОЛЕВЫХ И НЕКОТОРЫХ ВОСПАЛИТЕЛЬНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ ЛЕГКИХ

УДК 616.24–002–006–079.4–073.756.3

Поступила 20.03.2014 г.



**М.С. Тлостанова**, к.м.н., врач-радиолог отделения позитронной эмиссионной томографии

Российский научный центр радиологии и хирургических технологий Минздрава России,  
Санкт-Петербург, 197758, Ленинградская ул., 70

**Цель исследования** — изучение информативности позитронной эмиссионной томографии (ПЭТ) с  $^{18}\text{F}$ -ФДГ,  $^{11}\text{C}$ -метионином и  $^{82}\text{Rb}$ -хлоридом в дифференциальной диагностике опухолевых и некоторых воспалительных заболеваний легких.

**Материалы и методы.** Проанализированы данные ПЭТ у 378 больных опухолевыми и воспалительными заболеваниями легких. ПЭТ с  $^{18}\text{F}$ -ФДГ и  $^{11}\text{C}$ -метионином проводили через 120 и 15 мин соответственно после их внутривенного введения. ПЭТ с  $^{82}\text{Rb}$ -хлоридом выполняли через 1 мин после дистанционного внутривенного введения. Количественная обработка результатов ПЭТ независимо от используемого препарата включала выполнение визуального анализа изображения и вычисление стандартизированных показателей захвата (Standardized Uptake Value, SUV) в нормальной паренхиме легкого и в области патологического образования.

**Результаты.** При ПЭТ с  $^{18}\text{F}$ -ФДГ и  $^{11}\text{C}$ -метионином у пациентов с раком легкого значения SUV были выше, чем величина метаболической активности в области воспаления, а при ПЭТ с  $^{82}\text{Rb}$ -хлоридом уровни SUV были значимо выше в воспалительных очагах, чем в злокачественных опухолях. У пациентов с доброкачественными опухолями и у большинства больных очаговым пневмофиброзом в участке уплотнения легочной ткани регистрировалось фоновое распределение радиофармацевтических препаратов. Это позволяло надежно дифференцировать доброкачественные опухоли и очаговый пневмофиброз от рака легких независимо от используемых препаратов.

**Заключение.** Полученные данные об информативности позитронной эмиссионной томографии, выполненной с использованием  $^{11}\text{C}$ -метионина, свидетельствуют о высокой диагностической точности метода в дифференциальной диагностике рака легких, нейроэндокринных опухолей, доброкачественных новообразований и воспалительных заболеваний. ПЭТ, выполненную с использованием  $^{82}\text{Rb}$ -хлорида, несмотря на хорошие визуализирующие возможности, нецелесообразно применять для разграничения опухолевых и воспалительных заболеваний легких.

**Ключевые слова:** позитронная эмиссионная томография;  $^{18}\text{F}$ -ФДГ;  $^{11}\text{C}$ -метионин;  $^{82}\text{Rb}$ -хлорид; опухолевые и воспалительные заболевания легких.

## English

## Efficiency of Positron Emission Tomography with $^{18}\text{F}$ -Fluorodeoxyglucose, $^{11}\text{C}$ -Methionine and $^{82}\text{Rb}$ -Chloride in Differential Diagnosis of Lung Tumors and Some Inflammatory Pulmonary Diseases

**M.S. Tlostanova**, PhD, Nuclear Medicine Physician, Positron Emission Tomography Unit

Russian Research Center of Radiology and Surgical Technologies, Ministry of Healthcare of Russia,  
Leningradskaya St., 70, Saint Petersburg, Russian Federation, 197758

**Для контактов:** Тлостанова Марина Сергеевна, тел. раб. 8(812)596-66-49, тел. моб. +7 911-970-49-22; e-mail: tlostanovamarina@gmail.com

**The aim of the investigation** was to study the informativeness of positron emission tomography (PET) using  $^{18}\text{F}$ -FDG,  $^{11}\text{C}$ -methionine and  $^{82}\text{Rb}$ -chloride in differential diagnosis of tumor and some inflammatory pulmonary diseases.

**Materials and Methods.** PET findings of 378 patients with lung tumors and inflammatory pulmonary diseases were studied. PET with  $^{18}\text{F}$ -FDG and  $^{11}\text{C}$ -methionine were performed 120 and 15 min, respectively, after their intravenous administration. PET with  $^{82}\text{Rb}$ -chloride was performed 1 min after distant intravenous administration. Quantitative processing of PET findings regardless the medication used included visual image analysis and calculation of Standardized Uptake Value (SUV) in healthy pulmonary parenchyma and in lesion.

**Results.** SUV in patients with lung cancer in PET with  $^{18}\text{F}$ -FDG and  $^{11}\text{C}$ -methionine were higher than metabolic activity in an inflammation region, while in PET with  $^{82}\text{Rb}$ -chloride, SUV levels were significantly higher in the foci of inflammation than in malignant tumors. The patients with benign tumors and most patients with focal pneumofibrosis in pulmonary tissue consolidation area were recorded to have background distribution of radiopharmaceuticals. It enabled to reliably differentiate benign tumors and focal pneumofibrosis from lung cancer regardless the medications used.

**Conclusion.** The obtained data on the informativeness of positron emission tomography performed using  $^{11}\text{C}$ -methionine suggest high diagnostic value of the technique in the differential diagnosis of lung cancer, neuroendocrine tumors, benign tumors and inflammatory diseases. Despite good imaging potential PET with  $^{82}\text{Rb}$ -chloride is unreasonable in differentiation of lung tumors and inflammatory pulmonary diseases.

**Key words:** positron emission tomography;  $^{18}\text{F}$ -FDG;  $^{11}\text{C}$ -methionine;  $^{82}\text{Rb}$ -chloride; lung tumors and inflammatory pulmonary diseases.

В настоящее время позитронная эмиссионная томография (ПЭТ) является одной из обязательных диагностических процедур, выполняемых пациентам со злокачественными опухолями практически любых локализаций, в том числе и с раком легкого (РЛ). Это обусловлено не только высокой информативностью ПЭТ при большинстве онкологических заболеваний, но и внедрением новых радиофармацевтических препаратов (РФП). Данные препараты представляют собой биологические соединения, меченные позитрон-излучающими радионуклидами, которые способны накапливаться в определенных морфологических структурах и отражать обменные или динамические процессы. Наиболее изученным и широко используемым в онкологических клиниках РФП циклотронного типа производства до настоящего времени остается  $^{18}\text{F}$ -фтордезоксиглюкоза ( $^{18}\text{F}$ -ФДГ). Несомненными достоинствами этого индикатора являются относительно большой (110 мин) период полураспада, позволяющий выполнять сканирование в режиме «всего тела», а также его способность в повышенном количестве накапливаться в злокачественных новообразованиях. Аккумуляция  $^{18}\text{F}$ -ФДГ в злокачественных опухолях обусловлена двумя основными причинами: увеличением количества транспортных белков, доставляющих РФП в атипичную клетку, и нарастанием активности фермента гексокиназы, катализирующего реакцию фосфорилирования — превращения введенной  $^{18}\text{F}$ -ФДГ в  $^{18}\text{F}$ -ФДГ-6-фосфат. Получившаяся молекула вследствие больших размеров, а также низкой активности следующего фермента гликолитического каскада — фосфогексоизомеразы, — попадает в так называемую метаболическую ловушку, которая и способствует визуализации большинства злокачественных новообразований и их метастазов на фоне здоровых тканей как «горячих» очагов. Однако необходимо сказать, что патологическая гиперфиксация РФП в образовании легкого не всегда является радиологическим признаком злокачественного процесса. Нередко аккумуляция  $^{18}\text{F}$ -ФДГ маркирует воспалительные изменения [1–3]. Происходит это прежде всего вследствие значительного увеличения числа глюкозотранспортных белков, а также скопления в области активного воспаления макрофагов, нейтрофилов, эозинофилов, грану-

лоцитов и других форменных элементов крови, которые являются клетками-«накопителями». Безусловно, это свойство  $^{18}\text{F}$ -ФДГ в значительной степени ограничивает возможности ПЭТ в проведении дифференциальной диагностики между РЛ и воспалительными заболеваниями. В доброкачественных опухолях, также как и в области рубцовых изменений, метаболические преобразования  $^{18}\text{F}$ -ФДГ не отличаются от гликолитических реакций, протекающих в нормальной паренхиме легкого. В связи с этим повышенного захвата  $^{18}\text{F}$ -ФДГ при этих заболеваниях, как правило, не отмечается. Это является надежным дифференциально-диагностическим признаком, позволяющим при ПЭТ с  $^{18}\text{F}$ -ФДГ разграничивать РЛ, доброкачественные опухоли и локальный пневмофиброз.

В литературе имеются немногочисленные сообщения о применении у больных РЛ другого РФП — метионина, меченного углеродом-11 ( $^{11}\text{C}$ -метионин) [4, 5]. Данный индикатор на протяжении многих лет используется для дифференциальной диагностики и оценки эффективности лечения различных опухолей головного мозга. Для выявления новообразований внечерепной локализации  $^{11}\text{C}$ -метионин применяется крайне редко. Связано это прежде всего с тем, что в норме данный РФП накапливается в повышенном количестве в железах внутренней и внешней секреции, а также в костном мозге и селезенке. Это создает существенные трудности в оценке распространенности заболевания у онкологических больных. Кроме того, короткий период полураспада  $^{11}\text{C}$  (20 мин) и, как следствие, проблемы, возникающие при транспортировке данного индикатора в другие лаборатории, сдерживают его широкое использование в изотопных подразделениях, не имеющих своего циклотронного комплекса.

Метионин по своим физико-химическим свойствам является типичной алифатической серосодержащей аминокислотой. В норме после попадания препарата в кровотока белки-транспортёры доставляют его внутрь клеток, где происходит встраивание подвижной метильной группы аминокислоты в пуриновые и пиримидиновые основания молекулы ДНК. При трансформации нормальной клетки в злокачественную прохождение реакций метилирования, как правило,

сопровождается многочисленными нарушениями, которые неизбежно приводят к постоянному дефициту метионина. Именно постоянная потребность атипичных клеток в метионине обуславливает интенсивный захват экзогенной фракции аминокислоты различными злокачественными опухолями [6]. В то же время в литературе имеются данные о том, что  $^{11}\text{C}$ -метионин, как и  $^{18}\text{F}$ -ФДГ, аккумулируется не только в злокачественных опухолях, но и в очагах воспаления [4]. Несмотря на этот факт, в литературе можно встретить сообщения о более высоких показателях информативности ПЭТ с  $^{11}\text{C}$ -метионином в разграничении РЛ и воспалительных заболеваний, чем при использовании  $^{18}\text{F}$ -ФДГ. Однако литературные данные, посвященные применению ПЭТ с  $^{11}\text{C}$ -метионином у пациентов с образованиями в легких неясного генеза, датируются в основном серединой 90-х годов и состоят из сообщений о результатах исследований, проведенных на немногочисленных группах больных, при этом зачастую уже получавших противоопухолевое лечение. В связи с этим роль ПЭТ с  $^{11}\text{C}$ -метионином в диагностике РЛ и воспалительных заболеваний до настоящего времени не уточнена.

В единичных зарубежных публикациях приводятся данные о выявлении злокачественных опухолей при ПЭТ, выполненной с радиотрейсером генераторного типа производства — рубидием-82 хлоридом ( $^{82}\text{Rb}$ -хлорид). Данный радиотрейсер используется в кардиологии для оценки состояния регионарного кровотока миокарда. Между тем некоторые авторы, проводившие ПЭТ с  $^{82}\text{Rb}$ -хлоридом больным с сердечно-сосудистой патологией, сообщают о выявлении у кардиологических пациентов злокачественных новообразований легких, молочных желез и других опухолей, случайно попавших в зону сканирования [7–9]. При этом исследователи отмечают удовлетворительную визуализацию выявленных образований. Литературные данные о целенаправленном использовании  $^{82}\text{Rb}$ -хлорида у онкологических больных как в зарубежных, так и в отечественных источниках в настоящее время отсутствуют.

$^{82}\text{Rb}$ -хлорид представляет собой изотонический раствор натрия хлорида, содержащий нуклид ион  $^{82}\text{Rb}$ . По своим физико-химическим и биологическим свойствам ион  $^{82}\text{Rb}$  является аналогом иона  $\text{K}^+$ . Такими же характеристиками обладает хорошо известный таллий-201 ( $^{201}\text{Tl}$ ), который используется для перфузионной сцинтиграфии миокарда. При внутривенном введении  $^{82}\text{Rb}$ -хлорид по аналогии с  $^{201}\text{Tl}$  доставляется током крови в органы и ткани, где распределяется пропорционально скорости потока регионарного капиллярного кровотока, а также уровню активности натрий-калиевого АТФ-зависимого насоса. Механизм захвата  $^{82}\text{Rb}$ -хлорида злокачественными клетками в настоящее время не установ-

лен. Высказываются лишь мнения о том, что рубидий, по аналогии с  $^{201}\text{Tl}$ , может проникать через мембрану атипичных клеток, что обеспечивает повышенное накопление РФП в злокачественной опухоли и, как следствие, ее визуализацию на фоне здоровых тканей в виде «горячего» очага [10].

Данная работа обобщает собственный опыт проведения ПЭТ с тремя вышеперечисленными РФП, полученный в период 2011–2014 гг. на базе РНЦРХТ при непосредственном участии нескольких пульмонологических и онкологических клиник Санкт-Петербурга.

**Цель исследования** — изучение информативности позитронной эмиссионной томографии с  $^{18}\text{F}$ -ФДГ,  $^{11}\text{C}$ -метионином и  $^{82}\text{Rb}$ -хлоридом в дифференциальной диагностике опухолевых и некоторых воспалительных заболеваний легких.

**Материалы и методы.** ПЭТ органов грудной клетки с  $^{18}\text{F}$ -ФДГ,  $^{82}\text{Rb}$ -хлоридом и  $^{11}\text{C}$ -метионином проведено на 378 пациентам с опухолевыми и воспалительными заболеваниями легких. Помимо ПЭТ диагностический алгоритм обследования больных включал бактериологическое исследование мокроты или промывных вод бронхов, использование Диаскинтеста, проведение серологического исследования и полимеразной цепной реакции компонентов плазмы крови для выявления антигенов и ДНК микобактерий туберкулеза, а также фибробронхоскопии, рентгенографии и компьютерной томографии (КТ) органов грудной клетки. У 332 пациентов (87,8%) окончательный диагноз был установлен на основании анализа цитологического и/или морфологического материалов. В остальных случаях состояние больных оценивалось по данным динамического рентгенологического контроля. Распределение пациентов в зависимости от окончательного диагноза и используемых РФП представлено в табл. 1.

Исследование проведено в соответствии с Хельсинкской декларацией (принятой в июне 1964 г. (Хельсинки, Финляндия) и пересмотренной в октябре 2000 г. (Эдинбург, Шотландия)) и одобрено Этическим комитетом РНЦРХТ. От каждого пациента получено информированное согласие.

ПЭТ с  $^{18}\text{F}$ -ФДГ и  $^{11}\text{C}$ -метионином проводилась по стандартной программе через 120 и 15 мин соответственно после их внутривенного введения, ПЭТ с  $^{82}\text{Rb}$ -

Таблица 1  
Дизайн исследования (n=378)

Окончательный диагноз	ПЭТ с $^{18}\text{F}$ -ФДГ (n=182)		ПЭТ с $^{82}\text{Rb}$ -хлоридом (n=80)		ПЭТ с $^{11}\text{C}$ -метионином (n=116)	
	Абс. число	%	Абс. число	%	Абс. число	%
Рак легкого	90	49,4	29	36,3	54	46,5
Нейроэндокринные опухоли	7	3,9	2	2,5	11	9,5
Доброкачественные опухоли	15	8,2	21	26,2	9	7,8
Воспалительные заболевания	56	30,8	21	26,2	35	30,2
Очаговый пневмофиброз (посттуберкулезный)	14	7,7	7	8,8	7	6,0

хлоридом выполняли через 1 мин после дистанционного внутривенного введения. Количественная обработка результатов ПЭТ независимо от используемого РФП включала выполнение визуального анализа изображения и вычисление стандартизированных показателей захвата (Standardized Uptake Value, SUV) в нормальной паренхиме легкого и в области патологического образования.

Статистическую обработку полученных данных осуществляли с применением пакета MedCalc 11.0.1 for Windows. При этом использовали методы параметрической и непараметрической статистики, которые включали в себя оценку среднего арифметического (M), средней ошибки среднего значения (m). Критический уровень достоверности нулевой статистической гипотезы принимали равным 0,05. Чувствительность, специфичность, диагностическая точность, положительное и отрицательное прогностические значения метода определяли с помощью анализа характеристических кривых (Receiver Operating Characteristic, ROC). При этом точками отсечения (cut-off value) или числовыми классификаторами являлись уровни SUV.

**Результаты.** В ходе визуального анализа томограмм, полученных при исследовании с использованием препарата  $^{18}\text{F}$ -ФДГ, у всех больных РЛ и пациентов с воспалительными заболеваниями в области образования был зарегистрирован патологический захват РФП. У пациентов с доброкачественными новообразованиями легких повышенного накопления  $^{18}\text{F}$ -ФДГ в опухоли не обнаружено. Отсутствие аккумуляции РФП нами также было зарегистрировано у 3 из 7 обследованных пациентов с нейроэндокринными опухолями (НЭО) и у 7 из 14 больных очаговым посттуберкулезным пневмофиброзом легких.

При ПЭТ с  $^{82}\text{Rb}$ -хлоридом очаги повышенного накопления РФП в легком обнаружены у 45 из 80 обследованных больных. В 26 случаях выявленные изменения были обусловлены РЛ, в 2 — наличием у пациента НЭО, в 17 — активным туберкулезом. У всех пациентов с доброкачественными опухолями легких и очаговым пневмофиброзом, у 3 больных РЛ, а также в 4 случаях инфильтративного туберкулеза патологической гиперфиксации  $^{82}\text{Rb}$ -хлорида не зарегистрировано.

При визуальном анализе томосцинтиграмм, полученных при сканировании органов грудной клетки с  $^{11}\text{C}$ -метионином, у всех пациентов с РЛ и НЭО, у 31 из

35 — с воспалительными заболеваниями, а также в 2 из 7 случаев очагового пневмофиброза в легких определялись фокусы патологического накопления РФП. У остальных больных в проекции образования регистрировалось фоновое, соответствующее интактной паренхиме легкого, распределение РФП. Признаков очагового захвата препаратов не обнаружено.

Анализ уровней SUV у пациентов с опухолевыми и воспалительными заболеваниями легких, проявившихся при ПЭТ очаговым захватом РФП (табл. 2), показал, что значения SUV, зарегистрированные при ПЭТ с  $^{18}\text{F}$ -ФДГ и  $^{11}\text{C}$ -метионином, у больных РЛ были значимо выше, чем у пациентов с воспалительными заболеваниями и очаговым пневмофиброзом ( $p \leq 0,05$ ). В то же время при ПЭТ с  $^{82}\text{Rb}$ -хлоридом наблюдалась обратная ситуация: значения SUV, рассчитанные над очагами воспаления, существенно превосходили показатели метаболической активности, зафиксированные в злокачественных опухолях легких ( $p = 0,0012$ ). При ПЭТ с  $^{18}\text{F}$ -ФДГ у пациентов с НЭО легких показатели SUV были статистически значимо ниже, чем у больных РЛ ( $p = 0,0026$ ). В то же время уровни SUV у пациентов с НЭО не отличались от величин метаболической активности, вычисленных в очагах воспаления ( $p = 0,1941$ ). Схожие данные были получены при исследовании с  $^{11}\text{C}$ -метионином у пациентов с РЛ и НЭО. Сопоставление уровней SUV у этих больных не выявило существенных различий ( $p = 0,1341$ ).

Таким образом, данные визуального анализа, а также результаты сопоставления средних значений SUV, рассчитанных при ПЭТ с  $^{18}\text{F}$ -ФДГ,  $^{11}\text{C}$ -метионином и  $^{82}\text{Rb}$ -хлоридом, свидетельствовали о схожих семиотических проявлениях и количественных характеристиках у пациентов с опухолевыми и воспалительными заболеваниями легких. В связи с этим для определения числовых дифференциально-диагностических критериев, а также расчета показателей информативности ПЭТ нами был выполнен ROC-анализ данных. Пороговые значения SUV и информативность ПЭТ с  $^{18}\text{F}$ -ФДГ,  $^{82}\text{Rb}$ -хлоридом и  $^{11}\text{C}$ -метионином в дифференциальной диагностике опухолевых и воспалительных заболеваний легких (табл. 3) свидетельствуют, что максимальные показатели диагностической точности ПЭТ в дифференциальной диагностике опухолевых и воспалительных заболеваний легких наблюдались при исследовании с  $^{11}\text{C}$ -метионином. При этом значения специфичности метода при исследованиях с  $^{18}\text{F}$ -ФДГ и

Т а б л и ц а 2

**Уровни SUV у больных опухолевыми и воспалительными заболеваниями легких при ПЭТ с  $^{18}\text{F}$ -ФДГ,  $^{82}\text{Rb}$ -хлоридом и  $^{11}\text{C}$ -метионином, проявившиеся очаговым захватом РФП (M±m)**

Диагноз	ПЭТ с $^{18}\text{F}$ -ФДГ	ПЭТ с $^{82}\text{Rb}$ -хлоридом	ПЭТ с $^{11}\text{C}$ -метионином
Рак легкого	9,92±1,05	5,66±0,20	4,05±0,27
НЭО	3,10±0,81	4,1; 3,8*	3,81±0,31
Воспалительные заболевания	3,68±0,38	7,36±0,37	1,92±0,12
Очаговый пневмофиброз	1,12±0,08	—	1,21±0,04
Интактная паренхима легких	0,79±0,10	3,18±0,33	1,06±0,06

\* — всего два наблюдения.

Таблица 3

Пороговые значения SUV и информативность ПЭТ с  $^{18}\text{F}$ -ФДГ,  $^{82}\text{Rb}$ -хлоридом и  $^{11}\text{C}$ -метионином в дифференциальной диагностике опухолевых и воспалительных заболеваний легких, %

Тип исследования, пороговое значение SUV	Чувствительность	Специфичность	Диагностическая точность	Положительное прогностическое значение	Отрицательное прогностическое значение
ПЭТ с $^{18}\text{F}$ -ФДГ, SUV>4,3	70,3	86,2	80,8	86,7	77,1
ПЭТ с $^{11}\text{C}$ -метионином, SUV>2,4	89,5	87,5	86,9	87,1	86,7
ПЭТ с $^{82}\text{Rb}$ -хлоридом, SUV≤6,47	74,4	46,4	58,7	52,0	69,9

$^{11}\text{C}$ -метионином были сопоставимы. Показатели информативности метода в разграничении злокачественных и воспалительных изменений в легких при использовании ПЭТ с  $^{82}\text{Rb}$ -хлоридом статистически значимо уступали значениям эффективности ПЭТ при проведении исследований с  $^{18}\text{F}$ -ФДГ и  $^{11}\text{C}$ -метионином.

**Обсуждение.** В настоящее время у больных с образованиями в легких неясного генеза ПЭТ с  $^{18}\text{F}$ -ФДГ применяется достаточно широко. Основными достоинствами метода являются возможность проведения за одно сканирование дифференциальной диагностики злокачественных и доброкачественных новообразований легких, а также определение стадии опухолевого процесса у пациентов с верифицированным РЛ. Вместе с тем, несмотря на многолетний опыт использования ПЭТ с  $^{18}\text{F}$ -ФДГ у таких больных, проблемы, связанные с разграничением РЛ и воспалительных заболеваний, считать решенными преждевременно. К сожалению, при ПЭТ с  $^{18}\text{F}$ -ФДГ злокачественные и воспалительные процессы в легком проявляются одинаково — повышенным накоплением РФП. Сложившаяся ситуация обуславливает поиск и внедрение более специфичных радиотрэйсеров.

С этой целью было проведено сопоставление показателей информативности ПЭТ, выполненной с широко применяемым препаратом  $^{18}\text{F}$ -ФДГ, и значений эффективности метода, рассчитанных при использовании других индикаторов:  $^{11}\text{C}$ -метионина и  $^{82}\text{Rb}$ -хлорида. Результаты визуального анализа данных ПЭТ с  $^{18}\text{F}$ -ФДГ,  $^{11}\text{C}$ -метионином и  $^{82}\text{Rb}$ -хлоридом свидетельствовали о схожих семиотических проявлениях опухолевых и воспалительных заболеваний легких. Так, у пациентов с доброкачественными опухолями и у большинства больных очаговым пневмофиброзом в участке уплотнения легочной ткани регистрировалось фоновое распределение РФП. Это позволяло надежно классифицировать доброкачественные опухоли и очаговый пневмофиброз от РЛ независимо от используемых РФП. В то же время при ПЭТ с  $^{18}\text{F}$ -ФДГ,  $^{11}\text{C}$ -метионином и  $^{82}\text{Rb}$ -хлоридом у большинства пациентов с воспалительными заболеваниями, так же как и у больных со злокачественными опухолями легких, в области образования наблюдалась аккумуляция РФП различной степени интенсивности. Сопоставление уровней SUV у пациентов с РЛ и воспалительными заболеваниями выявило статистически значимые различия между показателями метаболической активности при всех используемых нами индикаторах. Так, при ПЭТ с  $^{18}\text{F}$ -ФДГ и  $^{11}\text{C}$ -метионином у

больных РЛ значения SUV были выше, чем величина метаболической активности в области воспаления. При ПЭТ с  $^{82}\text{Rb}$ -хлоридом уровни SUV в воспалительных очагах были статистически значимо выше, чем в злокачественных опухолях. При этом, несмотря на установленные нами значимые различия между уровнями SUV у пациентов с РЛ и воспалительными заболеваниями, хорошую визуализацию патологических образований при проведении ПЭТ с  $^{82}\text{Rb}$ -хлоридом, показатели информативности метода свидетельствовали о неудовлетворительных дифференциально-диагностических свойствах данного радиотрэйсера.

Более убедительно выглядели результаты сравнительного анализа данных ПЭТ с  $^{18}\text{F}$ -ФДГ и  $^{11}\text{C}$ -метионином. Так, при ПЭТ с  $^{18}\text{F}$ -ФДГ у 3 из 7 больных типичными карциноидами легких в области опухолевого очага повышенного накопления РФП не регистрировалось, т.е. были получены ложноотрицательные результаты. Вместе с тем при проведении исследований с  $^{11}\text{C}$ -метионином у всех больных с НЭО в проекции патологического образования легкого наблюдалась аккумуляция РФП, что позволило установить диагноз злокачественной опухоли. Кроме того, у 4 больных туберкулезом при исследовании с  $^{11}\text{C}$ -метионином в отличие от ПЭТ с  $^{18}\text{F}$ -ФДГ процесс в легком был правильно расценен как воспалительные изменения вследствие отсутствия повышенного накопления РФП в области образования. Проведенный ROC-анализ данных ПЭТ с  $^{11}\text{C}$ -метионином позволил установить, что самые высокие показатели информативности метода в разграничении опухолевых и воспалительных заболеваний легких регистрировались при использовании именно этого радиотрэйсера.

**Заключение.** Полученные данные об информативности позитронной эмиссионной томографии, выполненной с использованием  $^{11}\text{C}$ -метионина, свидетельствуют о высокой диагностической точности метода в дифференциальной диагностике рака легких, нейроэндокринных опухолей, доброкачественных новообразований и воспалительных заболеваний. ПЭТ, выполненную с использованием  $^{82}\text{Rb}$ -хлорида, несмотря на хорошие визуализирующие возможности, нецелесообразно применять для разграничения опухолевых и воспалительных заболеваний легких.

**Финансирование исследования и конфликт интересов.** Исследование не финансировалось какими-либо источниками, и конфликты интересов, связанные с данным исследованием, отсутствуют.

Литература

1. Тлостанова М.С., Аветисян А.О. Информативность позитронной эмиссионной томографии с [18F]фтордезоксиглюкозой в дифференциальной диагностике рака легкого. Вестник РГМУ 2012; 2: 41–44.
2. Тлостанова 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 [18F]фтордезоксиглюкозой у пациентов с различными заболеваниями бронхолегочной системы. Вестник РГМУ 2012; 6: 45–48.
3. Kumar R., Halanaik D., Malhotra A. Clinical applications of positron emission tomography — computed tomography in oncology. *Indian J Cancer* 2010; 47(2): 100–119, <http://dx.doi.org/10.4103/0019-509X.62997>.
4. Hsieh H.J., Lin S.H., Lin K.H., Lee C.Y., Chang C.P., Wang S.J. The feasibility of <sup>11</sup>C-methionine-PET in diagnosis of solitary lung nodules/masses when compared with <sup>18</sup>F-FDG-PET. *Ann Nucl Med* 2008 22(6): 533–538, <http://dx.doi.org/10.1007/s12149-007-0142-8>.
5. Zhao S., Kuge Y., Kohanawa M., Takahashi T., Zhao Y., Yi M. Usefulness of <sup>11</sup>C-methionine for differentiating tumors from granulomas in experimental rat models: a comparison with <sup>18</sup>F-FDG and <sup>18</sup>F-FLT. *J Nucl Med* 2008 49(6): 135–141, <http://dx.doi.org/10.2967/jnumed.107.044578>.
6. Mattoli M.V., Treglia G., Trevisi G., Muoio B., Cason E. Usefulness of <sup>11</sup>C-methionine positron emission tomography in differential diagnosis between recurrent tumours and radiation necrosis in patients with glioma: an overview. *The Open Neurosurgery Journal* 2012 (5): 8–11.
7. Mirpour S., Khandani A.H. Extracardiac abnormalities on rubidium-82 cardiac positron emission tomography/computed tomography. *Nucl Med Commun* 2011 Apr; 32(4): 260–264, <http://dx.doi.org/10.1097/MNM.0b013e3283440dcb>.
8. Khandani A., Sheikh A., Beavers G., et al. Extra-cardiac findings on PET portion of Rubidium-82 (Rb-82) cardiac PET-KT. *J Nucl Med* 2010 51(Suppl 2): 1018.
9. Gupta A., DiFilippo F.P., Brunken R.C., et al. Rubidium-82 uptake in metastases from pheochromocytoma on PET myocardial perfusion images. *Clin Nucl Med* 2011 36(10): 930–931, <http://dx.doi.org/10.1097/RLU.0b013e31822920b7>.
10. Hisada K., Tonami N., Miyamea T., et al. Clinical evaluation of tumour imaging with <sup>201</sup>Tl chloride. *Radiology* 1978 129: 497–500.

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: 41–44.
2. Tlostanova M.S., Yablonsky 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: 45–48.
3. Kumar R., Halanaik D., Malhotra A. Clinical applications of positron emission tomography — computed tomography in oncology. *Indian J Cancer* 2010; 47(2): 100–119, <http://dx.doi.org/10.4103/0019-509X.62997>.
4. Hsieh H.J., Lin S.H., Lin K.H., Lee C.Y., Chang C.P., Wang S.J. The feasibility of <sup>11</sup>C-methionine-PET in diagnosis of solitary lung nodules/masses when compared with <sup>18</sup>F-FDG-PET. *Ann Nucl Med* 2008 22(6): 533–538, <http://dx.doi.org/10.1007/s12149-007-0142-8>.
5. Zhao S., Kuge Y., Kohanawa M., Takahashi T., Zhao Y., Yi M. Usefulness of <sup>11</sup>C-methionine for differentiating tumors from granulomas in experimental rat models: a comparison with <sup>18</sup>F-FDG and <sup>18</sup>F-FLT. *J Nucl Med* 2008 49(6): 135–141, <http://dx.doi.org/10.2967/jnumed.107.044578>.
6. Mattoli M.V., Treglia G., Trevisi G., Muoio B., Cason E. Usefulness of <sup>11</sup>C-methionine positron emission tomography in differential diagnosis between recurrent tumours and radiation necrosis in patients with glioma: an overview. *The Open Neurosurgery Journal* 2012 (5): 8–11.
7. Mirpour S., Khandani A.H. Extracardiac abnormalities on rubidium-82 cardiac positron emission tomography/computed tomography. *Nucl Med Commun* 2011 Apr; 32(4): 260–264, <http://dx.doi.org/10.1097/MNM.0b013e3283440dcb>.
8. Khandani A., Sheikh A., Beavers G., et al. Extra-cardiac findings on PET portion of Rubidium-82 (Rb-82) cardiac PET-KT. *J Nucl Med* 2010 51(Suppl 2): 1018.
9. Gupta A., DiFilippo F.P., Brunken R.C., et al. Rubidium-82 uptake in metastases from pheochromocytoma on PET myocardial perfusion images. *Clin Nucl Med* 2011 36(10): 930–931, <http://dx.doi.org/10.1097/RLU.0b013e31822920b7>.
10. Hisada K., Tonami N., Miyamea T., et al. Clinical evaluation of tumour imaging with <sup>201</sup>Tl chloride. *Radiology* 1978 129: 497–500.