

ПОЗИТРОННО-ЭМИССИОННАЯ ТОМОГРАФИЯ С ^{18}F -ФТОРДЕЗОКСИГЛЮКОЗОЙ У ОНКОЛОГИЧЕСКИХ БОЛЬНЫХ: МЕТОДИКА ОБСЛЕДОВАНИЯ ВСЕГО ТЕЛА

О.В. Мухортова¹, И.П. Асланиди¹, Л.А. Ашрафян², И.В. Шурупова¹,
Е.П. Деревянко¹, Т.А. Катунина¹, Д.Б. Алимардонов², А.В. Ульянова²

¹НЦ ССХ им. А.Н. Бакулева РАМН; ²ФГУ РНЦРР Росмедтехнологии, Москва

^{18}F -FLUORODEOXYGLUCOSE POSITRON EMISSION TOMOGRAPHY IN CANCER PATIENTS: A WHOLE-BODY EXAMINATION PROCEDURE

O. A. Mukhortova¹, I.P. Aslanidi¹, L.A. Ashrafyan², I.V. Shurupova¹,
E.P. Derevyanko¹, T.A. Katunina¹, D.B. Alimardonov², A.V. Ulyanova²

¹A.N. Bakulev Research Center of Cardiovascular Surgery;

²Russian X-ray Radiology Research Center, Russian Agency for Medical Technologies, Moscow

Positron emission tomography (PET) is one of the current techniques of molecular radionuclide imaging, which provides a qualitative and quantitative assessment of biochemical processes occurring in a living organism. The paper contains information on how to perform ^{18}F -fluorodeoxyglucose PET for whole-body examination. It analyzes factors that influence the accuracy of obtained results, methods for PET image analysis, and reasons for possible diagnostic errors.

Key words: positron emission tomography, ^{18}F -fluorodeoxyglucose, oncology, procedure

В настоящее время идет период становления клинического применения позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ) в онкологии. Все преимущества использования данного вида диагностики не могут быть реализованы без стандартизации методик обследования. Применение стандартных методик ПЭТ позволит проводить сравнительную оценку полученных результатов, гарантировать их воспроизводимость и диагностическую точность при рутинном использовании метода в клинических целях.

Публикация подготовлена на основе методических рекомендаций Онкологического [1] и Педиатрического [2] комитетов Европейской ассоциации ядерной медицины, консенсуса Американского национального института рака [3], а также 8-летнего применения ПЭТ в Научном центре сердечно-сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева, в течение которого обследовано около 5000 онкологических больных.

Показания к применению ПЭТ у онкологических больных:

- 1) диагностика злокачественных опухолей;
- 2) оценка распространенности онкологического процесса (определение стадии, рестадирирование);
- 3) биохимический рецидив опухоли (увеличение уровня опухолевых маркеров при отсутствии других признаков рецидива);
- 4) дифференциальная диагностика рецидива или резидуальной активности опухоли

и изменений, индуцированных противоопухолевой терапией;

- 5) обследование больных с метастазами из неустановленного первичного очага;
- 6) выявление наиболее агрессивной части опухоли при планировании места выполнения биопсии;
- 7) оценка эффективности химио- и лучевого лечения (включая раннюю оценку ответа на начатую химиотерапию — ХТ);
- 8) планирование проведения лучевой терапии (ЛТ) [4].

Противопоказания и ограничения:

- 1) беременность — абсолютное противопоказание для выполнения всех лучевых диагностических и лечебных процедур [5];
- 2) кормление грудью — относительное противопоказание, должно быть прекращено не менее чем на 6 ч после введения ^{18}F -фтордезоксиглюкозы (ФДГ) [1];
- 3) сахарный диабет (СД) или метаболический синдром — высокий уровень глюкозы в крови может препятствовать накоплению ^{18}F -ФДГ в опухоли за счет конкурентного ингибирования накопления D-глюкозой. Концентрация глюкозы в крови в диапазоне нормальных значений (<6,6 ммоль/л или 120 мг/дл) не влияет на показатель полуколичественной оценки изображения SUV (Standard Uptake Value) [6]. У больных СД нарушается физиоло-

гическое распределение ^{18}F -ФДГ, что приводит к изменению интенсивности накопления препарата в патологическом очаге и снижению значения SUV. Большинство авторов считают, что при уровне глюкозы в крови $> 11,1$ ммоль/л (200 мг/дл) выполнять ПЭТ с ^{18}F -ФДГ не рекомендуется [7];

- 4) нарушение функции почек снижает качество изображения, поскольку вызывает увеличение фоновой активности.

Диагностическая точность ПЭТ определяется комплексом следующих факторов:

- 1) тип используемого диагностического оборудования и его состояние;
- 2) качество используемого радиофармпрепарата (РФП);
- 3) правильность подготовки пациента и соблюдение протокола исследования;
- 4) качество интерпретации полученного диагностического изображения.

Тип диагностического оборудования и контроль его состояния

ПЭТ-сканеры, используемые в настоящее время в клинических целях, имеют многокольцевую систему сборки детекторов с кристаллами германата висмута (BGO), ортосиликата лютеция (LSO) или гадолиния (GSO) с аксиальным полем видения от 15 до 20 см, работают в двух- (2D) и трехмерном (3D) режимах визуализации. Пространственное разрешение таких сканеров на фантоме не превышает 6–7 мм [8].

ПЭТ-сканирование может выполняться на специальных 2-детекторных γ -камерах, работающих в режиме детектирования совпадений. Диагностическая точность ПЭТ при использовании ПЭТ-сканеров с кольцевой системой сборки детекторов значительно выше, чем при выполнении аналогичных исследований на γ -камерах с опцией ПЭТ [9].

В последние годы быстро развивается новая гибридная технология ПЭТ—компьютерная томография (КТ). В ПЭТ-КТ-сканерах совмещены рентгеновский компьютерный (РКТ) и позитронно-эмиссионный томографы. Это дает возможность точного сопоставления физиологических и морфологических изменений, происходящих в организме больного [10].

Настройка ПЭТ-сканера включает: 1) полную настройку кольца детекторов — выполняется в случае появления артефактов на синиграммах или замены электроники, продолжается около 7 ч; 2) нормализацию — процедура обеспечивает адекватную коррекцию эффективности работы кристаллов детекторов сканера, выполняется ежемесячно, продолжается 4–7 ч; 3) ежедневный контроль качества (DQC):

необходим при реконструкции изображения для проведения коррекции аттенуации (искажение эмиссионных данных за счет рассеивания и поглощения излучения окружающими тканями), гарантирует отсутствие плавающих дефектов в работе детекторов, продолжается около 40 мин и выполняется ежедневно. Результаты DQC до 2–2,5% свидетельствуют о стабильной работе сканера. При DQC $> 2,5\%$ точности полуколичественной оценки изображения не гарантируется, требуется повторное выполнение нормализации [10].

Производство и контроль качества ^{18}F -ФДГ

Производство позитрон-излучающих РФП включает 3 основных этапа: наработку позитрон-излучающего изотопа, синтез на его основе РФП (введение изотопа в биологически активную молекулу) и контроль качества полученного РФП.

С учетом того, что синтез ^{18}F -ФДГ осуществляется в день обследования в каждом ПЭТ-центре (срок годности препарата — 8 ч с момента приготовления), качество приготовленного препарата имеет важное значение. Для контроля качества РФП используются: тонкослойная радиохроматография, высокоэффективные жидкостная и газовая хроматографии, потенциометрия. Оценивают следующие параметры: подлинность по радионуклиду и действующему веществу, кислотность, объемную активность, радиохимическую чистоту, содержание натрия хлорида и нерадиоактивных химических примесей, стерильность и апиrogenность. Контролируемые параметры, их допустимые уровни и реальные значения, измеренные в готовом препарате, фиксируются в аналитическом паспорте, составляемом после каждого синтеза РФП [12].

Подготовка пациента к исследованию и протокол выполнения ПЭТ

При беседе с пациентом врач должен зафиксировать всю информацию, которая может повлиять на результаты ПЭТ: уточнить время последнего приема пищи; наличие СД или транзиторного повышения сахара крови в анамнезе; рост и массу тела пациента; результаты других диагностических исследований; предшествующие хирургические вмешательства и другие инвазивные процедуры, проведенное лечение и сроки его завершения; прием медикаментов, влияющих на распределение ^{18}F -ФДГ (гемостимулирующая, кортикостероидная, нефротоксичная терапия); наличие воспалительных (инфекции, абсцессы, туберкулез) или доброкачественных заболеваний, характеризующихся высокой клеточной пролиферацией (фиброзная дисплазия, саркоидоз и т.д.)

Для уменьшения накопления препарата в мышцах за сутки до исследования следует избегать физических нагрузок. Наилучшие условия визуализации злокачественных опухолей создаются при легкой гипогликемии, достигаемой голоданием в течение 4–6 ч перед введением РФП и водной нагрузкой. Голодание способствует повышенному захвату глюкозы клетками, а гидратация с одновременной дегидратацией ускоряет выведение препарата из нормальных тканей с мочой [13, 14].

^{18}F -ФДГ вводится натощак, не ранее чем после 6-часового голодания. Для достижения адекватной гидратации и дегидратации пациенту рекомендуется обильное питье (500–1000 мл воды в зависимости от массы тела) и, при отсутствии противопоказаний, внутривенно вводится 20–40 мг фуросемида (непосредственно до или после введения ^{18}F -ФДГ).

При необходимости четкой визуализации структур таза больному предварительно устанавливается уретральный катетер с последующим введением в мочевого пузыря физиологического раствора для обеспечения вымывания ^{18}F -ФДГ из мочевого пузыря. В рутинной практике катеризация мочевого пузыря используется редко, так как это является дополнительным стрессорным фактором для пациента и увеличивает риск инфицирования мочевыделительной системы.

Релаксация — один из факторов, влияющих на качество диагностического изображения при ПЭТ с ^{18}F -ФДГ. Для уменьшения накопления ^{18}F -ФДГ в буром жире, мышцах полости рта, шеи и грудной клетки перед введением РФП пациентам рекомендуется находиться в тихом теплом помещении в удобной позе и избегать речевой активности. Период релаксации должен продолжаться до начала сканирования.

Пациентам с выраженным болевым синдромом, а также детям для обеспечения полноценной релаксации и возможности иммобилизации в ходе сканирования показано введение обезболивающих и/или седативных препаратов. Вопрос о времени и способе их введения решается индивидуально. Пациентам астенической конституции, детям и подросткам для уменьшения накопления препарата в буром жире за 60–90 мин до введения ^{18}F -ФДГ при отсутствии противопоказаний рекомендовано пероральное назначение пропанолаола из расчета 1 мг/кг, максимально 40 мг [15].

У всех пациентов перед введением ^{18}F -ФДГ определяется уровень глюкозы в крови, который не должен превышать 6,6 ммоль/л (<120 мг/дл). При уровне глюкозы > 11,1 ммоль/л (>200 мг/дл)

исследование должно быть перенесено на другой день. При выполнении ПЭТ с ^{18}F -ФДГ больным с гипергликемией использование инсулина с целью понижения уровня глюкозы крови запрещается [16].

Особенности подготовки больных СД

Пациентов с СД обязательно информируют о вероятности получения ложноотрицательных результатов ПЭТ. При предварительной записи на исследование больной предупреждается о необходимости соблюдения строгой диеты и регулярного использования гипогликемических препаратов для стабилизации уровня глюкозы в крови перед исследованием.

Пациентам, принимающим пероральные гипогликемические препараты, исследования назначаются в первую очередь утром после ночного голодания. Прием пищи и гипогликемических препаратов разрешается только после завершения сканирования. У больных СД выполнение ПЭТ с ^{18}F -ФДГ считается обоснованным при уровне глюкозы в крови в диапазоне от 8,3 до 11,1 ммоль/л (150–200 мг/дл) [3].

Исследования о выполнении ПЭТ с ^{18}F -ФДГ при инсулинозависимом СД единичны [17]. В нашем центре вопросы о целесообразности выполнения ПЭТ и правилах подготовки к исследованию больных, применяющих инсулин, решаются индивидуально в зависимости от цели исследования, гистологического типа опухоли, ее размера и локализации, степени компенсации СД, дозировок и видов используемых инсулиновых препаратов, тучности пациента и т.д. Больным с инсулинозависимым СД утром в день исследования вводится 1/2 утренней дозы инсулина и разрешается легкий безуглеводный завтрак, время которого определяется из расчета минимального 4-часового периода голодания перед введением ^{18}F -ФДГ.

Уровень вводимой активности зависит от диагностических целей, используемого диагностического оборудования и регламентируется нормативными документами [5, 18]. Для получения качественного изображения на ПЭТ-сканере с кристаллами типа ВГО в режиме записи 2D при ПЭТ всего тела вводимая активность определяется из расчета 5–7 МБк на 1 кг массы тела пациента. Уровни вводимых активностей для взрослых находятся в диапазоне от 300 до 555 (в среднем 370) МБк. Эффективная доза, полученная пациентом, определяется из расчета 0,019 мЗв на 1 МБк [19], что составляет от 5,7 до 10,5 (в среднем 7) мЗв. При записи данных в 3D-режиме уровень вводимой активности снижается по сравнению с 2D-режимом на 25–40% [20].

Уровни вводимых активностей и лучевые нагрузки для детей определяются с учетом коэффициентов в зависимости от массы тела и используемого режима сбора данных — 2D или 3D (табл. 1, 2). В соответствии с последними рекомендациями Комитета по дозиметрии и Педиатрического комитета Европейской ассоциации ядерной медицины минимальная вводимая активность ^{18}F -ФДГ составляет 26 МБк для 2D-режима и 14 МБк — для режима 3D (для младенцев с массой тела до 3 кг) [2]. Стремление к использованию низких активностей (менее 70 МБк) не должно приводить к потере диагностической информации.

Максимальной лучевой нагрузке при ПЭТ с ^{18}F -ФДГ подвергается мочевой пузырь. Для уменьшения лучевой нагрузки пациентам рекомендуется обильное питье и частое опорожнение мочевого пузыря в течение 6—8 ч после исследования.

^{18}F -ФДГ вводится внутривенно через предварительно установленный катетер с последующим добавлением 10—15 мл физиологического раствора. В случае экстравазального введения препарата ^{18}F -ФДГ может накопиться в региональных лимфоузлах путем реадсорбции из межтканевого пространства. Для исключения сомнительных или ложноположительных результатов препарат следует вводить в контралатеральную по отношению к очагу поражения конечность. Считается, что оптимальным местом введения препарата является поверхностная вена тыла стопы. Детям для уменьшения стресса при проведении исследования целесообразно обеспечивать внутривенный доступ заранее.

Необходимо точно регистрировать время введения РФП и введенную активность (определяется как разница между измеренными на дозкалибраторе активностями: уровнем активности в шприце до введения пациенту и остаточной активностью в шприце после введения). Эти данные используются при последующем анализе изображения полуколичественным методом.

Непосредственно перед началом сканирования для обеспечения комфортного состояния пациенту следует опорожнить мочевой пузырь. В большинстве случаев сканирование начинается через 60—90 мин после введения ^{18}F -ФДГ — время, необходимое для адекватного распределения препарата в организме. Однако в зависимости от целей исследования и гистологического типа опухоли продолжительность накопления РФП (интервал времени от момента введения препарата до начала сканирования) может увеличиваться [21]. Время накопления РФП также

является одним из факторов, влияющих на значение SUV, и его необходимо фиксировать в протоколе и точно соблюдать при повторном исследовании [22].

Сканирование. Стандартом выполнения ПЭТ для онкологических больных является об-

Таблица 1. Рекомендуемые уровни вводимой активности для 2D- и 3D-режимов при выполнении ПЭТ всего тела с ^{18}F -ФДГ

Масса тела, кг	Активность, МБк	
	2D	3D
3	26	14
4	30	16
6	44	24
8	55	30
10	70	38
12	81	44
14	92	50
16	104	56
18	115	62
20	126	68
22	137	74
24	148	80
26	159	86
28	167	90
30	178	96
32	189	102
34	200	108
36	207	112
38	218	118
40	229	124
42	237	128
44	248	134
46	259	140
48	267	144
50	277	150
52—54	292	158
56—58	311	168
60—62	329	178
64—66	348	188
68	363	196

следование по протоколу исследования всего тела (whole body). Протокол включает обследование от мочки уха до верхней трети бедра. Необоснованное сокращение объема обследования может привести к потере важной диагностической информации — как известно, ПЭТ позволяет выявлять очаги заболевания, которые не манифестируются клинически и не могут быть обнаружены с помощью других методов диагностики [23, 24]. В определенных клинических ситуациях в протокол может быть включен головной мозг (при обследовании больных раком легкого, меланомой кожи), нижние конечности (у больных с меланомой кожи, саркомами). При оценке эффективности лечения оптимальным является выполнение ПЭТ-исследований до и после лечения на одном и том же сканере. Точное повторение протокола первоначального ПЭТ-исследования (уровень вводимой активности, время накопления препарата, направление сканирования — от головы к ногам или наоборот, режим сбора данных, параметры реконструкции изображения) позволяет повысить диагностическую точность метода при сравнении полуколичественных показателей SUV первичного и повторного исследований [25].

Сканирование выполняется в положении пациента лежа на спине и опущенными или поднятыми руками и продолжается 50–70 мин. Аксиальное поле видения большинства ПЭТ-сканеров составляет 15–20 см, поэтому для получения изображения всего тела требуется от 5 до 7 перемещений стола сканера относительно гентри. Изображение всего тела достигается за счет объединения последовательных статических изображений отдельных его частей. При этом длина каждого отдельного изображения несколько меньше аксиального поля видения сканера, что исключает появление краевых дефектов изображения при его реконструкции.

Сканирование состоит из эмиссионного и трансмиссионного сканов. Последовательность и режимы протоколов сканирования различны и зависят от технических параметров ис-

пользуемой аппаратуры. Время сбора данных для эмиссионного скана определяется введенной активностью и массой тела пациента. При исследовании всего тела в 2D-режиме оно составляет 5–10, в 3D-режиме — 3–8 мин. Трансмиссия обеспечивает коррекцию эмиссионных данных на поглощение и рассеивание излучения (attenuation) окружающими тканями. Для получения трансмиссионного скана в большинстве сканеров используются вращающиеся стержневые источники германия-68. Длительность трансмиссионного сканирования определяется активностью трансмиссионных источников и составляет около 1/3 продолжительности эмиссионного скана. Выполнение коррекции аттенуации является обязательным при использовании количественного или полуколичественного анализа диагностического изображения, проводится автоматически при сопоставлении параметров последнего DQC- и трансмиссионного сканов каждого пациента для каждого положения стола сканера.

Для реконструкции изображения всего тела в настоящее время применяют итерационный алгоритм OSEM [26]. Параметры OSEM (число итераций и подмножеств) подбирают индивидуально для каждого сканера. Все реконструированные аксиальные изображения реориентируются по корональным и сагитальным осям, количество и толщина которых определяются целями диагностики.

Анализ изображения

Для интерпретации ПЭТ-изображения с ^{18}F -ФДГ используются 3 основных метода: визуальная (качественная), полуколичественная и количественная оценки.

Визуальный анализ изображения осуществляется по всем 3 проекциям, направлен на выявление очагов или зон патологического накопления ^{18}F -ФДГ (гипер- или аметаболизма) и основан на сравнении интенсивности накопления препарата в патологическом очаге и окружающих тканях. Недостатком метода является субъективизм в интерпретации данных. Применяется как в качестве самостоятельного способа анализа изображения, так и в комплексе с другими методами, особенно в случаях повторного выполнения ПЭТ для оценки эффективности проведенного лечения [3].

Полуколичественный метод анализа изображения используется для дифференциальной диагностики доброкачественных и злокачественных изменений, а также для оценки эффективности лечения при повторном выполнении ПЭТ. При анализе изображения всего тела наиболее распространенным полуколичественным показателем служит стандартизированное значение на-

Таблица 2. Коэффициенты для расчета эффективных доз облучения пациентов при проведении ПЭТ-исследований ^{18}F -ФДГ

Показатель	Эффективная доза, мЗв/1 МБк
Взрослые	0,019
Дети, возраст, годы:	
15	0,025
10	0,036
5	0,05
1	0,095

копления — SUV. Величина SUV в патологическом очаге отражает интенсивность накопления препарата в выбранной области интереса, зависит от уровня введенной активности и объема, в котором распределена данная активность. Существует несколько методов расчета SUV — в зависимости от массы тела пациента, площади поверхности его тела или от так называемой массы сухого тела (последние 2 метода являются наиболее точными) [27].

На значение SUV существенно влияют такие факторы, как уровень глюкозы в крови при введении ^{18}F -ФДГ, продолжительность накопления препарата от момента его введения до времени сканирования выбранной области интереса, протокол сканирования, алгоритм реконструкции изображения, точность выбора и очерчивания области интереса. Кроме того, уровень SUV зависит от фоновой активности. В связи с этим считается целесообразным подсчет SUV в референтном органе или ткани. Сравнение уровней SUV в референтном органе и патологическом очаге при первичном и последующем сканированиях, а также точное воспроизведение всех вышеперечисленных параметров позволяет корректно оценить динамику SUV в области интереса при оценке эффективности терапии [3].

При выборе области интереса необходимо учитывать: интенсивность накопления препарата, возможность отграничения патологического очага от прилежащих структур, гетерогенность структуры очага. Область интереса для расчета SUV выбирается на аксиальном срезе изображения, для ее выделения используется любой из существующих способов (ручной, автоматический по заданному пороговому значению накопления и т.д.) [28]. Важно, чтобы выбранный метод выделения области интереса применялся стандартно у всех пациентов и точно воспроизводился при последующих исследованиях. Оценке подлежат все значения SUV (максимальное, среднее, минимальное), а также объем области интереса, так как каждый из этих показателей может оказать влияние на определение динамики метаболических изменений в патологическом очаге [29].

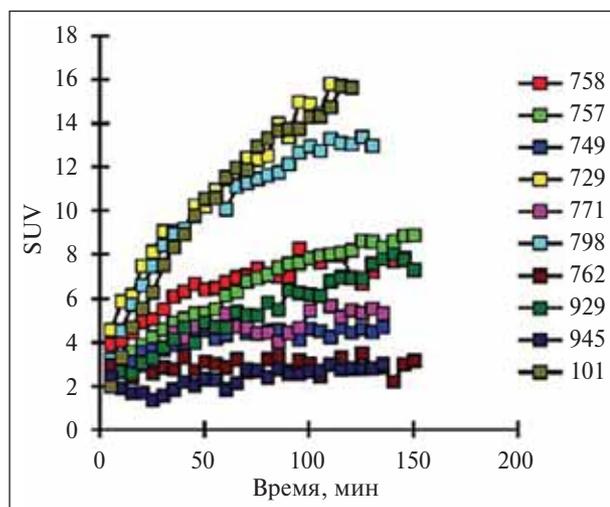
Количественный метод анализа изображения дает возможность получения абсолютных значений концентрации ^{18}F -ФДГ в выбранных областях интереса в определенные моменты времени. Метод требует выполнения ПЭТ в динамическом режиме записи информации, серийного забора образцов артериальной крови, применяется только в научных целях [30].

Результаты исследований с использованием количественного анализа изображения дока-

зали, что накопление препарата в опухоли, ее метастазах и нормальных тканях — это динамические процессы, имеющие пики и плато, наступающие в различные временные промежутки после внутривенного введения ^{18}F -ФДГ [31]. Кинетика накопления ^{18}F -ФДГ зависит от комплекса известных (указанных выше) и неизученных факторов. При исследовании больных с однотипными опухолями оказалось, что время максимального накопления ^{18}F -ФДГ в опухоли (или время появления плато на кривых активность/время) существенно отличалось у различных пациентов. В большинстве случаев оно превышало 60 и 90 мин, т.е. временной интервал, признанный оптимальным для начала сканирования при ПЭТ-исследовании всего тела с ^{18}F -ФДГ. На рисунке отражена зависимость значения SUV от времени, прошедшего после введения ^{18}F -ФДГ [32]. Представленные кривые свидетельствуют о том, что при выполнении исследования через 60—90 мин после введения РФП в большинстве случаев анализируется патологический очаг в момент времени, когда накопление препарата в нем продолжает увеличиваться. Другие исследования показали, что значение SUV может существенно изменяться даже в течение 10—15 мин [21, 22]. Знание этих фактов еще раз подчеркивает необходимость точного повторения первичного протокола ПЭТ у каждого конкретного больного при последующих исследованиях с соблюдением временных интервалов сканирования определенных областей интереса.

Критерии интерпретации изображения

При оценке ПЭТ-изображения должны учитываться следующие моменты: история болезни пациента; проводимое лечение; предпо-



Кривые активность—время, полученные у 10 пациентов с солитарными образованиями легких. В проекции патологических очагов в легких определены значения SUV

лагаемая информативность ПЭТ в конкретной клинической ситуации; протокол сканирования; физиологическое распределения ^{18}F -ФДГ в организме; определение локализации патологических очагов накопления ^{18}F -ФДГ в соответствии с данными методов структурной визуализации; интенсивность накопления ^{18}F -ФДГ в патологических очагах; полуколичественная оценка патологических очагов; корреляция выявленных изменений с клинико-лабораторными данными, результатами других методов диагностики.

Ложноотрицательные результаты могут быть обусловлены: 1) небольшим размером патологического образования (с учетом разрешающей способности сканера) [33]; 2) низким уровнем метаболизма ^{18}F -ФДГ в определенных гистологических типах опухолей [34]; 3) использованием лекарственных средств, снижающих интенсивность накопления ^{18}F -ФДГ в опухоли (кортикостероиды, химиопрепараты); 4) применение препаратов, увеличивающих интенсивность накопления ^{18}F -ФДГ в костном мозге, селезенке (гемостимулирующая терапия); 5) высоким уровнем глюкозы в крови во время исследования [35]; 6) наличием смежных с опухолью областей активного физиологического накопления ^{18}F -ФДГ (бурый жир, желудок, кишечник, лимфоидное кольцо Вальдейера) или посттерапевтических изменений, маскирующих накопление препарата в опухоли (постлучевой фиброз, послеоперационное воспаление) [36].

Ложноположительные результаты могут быть обусловлены: 1) артефактами изображения (преимущественно при анализе изображения без коррекции аттенуации) [37]; 2) особенностями физиологического накопления ^{18}F -ФДГ (в яичниках у женщин репродуктивного возраста, в кишечнике, буром жире, фрагментарное накопление препарата в миокарде, мышцах шейно-надключичных областей, мочеточниках, местах физиологических сужений пищевода); 3) особенностями физиологического накопления препарата у детей (в тимусе, зонах роста в костях) [38]; 4) изменениями, связанными с проводимым лечением (накопление препарата в областях постлучевого фиброза, в кишечнике после ХТ, диффузно повышенное накопление препарата в тимусе после ХТ или в костном мозге и селезенке после гемостимулирующей терапии); 5) наличием сопутствующих инфекционных и воспалительных заболеваний (абсцесс, туберкулез, саркоидоз, активный гранулематоз, тиреоидит) [39].

При планировании проведения ПЭТ необходимо принимать во внимание целый ряд фак-

торов: целесообразность ее выполнения на определенном этапе лечения, вид проведенного лечения и его объем, в случае обследования на этапе лечения — сроки продолжения лечения, гистологический тип опухоли, локализацию опухолевого процесса и его распространенность, наличие клинически манифестированных осложнений лечения, затрудняющих интерпретацию результатов ПЭТ (пневмония, воспалительные изменения в области интереса — постлучевые, послеоперационные) [40].

Общепринятыми являются следующие сроки выполнения ПЭТ: не ранее чем через 2 нед после окончания курса ХТ (с учетом сроков проведения последующего лечения указанный срок целесообразно продлевать до 4 нед) и не ранее чем через 3 мес после завершения ЛТ. После оперативного лечения сроки выполнения ПЭТ зависят от объема хирургического вмешательства (после осуществления полостных операций — не ранее чем через 3 мес) [41, 42].

В заключении врача следует фиксировать всю информацию о выполненном исследовании: 1) вид исследования, дата выполнения, введенный РФП, активность, место введения РФП, лучевая нагрузка, подготовка пациента (введение диуретиков, седативных средств и т.д.), уровень глюкозы перед введением ^{18}F -ФДГ, цель проведения ПЭТ; 2) процедура выполнения ПЭТ (продолжительность накопления РФП, тип сканера, режим сканирования, протяженность сканирования); 3) результаты исследования — анатомическая локализация выявленных изменений, интенсивность накопления в них ^{18}F -ФДГ (при необходимости с указанием значений SUV); 4) сопоставление результатов ПЭТ с данными имеющихся методов диагностики или предшествующими ПЭТ исследованиями; 5) в резюме, по возможности, следует давать четкую интерпретацию доброкачественного или злокачественного генеза выявленных изменений, указывать факторы, которые могут ограничить возможности метода в конкретной клинической ситуации, при необходимости следует рекомендовать проведение дополнительных исследований или динамическое ПЭТ-наблюдение [1].

В настоящее время очевидно, что ПЭТ с ^{18}F -ФДГ играет важную роль в обследовании онкологических больных. В последние годы метод стал широко использоваться для сокращения или интенсификации предварительно запланированного специфического лечения. Стандартизация методики выполнения исследования обеспечивает высокую точность ПЭТ при рутинном использовании.

ЛИТЕРАТУРА

- Bombardieri E., Aktolun C., Baum R.P. et al. FDG-PET procedure guidelines for tumor imaging. *Eur J Nucl Med Mol Imag* 2003;30(12):115–24.
- Stauss J., Franzius C., Pfluger T. et al. Guidelines for ¹⁸F-FDG-PET and PET-CT imaging in paediatric oncology. *Eur J Nucl Med Mol Imag* 2008;35(8):1581–8.
- Shankar L.K., Hoffman J.M., Bacharach S. et al. Consensus recommendations for the use of ¹⁸F-FDG-PET as an indicator of therapeutic response in patients in National Cancer Institute Trials. *J Nucl Med* 2006;47(6):1059–66.
- Delbeke D. Oncological applications of FDG-PET imaging. *J Nucl Med* 1999;40:1706–15.
- Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99), СП 2.6.1.799–99. М.: Минздрав России, 2000.
- Wahl R.L., Henry C.A., Ethier S.P. Serum glucose: effects on tumor and normal tissue accumulation of 2-[F-18]-fluoro-2-deoxy-D-glucose in rodents with mammary carcinoma. *Radiology* 1992;183:643–7.
- Thie J.A., Smith G.T., Hubner K.F. 2-Deoxy-2-[F-18]fluoro-D-glucose-positron emission tomography sensitivity to serum glucose: a survey and diagnostic applications. *Mol Imag Biol* 2005;7:361–8.
- Buringer T. PET instrumentation: what are the limits? *Semin Nucl Med* 1998;28:247–67.
- Patton J.A., Turkington T.G. Coincidence imaging with a dual-head scintillation camera. *J Nucl Med* 1999;40(3):432–41.
- Eil P.J., von Schulthess G.K. PET/CT a new road map. *Eur J Nucl Med Mol Imag* 2002;29:719–20.
- Buchert R., Bohuslavizki K.H., Mester J. et al. Quality assurance in PET: evaluation of the clinical relevance of detector defects. *J Nucl Med* 1999;40:1657–65.
- Fludeoxyglucose (¹⁸F) Injection 01/2002:1325. *Eur Pharmacop* 2002;4:2316–9.
- Margery J., Bonaerdel G., Vaylet F. et al. New dietary guidelines before FDG-PET, or how to simply improve validity. *Rev Pneumol Clin* 2002;58:359.
- Moran J.K., Lee B.K., Blafox M.D. Optimization of urinary FDG excretion during PET imaging. *J Nucl Med* 1999;40:1352–7.
- S'berlund V., Larsson S.A., Jacobsson H. Reduction of FDG uptake in brown adipose tissue in clinical patients by a single dose of propranolol. *Eur J Nucl Med Mol Imag* 2007;34:1018–22.
- Lindholm P., Minn H., Leskinen-Kallio S. et al. Influence of the blood glucose concentration on FDG uptake in cancer — a PET study. *J Nucl Med* 1993;34:1–6.
- Zhao S., Kuge Y., Tsukamoto E. et al. Effects of insulin and glucose loading on FDG uptake in experimental malignant tumours and inflammatory lesions. *Eur J Nucl Med* 2001;28:730–5.
- Нормы радиационной безопасности (НРБ-99), СП 2.6.1.758–99. М.: Минздрав России, 1999.
- ICRP 80 - radiation dose to patients from radiopharmaceuticals. *Annals of the ICRP volume 28/3 (ICRP)*. Elsevier Science, 2000.
- Lartzien C., Comtat C., Kinahan P.E. et al. Optimization of injected dose based on noise equivalent count rates for 2- and 3-dimensional whole body PET. *Nucl Med* 2002;43:1268–78.
- Thie J.A., Hubner K.F., Smith G.T. Optimizing imaging time for improved performance in oncology PET studies. *Mol Imag Biol* 2002;4:238–44.
- Beaulieu S., Kinahan P., Tseng J. et al. SUV varies with time after injection in (18)F-FDG-PET of breast cancer: characterization and method to adjust for time differences. *J Nucl Med* 2003;44:1044–50.
- Bombardieri E., Crippa F. The increasing impact of PET in the diagnostic work-up of cancer patients. *Nucl Med Annual*. Philadelphia: Lippincott, 2002. p. 75–121.
- Бокерия Л.А., Асланиди И.П., Ширяев С.В. и др. Позитронно-эмиссионная томография при раке молочной железы. *Ann хир* 2005;(2):38–43.
- Weber W.A., Ziegler S.I., Thodtmann R. et al. Reproducibility of metabolic measurements in malignant tumors using FDG-PET. *J Nucl Med* 1999;40:1771–7.
- Ramos C.D., Erdi Y., Gonen M. et al. FDG-PET standardized uptake values in normal anatomical structures using iterative reconstruction segmented attenuation correction and filtered backprojection. *Eur J Nucl Med* 2001;28:155–64.
- Sugawara Y., Zasadny K.R., Neuhoff A.W., Wahl R.L. Reevaluation of the standardized uptake value for FDG: variations with body weight and methods for correction. *Radiology* 1999;213:521–5.
- Boellaard R., Krak N.C., Hoekstra O.S., Lammertsma A.A. Effects of noise, image resolution, and ROI definition on the accuracy of standard uptake values: a simulation study. *J Nucl Med* 2004;45:1519–27.
- Stahl A., Ott K., Schwaiger M., Weber W.A. Comparison of different SUV-based methods for monitoring cytotoxic therapy with FDG PET. *Eur J Nucl Med Mol Imag* 2004;31:1471–8.
- Sundaram S.K., Freedman N.M., Carrasquillo J.A. et al. Simplified kinetic analysis of tumor ¹⁸F-FDG uptake: a dynamic approach. *J Nucl Med* 2004;45:1328–33.
- Graham M.M., Peterson L.M., Hayward R.M. Comparison of simplified quantitative analyses of FDG uptake. *Nucl Med Biol* 2000;27:647–55.
- Lowe V.J., Delong D.M., Hoffman J.M., Coleman R.E. Optimum scanning protocol for FDG-PET evaluation of pulmonary malignancy. *J Nucl Med* 1995;36:883–7.
- Chen C.H., Muzie R.F., Nelson A.D. Jr. et al. Simultaneous recovery of size and radioactivity concentration of small spheroids with PET data. *J Nucl Med* 1999;40:118–30.
- Faulhaber P.F., Mehta L., Echt E.A. et al. Perfecting the practice of FDG-PET: Pitfalls and artifacts 149–214. *Nucl Med Annual L.M. Freeman Ed*. Lippincott Philadelphia, 2002.
- Diederichs C.G., Staib L., Glatting G. et al. FDG-PET: elevated plasma glucose reduces both uptake and detection rate of pancreatic malignancies. *J Nucl Med* 1998;39:1030–3.
- Engel H., Steinert H., Buck A. et al. Whole-body PET: physiologic and artifactual fluorodeoxyglucose accumulations. *J Nucl Med* 1996;37:441–6.
- Bleckmann C.B., Dose J., Bohuslavizki K.H. et al. Effect of attenuation correction on lesion detectability in FDG-PET of breast cancer. *J Nucl Med* 1999;40:2021–4.
- Cook G.J., Maisey M.N., Fogelman I. Normal variants, artefacts and interpretative pitfalls in PET imaging with 18-fluoro-2-deoxyglucose and carbon-11 methionine. *Eur J Nucl Med* 1999;26:1363–78.
- Stumpe K.D.M., Dazzi H., Schaffner A. et al. Infection imaging using whole-body FDG-PET. *Eur J Nucl Med* 2000;27:822–32.
- Spaepen K., Stroobants S., Dupont P. et al. ¹⁸F-FDG-PET monitoring of tumour response to chemotherapy: does ¹⁸F-FDG uptake correlated with the viable tumour cell fraction? *Eur J Nucl Med Mol Imag* 2003;30:682–8.
- Castellucci P., Zinzani P., Nanni C. et al. ¹⁸F-FDG-PET early after radiotherapy in lymphoma patients. *Cancer Biother Radiopharm* 2004;19:606–12.
- Avril N.E., Weber W.A. Monitoring response to treatment in patients utilizing PET. *Radiol Clin North Am* 2005;43:189–204.