

Государственное
бюджетное учреждение
здравоохранения «Санкт-
Петербургский клинический
научно-практический
центр специализированных
видов медицинской помощи
(онкологический)

им. Н.П. Напалкова»
(Санкт-Петербург, Россия)

ДВЕНАДЦАТИЛЕТНИЙ ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЗИТРОННОЙ ЭМИССИОННОЙ ТОМОГРАФИИ В КЛИНИЧЕСКОЙ ПРАКТИКЕ (ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ)

Т.В. Кобцова, Е.М. Зыков, Е.Ю. Лысенко

TWELVE YEARS OF USING PET-CT EXPERIENCE IN PRACTICE (ACHIEVEMENTS AND PROSPECTS)

Т.В. Кобцова

Врач-рентгенолог отделения радионуклидной терапии и диагностики
ГБУЗ «СПбКНпЦСВМП(о) им. Н.П. Напалкова»
197758, г. Санкт-Петербург, пос. Песочный, ул. Ленинградская, д. 68а, Лит А.

Е.М. Зыков

Заведующий отделением – врач-радиолог отделения радионуклидной терапии и
диагностики ГБУЗ «СПбКНпЦСВМП(о) им. Н.П. Напалкова»

Е.Ю. Лысенко

Врач-рентгенолог отделения радионуклидной терапии и диагностики
ГБУЗ «СПбКНпЦСВМП(о) им. Н.П. Напалкова»

T.V. Kobtsova

Radiologist. Department of nuclear medicine. St. Petersburg Clinical Scientific and Practical
Center for Specialized Types of Medical Care (oncology) named after N.P. Napalkov,
197758, St. Petersburg, pos. Pesochnyi, Leningradskaya ul., 68A, lit. A

E.M. Zykov

Chief of department nuclear medicine. St. Petersburg Clinical Scientific and Practical Center
for Specialized Types of Medical Care (oncology) named after N.P. Napalkov.

E.Yu. Lysenko

Radiologist. Department of nuclear medicine. St. Petersburg Clinical Scientific and Practical
Center for Specialized Types of Medical Care (oncology) named after N.P. Napalkov.

Изложены результаты двенадцатилетнего опыта использования позитронной эмиссионной компьютерной томографии, совмещенной с компьютерной томографией (ПЭТ/КТ), в условиях крупного онкологического учреждения – ГБУЗ «СПбКНпЦСВМП(о) им. Н.П. Напалкова» (далее – Онкоцентр) для обнаружения опухолей, оценки эффективности проведенного лечения, дифференциальной диагностики, динамического контроля в рамках стабилизации опухолевого процесса. Отмечены возможности и преимущества ПЭТ/КТ с 18 F-фтордезоксиглюкозой у пациентов с наиболее часто встречающимися опухолями (рак молочной железы, рак легкого, лимфома, меланома, рак толстой кишки и др.). Также показана недостаточная информативность данного метода при некоторых других видах опухолей.

Ключевые слова: онкологические заболевания, опухоли, ПЭТ/КТ, метаболическая активность, SUV.

The results of twelve years of experience in using positron emission computed tomography combined with computed tomography (PET/CT) in the conditions of a large oncological institution for the detection of tumors, evaluation of the effectiveness of treatment, differential diagnosis, dynamic control within the framework of stabilization of the tumor process. To note the possibilities and advantages of PET/CT with 18F-fluorodeoxyglucose in patients with the most common tumors such as breast cancer, lung cancer, lymphoma, melanoma, colon cancer etc. Also, to show the low informative value of this method in some other types of tumors.

Key words: oncology disease, tumors, PET/CT, metabolic activity, SUV.

Введение

Как в России, так и в мире в целом отмечается рост опухолевых заболеваний. В 2022 г. в мире было диагностировано в общей сложности 19 976 499 случаев выявленных онкологических заболеваний. По состоянию на 2022 г., по данным отечественных авторов, в России злокачественными новообразованиями страдали 428,4 человек на 100 тыс. населения. По данным же зарубежных авторов этот показатель еще выше – 635,6 больных на 100 тыс. населения. Увеличилось и число онкологических пациентов в возрасте от 20 до 60 лет. Также неуклонно растет показатель первично-множественных злокачественных новообразований: по России в целом это 68,165 заболевших на 100 тыс. населения, в Санкт-Петербурге и Ленинградской области – 34,86 на 100 тыс. населения [1]. Смертность в России от рака составляет 311,7 человек на 100 тыс населения (таким образом, наша страна занимает 37 место в мире).

Эффективность лечения злокачественных опухолей в значительной степени зависит от точной и своевременной диагностики. В поиске первичной опухоли важное диагностическое значение принадлежит позитронно-эмиссионной компьютерной томографии, которая в настоящее время находит самое широкое клиническое применение. К примеру, в клинической практике использование ПЭТ/КТ позволяет получить информацию о метаболизме глюкозы, синтезе и метаболизме нейромедиаторов, жирных аминокислот; перфузии, активности ферментов, уровне гипоксии, экспрессии генов и т.д.

В 1990 г. в Институте мозга человека РАН начал работать первый позитронно-эмиссионный томограф для диагностики головного мозга. В 1995 г. в Российском научном центре радиологии и хирургических технологий (ФГБУ РНЦРХТ МЗ РФ им. академика А.М. Гранова) был установлен первый томограф для исследования всего тела. А в 2012 г. первым в Санкт-Петербурге онкологическим учреждением, где появилась возможность выполнения ПЭТ/КТ, стал Онкоцентр им. Н.П. Напалкова [2, 3].

Целью данной статьи является обобщение коллективного опыта работы ПЭТ/КТ в Онкоцентре, накопленного за 12 лет.

Изучение эффективности использования ПЭТ/КТ в клинической практике

Основы ПЭТ были заложены зарубежными учеными еще в середине 1970-х гг. Метод развивался и внедрялся в клиническую практику медленно и тяжело. Это было связано прежде всего с проблемами технического характера. Первые коммерческие томографы появились лишь к концу 1970-х гг [4]. Они имели небольшое число детекторов, информация собиралась медленно, из-за низкой разрешающей способности отсутствовала возможность отчетливой визуализации

анатомических структур. Однако несмотря на свои многочисленные недостатки, метод сразу же привлек пристальное внимание широкого круга специалистов в области клинической медицины – онкологов, кардиологов, неврологов, хирургов, терапевтов и врачей других специальностей. Ведь первые же результаты исследований показали уникальные возможности ПЭТ/КТ в неинвазивном изучении физиологических и биохимических процессов, происходящих в здоровом и больном организме [5]. Первоначально считалось, что основной областью применения ПЭТ/КТ станет кардиология. Однако сегодня метод нашел наибольшее применение в онкологической клинике. По мере совершенствования техники и синтеза новых эффективных радиофармпрепаратов (РФП) с помощью ПЭТ/КТ удалось получить новые, очень важные данные об изменениях клеточного метаболизма при трансформации здоровой клетки в онкологическую, а также об особенностях биологии и биохимии опухолевого поражения при различных видах рака и реакции опухолевых клеток на терапевтические воздействия. ПЭТ/КТ позволяет в рамках одного исследования всего тела обнаружить первичную злокачественную опухоль и метастазы любой локализации, получить исчерпывающую информацию о распространенности, стадии, особенностях метаболизма, оксигенации, пролиферативной активности и степени злокачественности опухолевого поражения при ряде опухолевых заболеваний. При динамическом контроле с помощью ПЭТ/КТ можно быстро установить чувствительность новообразования к лучевой или лекарственной терапии (то есть понять, каков ответ опухоли на проводимое лечение) и своевременно осуществить необходимую коррекцию. Это дает возможность существенно повысить эффективность лечения злокачественных опухолей и резко снизить число осложнений. Полученные данные позволяют во многих случаях осуществить рестадирование онкологического процесса и изменить тактику лечения. Специальные исследования, проведенные в США, Японии, странах Западной Европы и Австралии, показали, что широкое внедрение ПЭТ в клиническую практику, помимо революционизирующего влияния на диагностический процесс, имеет и важную экономическую составляющую [6].

В частности, отмечено, что в указанных странах вложение 1\$ США в развитие национальной ядерной медицины позволяет сэкономить от 1,5 до 2,5\$ других расходов на здравоохранение. Это объясняется тем, что благодаря повышению эффективности диагностики, выявлению широкого круга заболеваний на более ранних стадиях их развития и своевременному назначению адекватного лечения удается существенно сократить расходы на лекарства, уменьшить продолжительность стационарного и амбулаторного лечения, улучшить прогноз, уменьшить инвалидизацию и сократить смертность при многих онкологических,

сердечно-сосудистых и других заболеваниях. Все перечисленные достоинства ПЭТ, подтвержденные обширным клиническим опытом, накопленным в ведущих ПЭТ-центрах мира, и обусловили бурное развитие ПЭТ в последние годы [7–12]. Достаточно сказать, что если в 2001 г. во всем мире функционировало 140 позитронных эмиссионных томографов, на которых было выполнено 255 тыс. исследований, то в 2004 г. число ПЭТ-установок достигло почти 1500, а исследований – 2,5 млн.

В настоящее время в России в городах с населением более 0,5 млн человек размещено порядка 60 ПЭТ-центров, причем около 10 из них работают на привозных препаратах, т.к. не располагают собственным ускорителем и радиохимической лабораторией синтеза РФП. Это так называемые спутниковые ПЭТ-центры. Следует отметить, что примерно 30 ПЭТ-центров размещены в Московском и Санкт-Петербургском регионах, население которых составляет около 30 млн чел. (включая Московскую и Ленинградскую области). Таким образом, менее 20% населения страны оснащены 1 ПЭТ-центром на 1 млн населения, а в остальных регионах (около 129 млн чел) – всего 1 ПЭТ-центр на 4 млн населения. Сегодня ПЭТ во многом определяет научный и практический уровень развития клинической медицины. Поэтому планируется открытие целого ряда ПЭТ-центров в различных регионах России.

Развитие ПЭТ напрямую связано с синтезом РФП, меченных ультракороткоживущими позитрон-излучающими радионуклидами. На протяжении многих лет основным препаратом клинического применения является фтордезоксиглюкоза, меченная ^{18}F [13]. Многие ПЭТ-центры Европы, Америки и России работают исключительно с этим препаратом. Особенно широкое применение он нашел в онкологической практике. Это объясняется тем, что глюкоза является основным источником энергии для синтеза аминокислот, липидов, нуклеиновых кислот. Поэтому интенсивность фиксации ее в новообразовании отражает пролиферативную активность опухолевых клеток. При этом метаболизм ^{18}F -ФДГ легко оценить количественно, используя ряд показателей, в частности, стандартизированный уровень захвата – Standardized Uptake Value (SUV). Наконец, захват ^{18}F -ФДГ косвенно отражает количество жизнеспособных клеток [14]. Уменьшение его в процессе лечения свидетельствует о метаболическом ответе опухоли на проводимую терапию, что обусловлено гибелью опухолевых клеток. Перечисленные уникальные свойства ^{18}F -ФДГ и обусловили ее популярность.

Однако следует признать, что при выраженной туморотропности этот препарат не обладает высокой специфичностью. В частности, он активно накапливается не только в раковых клетках, но и в очагах воспаления. Для преодоления этого недостатка в последние годы прибегают к двухфазному сканированию.

Установлено, что для большинства злокачественных опухолей характерно увеличение SUV при отсроченном сканировании. В воспалительных же очагах этот показатель не меняется или несколько снижается. Вместе с тем проблема создания высокоспецифичных РФП для различных новообразований остается весьма актуальной. Синтез новых, а также широкое использование уже имеющихся РФП для изучения метаболизма аминокислот, жирных кислот, ДНК, дофамина, маркеров гипоксии, апоптоза, ангиогенеза, пролиферации, атеросклеротических бляшек и др., несомненно, существенно расширит клинические возможности ПЭТ. Важное значение приобретает также создание и внедрение в практику препаратов на основе моноклональных систем и полипептидов, генераторных РФП (рубидий 82, галлий 68, индий 110, медь 62 и др.). При этом широкое применение генераторных РФП позволит использовать ПЭТ в медицинских учреждениях даже в тех случаях, когда размещение циклотронного комплекса в непосредственной близости не представляется возможным. Это существенно упростит организацию исследований и сделает их более доступными. С 2000-х гг. начато использование детектора с 4-миллиметровым кристаллическим элементом из оксиортогосиликата лютеция (LSO). Такая технология позволяет сократить время сканирования, улучшить разрешающие способности и снизить дозу вводимого РФП, а также дозы облучения, повышая производительность прибора и внося свою лепту в экономическое развитие страны.

Опыт применения ПЭТ/КТ в Онкоцентре им. Н.П. Напалкова

В нашем Онкоцентре, начиная с 2012 г. и по настоящее время процедура ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ была выполнена 14 977 пациентам. Исследования проводили в Отделении радионуклидной терапии и диагностики на позитронном эмиссионном томографе Siemens Biograph 6 по стандартному протоколу в статическом или динамическом режиме. В качестве РФП использовалась 2-дезоксид-2-[фтор-18]-фторо-D-глюкоза (^{18}F -ФДГ) – аналог глюкозы, в котором гидроксильная группа замещена фтором 18. Период полураспада фтора 18 равен 110 минутам, что значительно больше, нежели у других изотопов, используемых при ПЭТ/КТ. Для количественного анализа изображений вычисляли стандартизированный показатель захвата ^{18}F -ФДГ – SUV как отношение концентрации радиоактивности РФП в зоне интереса (Бк/г) к введенной активности РФП (Бк), поделенной на массу тела (г).

Рак молочной железы (РМЖ)

В Онкоцентре на выбранном клиническом материале было проведено изучение диагностических возможностей ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ в диагностике РМЖ по критериям чувствительности, специфичности и диагностической точности. Нами были проанализированы

зированы комплексные клиничко-лучевые данные 109 пациенток с объемными образованиями молочных желез. Им выполнялись маммография, УЗИ, МСКТ, МРТ и ПЭТ/КТ. Во всех случаях диагноз был верифицирован гистологически. У 89 пациенток с РМЖ также было выполнено иммуногистохимическое исследование биоптатов и послеоперационного материала с целью изучения рецепторного статуса опухоли (рецепторы эстрогена, прогестерона и HER2/неу-рецепторы). Злокачественные опухоли молочных желез были диагностированы у 98 больных (89,9%), доброкачественные (диффузные формы фиброаденоматоза, фиброаденомы) – у 11 (16,5%). Основную группу составили пациентки с инфильтративно-протоковым РМЖ.

Проведенное ПЭТ/КТ-исследование с 18F-ФДГ показало, что для злокачественных опухолей характерны очаговый гиперметаболизм глюкозы, четкие ровные контуры опухолевого очага, однородное распределение РФП, для доброкачественных опухолей – гипо- или изометаболизм глюкозы, нечеткие неровные контуры очага и диффузное или очагово-неоднородное распределение РФП. В неопухолевых образованиях молочной железы воспалительного характера (абсцессы) очаги гиперфиксации РФП, как правило, имели четкие ровные контуры и однородное распределение РФП. По своим скинтиграфическим признакам очаги гиперфиксации РФП, выявленные при воспалении, достоверно не отличались от очагов, обнаруженных при злокачественных новообразованиях.

Обнаружена прямая корреляционная зависимость между размером опухоли и ее метаболической активностью, выражаемой в значениях SUV: чем больше скинтиграфические размеры опухоли, тем выше уровень метаболизма глюкозы в опухоли (SUV_{max}), т.е. уровень захвата РФП в злокачественном новообразовании при РМЖ отражает стадию заболевания.

Также было проведено сравнительное изучение диагностических возможностей ПЭТ/КТ с 18F-ФДГ и традиционных методов лучевой визуализации (УЗИ, маммография, МСКТ, динамическая контрастная МРТ без контрастного усиления) при выявлении РМЖ. Установлены неоспоримые преимущества ПЭТ/КТ перед другими методами лучевой диагностики. Экспериментально подтверждена оптимизированная методика проведения двухфазного ПЭТ-сканирования для дифференциальной диагностики РМЖ и доброкачественных образований молочной железы со следующими временными интервалами выполнения исследования: не ранее чем через 60 мин и через 160 мин после введения РФП, что позволило повысить специфичность метода до 96,4%. Выполнено сопоставление данных ПЭТ/КТ с 18F-ФДГ и МРТ без контрастного усиления с результатами морфологического исследования в оценке ответа первичного опухолевого очага на проведенное неoadьювантное

лечение у больных РМЖ. Было установлено, что высокий показатель SUV ($\geq 7,02$) в первичном опухолевом очаге РМЖ коррелирует с отсутствием рецепторов к эстрогенам и прогестерону. В тканях опухоли при РМЖ при условии присутствия рецепторов как к эстрогену, так и к прогестерону обнаружен относительно низкий уровень SUV (3,85). Таким образом, ПЭТ/КТ с 18F-ФДГ может использоваться как предиктор иммуногистохимических характеристик опухоли. Следовательно, ПЭТ/КТ с 18F-ФДГ является высокоинформативным методом лучевой визуализации в диагностике и оценке распространенности опухолевого процесса.

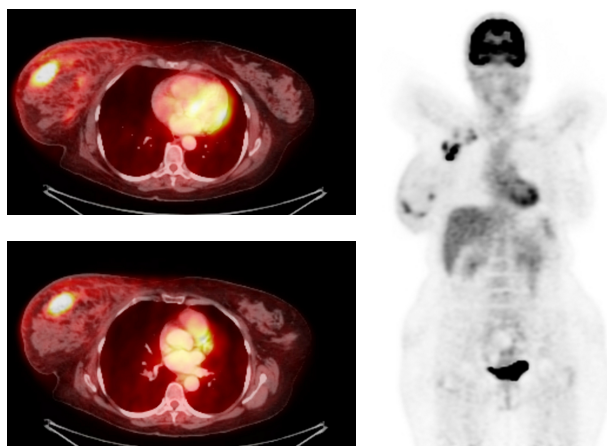


Рис. 1. Протоковый рак правой молочной железы. SUV_{max}=5,6, метастазы в над- и подключичных лимфоузлах. Максимальный SUV=4,2

Рак легкого

Проведен анализ данных ПЭТ/КТ с 18F-ФДГ у 330 больных с различными заболеваниями легких. Распределение больных в зависимости от морфологического диагноза представлено в табл. 1.

Таблица 1.

Распределение больных в зависимости от диагноза (n=330)

Диагноз	Число пациентов
Рак легкого	170
Доброкачественные опухоли	69
Воспалительные заболевания	54

Для дифференциальной диагностики опухолевых и воспалительных заболеваний легких при ПЭТ/КТ с 18F-ФДГ была оценена информативность метода относительно общепринятого порогового критерия SUV $\geq 2,5$: чувствительность составила 91,8%, диагностическая точность – 79,3%, положительное прогностическое значение – 81,9%, отрицательное – 74,3%, а вот специфичность не превысила 52,7%, (p<0,001).

Также оценены показатели специфичности ПЭТ в диапазоне значений SUV от 1,94 до 4,3. В данных

Таблица 2.

Эффективность ПЭТ с 18F-ФДГ в диагностике рака легкого при использовании пороговых значений SUV, рассчитанных в зависимости от размеров очагов

Размер очага, см	Пороговое значение SUV	Чувствительность, %	Специфичность, %	ДТ*, %	ППЗ**, %	ОПЗ***, %
≤2	≥2,9	77,6	74,4	76,2	80,4	71,1
2,1-3,5	≥4,3	75,5	88,6	79,2	94,3	59,1
3,6-5	≥5,25	74,6	85,7	76,5	96,4	40,0
≥5,1	≥8,5	72,7	89,2	78,6	92,3	64,7

*ДТ – диагностическая точность, **ППЗ – положительное прогностическое значение, ***ОПЗ – отрицательное прогностическое значение.

пределах уровня SUV нужно дифференцировать больных с гранулематозом Вегенера, туберкулезом, а также альвеолитами. А у пациентов с пневмосклерозом величины метаболической активности в очаге не превышали общепринятого значения $SUV \geq 2,5$. Таким образом, применение данного уровня выборки эффективно лишь в тех случаях, когда необходимо разграничить рак легкого и пневмосклероз. Для повышения эффективности ПЭТ/КТ с 18F-ФДГ в дифференциальной диагностике заболеваний легких пороговые значения SUV рассчитываются в зависимости от размера очагов.

Приведены показатели диагностической эффективности ПЭТ с 18F-ФДГ в выявлении рака легкого при использовании пороговых значений SUV, рассчитанных в зависимости от скинтиграфических размеров очагов. Из табл. 2 видно, что к снижению чувствительности ПЭТ с 91,8% (при общепринятом $SUV \geq 2,5$) до 72,7% (при $SUV \geq 8,5$) привело распределение данных в зависимости от размера патологических очагов. В это же время повышение минимального значения порогового уровня SUV с 2,5 до 2,9 и выше обеспечило значимое увеличение показателя специфичности: с 52,2% (при общепринятом $SUV \geq 2,5$) до 89,2% (при $SUV \geq 8,5$).

Другим способом повышения дифференциально-диагностических возможностей метода является использование значений SUV в качестве категориальной предикторной переменной. При проведении статистического анализа есть прямая статистическая взаимосвязь между уровнями SUV и частотой выявления онкологической патологии ($r=0,82$, $p<0,001$).

На основании этих данных нами были установлены пороговые уровни SUV, при которых частота диагностики рака легкого была максимальной. По сравнению с группой интервала с незлокачественными процессами проводился анализ рисков выявления онкологической патологии в сформированных группах, в которую вошли больные со значениями $SUV \leq 1,9$ (табл. 3).

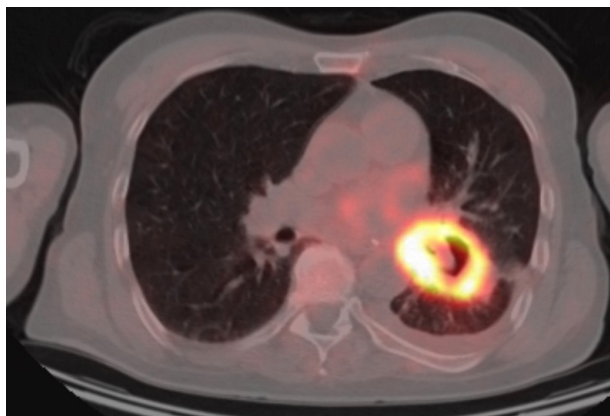


Рис. 2. Полостная форма плоскоклеточного рака легкого. $SUV=7$, необходимо было дифференцировать с туберкулезом

Частота выявления рака легкого при общепринятых пороговых значениях SUV от 2,0 до 2,5, по нашим данным, возрастает в 5 раз по сравнению с группой благоприятного интервала. При пороговом значении $SUV > 7,0$ риск диагностирования злокачественного новообразования увеличивается почти в 142 раза.

Обобщая полученные данные при ПЭТ с 18F-ФДГ, можно сказать, что дифференциальная диагностика

Таблица 3.

Пороговые значения SUV и отношение рисков обнаружения рака легкого по сравнению с группой благоприятного интервала

Интервал пороговых значений SUV	Отношение рисков обнаружения рака легкого по сравнению с группой благоприятного интервала
<1,9	–
2,0–2,5	5,84
2,6–4,3	8,97
4,4–6,2	24,5
>7,0	141,3

рака легкого и большинства воспалительных заболеваний крайне затруднена, если показатели SUV находятся в интервале от 1,94 до 4,3. Применение порогового значения $SUV \geq 2,5$ эффективно лишь в случаях разграничения рака легкого и пневмосклероза. Однако оценка значений SUV при ПЭТ с 18F-ФДГ в зависимости от размера выявленных очагов является одним из способов преодоления дифференциально-диагностических трудностей в разграничении рака легкого и иных воспалительных заболеваний. Использование рассчитанных прогностических значений SUV в повседневной практике позволяет в ряде случаев отказаться от динамического рентгенологического наблюдения за больными, сопряженного с потерей времени и лучевой нагрузкой, а также может служить дополнительным аргументом к проведению инвазивной диагностики.

Злокачественные лимфомы

У больных со злокачественными лимфомами ПЭТ с 18F-ФДГ была выполнена 252 раз. У 141 больного

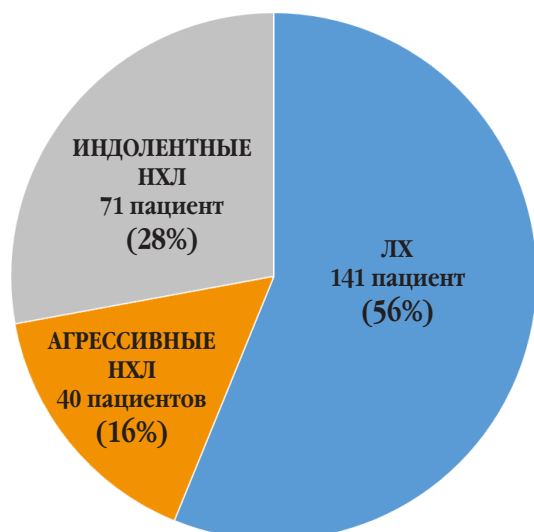


Схема 1

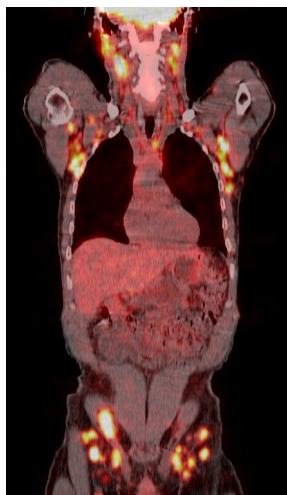


Рис. 3. Лимфома Ходжкина с поражением лимфоузлов выше и ниже диафрагмы и левой подвздошной кости

был установлен диагноз лимфомы Ходжкина (ЛХ), у 111 – неходжкинской лимфомы (НХЛ). При этом группа больных НХЛ состояла из пациентов с агрессивным и индолентным типом заболевания, что составило 71 и 40 человек соответственно.

Очаговая патологическая гиперфиксация РФП, определяемая в областях, не связанных с физиологическим накоплением РФП, свидетельствовала о наличии злокачественного процесса у больных с лимфопролиферативными заболеваниями. У основной части больных ЛХ и НХЛ при ПЭТ исследовании выявлялись множественные очаги патологической гиперфиксации РФП. Некоторые из них сливались между собой с образованием конгломератов повышенного накопления РФП. При этом помимо лимфатической системы (лимфатические узлы, селезенка и тимус) очаговое повышенное накопление РФП отмечалось также и в экстралимфатических органах (легких, печени, костной системе). Отмечается также, что в паренхиме селезенки, помимо очагов патологической гиперфиксации РФП, наблюдалось его диффузно-повышенное накопление. Данный тип накопления РФП расценивался как патологический в том случае, если его уровень превышал уровень накопления РФП в паренхиме печени.

Сканирование всего тела при ПЭТ-исследовании позволяет одновременно оценить как лимфатические, так и экстралимфатические структуры. Это является несомненным преимуществом метода в диагностике и стадировании больных с лимфопролиферативными заболеваниями. Результаты ПЭТ с 18F-ФДГ у обследованной группы больных показали наличие 774 очагов патологической гиперфиксации РФП, локализующихся в различных анатомических областях выше и ниже уровня диафрагмы. При этом 547 очагов (более 70%) совпадали с образованиями, выявленными при рентгеновской КТ. В остальных случаях ($n=227$) результаты ПЭТ не совпадали с данными рентгеновской КТ. При динамическом наблюдении заданной категории больных и повторном их обследовании после полученной терапии было обнаружено, что большая часть патологических очагов или исчезла совсем, или в них значительно снизился уровень метаболической активности. Следовательно, анализ данных базисного и повторного ПЭТ-исследования позволяет сделать выводы о положительных результатах исследования.

Таким образом, установлена высокая информативность ПЭТ с 18F-ФДГ в диагностике и стадировании больных со злокачественными лимфомами – чувствительность 94,9%, специфичность 92,1% и точность 94,1%. Уровень накопления 18F-ФДГ (SUV_{max}) в вышеуказанных патологических очагах обследованных больных колебался от 1,1 до 22,8. Максимальные значения SUV в опухолевых очагах больных ЛХ находились в пределах от 1,7 до 25,6, а его среднее значение составило $9,56 \pm 3,2$. Также высокая метаболическая активность очагов патологической гиперфиксации

РФП отмечалась у больных с агрессивными типами НХЛ. Ее значения колебались в диапазоне от 1,9 до 22,9 и в среднем составили $10,97 \pm 1,0$. В группе больных с индолентными типами НХЛ среднее значение SUVmax было значительно ниже по сравнению с показателями больных ЛХ и агрессивными НХЛ и составило $5,7 \pm 0,9$ ($p=0,003$).

Таким образом, анализ результатов исследования показал, что высокий уровень накопления РФП со значением $SUV_{max} > 10,6$ соответствовал только агрессивным типам НХЛ и ЛХ. С увеличением интенсивности накопления РФП увеличивается вероятность наличия агрессивной лимфомы или трансформации индолентной НХЛ в агрессивный тип. Результаты исследования свидетельствуют о высокой диагностической точности ПЭТ с 18F-ФДГ в диагностике и стадировании больных со злокачественными лимфомами. Уровень метаболической активности опухолевых очагов вполне позволяет дифференцировать агрессивные и индолентные типы злокачественных лимфом.

Почечно-клеточный рак

Существуют виды опухолей, при которых результаты данных ПЭТ/КТ с 18F-ФДГ противоречивы. К таким опухолям относится почечно-клеточный рак (ПКР) и его самый распространенный гистологический подтип – светлоклеточный почечно-клеточный рак (сПКР). В отличие от большинства других злокачественных новообразований, применение ПЭТ/КТ с 18F-ФДГ при первичном стадировании сПКР, по мнению ряда авторов, ограничено из-за физиологического выведения РФП мочевыделительной системой. При этом снижается контрастность между неопластическими очагами и нормальной тканью почек. Однако при рестадировании и выявлении сПКР результаты отдельных исследований указывают на возможность применения ПЭТ/КТ с 18F-ФДГ для оценки общей выживаемости и терапевтического ответа на лечение [15, 16–21].

На данный момент для определения прогноза пациентов с ПКР используется комбинация клинических и лабораторных данных, а использование ПЭТ/КТ может сыграть роль в оценке распространенности опухоли и оценке ответа на системную терапию.

Разные авторы приводят различные показатели чувствительности и специфичности ПЭТ/КТ при проведении исследования у пациентов с ПКР: чувствительность, по их мнению, составляет 47–81%, специфичность – 67–85% [22–24]. В нашей практике пациенты с ПКР попадали на ПЭТ/КТ с уже верифицированным процессом после проведенного лечения – чтобы исключить рецидив и оценить диссеминацию опухоли.

Результаты различных исследований подтверждают высокую чувствительность и специфичность ПЭТ/КТ с 18F-ФДГ для оценки эффективности и планирования терапии ПКР, а также возможность использования результатов исследования в качестве прогностического фактора выживаемости и для оценки вероятности метастазирования при ПКР [25].

Заключение

В качестве вывода необходимо отметить, что ПЭТ является высокотехнологичным методом исследования. Для его успешного применения необходимо содружество широкого круга специалистов: врачей – специалистов по лучевой диагностике, – радиохимиков, радиационных физиков, программистов, математиков, инженеров и техников по эксплуатации оборудования. Очевидно, что успешное применение метода без соответствующих специалистов невозможно. Таким образом, перспективы дальнейшего развития ПЭТ неразрывно связаны с совершенствованием техники и технологии исследований, синтезом и внедрением в практику специфических других высокоинформативных РФП, искусственного интеллекта, а также с подготовкой широкого круга высококвалифицированных специалистов.

Список литературы

1. Состояние онкологической помощи населению России в 2022 году / Под редакцией Каприна А.Д., Старинского В.В., Шахзадовой А.О. – М.: МНИОИ им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, 2022. – илл. – 239 с.
2. Шимчук Г.Г., Брускин А.Б., Шимчук Гр.Г. Возможности и перспективы создания ПЭТ-центров в России на основе генераторных радионуклидов // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2022. – Т. 67, № 6. – С. 62–66.
3. Гранов А.М., Тютин Л.А., Костеников Н.А., Рыжкова Д.В., Глостанова М.С., Балабанова А.А., Станжевский А.А., Панфиленко А.А. Применение позитронной эмиссионной томографии в онкологической клинике // Сибирский онкологический журнал. – 2009. – Приложение № 2. – С. 54–55.
4. Позитронная эмиссионная томография: Руководство для врачей / Под ред. Гранова А.М., Тютина Л.А. – СПб.: Фолиант, 2008.
5. Vallabajosula S. Molecular Imaging. Radiopharmaceuticals for PET and SPECT. – New York: Springer, 2009.
6. Ell P.J. The contribution of PET/CT to improved patient management // Br. J. Radiol. – 2006. – Vol. 79. – P. 32–36.
7. Erlandsson K., Buvat I., Pretorius P.H., et al. A review of partial volume correction techniques for emission tomography and their applications in neurology, cardiology and oncology. Phys. Med. Biol. 2012. – Vol. 57, № 21. – P. R119–159.

8. Greene L.R., George R.F. Radiologist views of positron emission mammography // Radiol. Technol. – 2012. – Vol. 84, № 1. – P. 18–30.
9. Mac Manus M.P., Hicks R.J. The role of positron emission tomography/computed tomography in radiation therapy planning for patients with lung cancer // Semin. Nucl. Med. - 2012. – Vol. 42, № 5. – P. 308–319.
10. Krause B.J., Schwarzenbock S., Souvatzoglou M. FDG PET and PET/CT. Recent. Results // Cancer Res. – 2013. – Vol. 187. – P. 351–369.
11. Gambhir S.S., Czernin J., Schwimmer J., et al. A tabulated summary of the FDG PET literature // J. Nucl. Med. - 2001. – Vol. 42 (Suppl. 5). – P. 1–93.
12. Global cancer data by country. – [Electronic source]. – URL: <https://www.wcrf.org/cancer-trends/global-cancer-data-by-country>. Accessed at: 08.11.24.
13. David W., Townsend I., Jonathan P. J., Carney, Jeffrey T Yap, Nathan C. Hall. PET/CT scan today and tomorrow // Nucl Med. – 2004 Jan. – Vol. 45 Suppl 1. – P. 4S–14S.
14. Lee M.I., Jung Y.J., Kim D.I., Lee S., Jung C.S., Kang S.K., Pak K., Kim S.J., Kim H.Y. Prognostic value of SUVmax in breast cancer and comparative analyses of molecular subtypes: A systematic review and meta-analysis // Medicine (Baltimore). – 2021 Aug 6. – Vol. 100, № 31. – P. e26745.
15. Fletcher J.W., Djulbegovic B., Soares H. et al. Recommendations on the use of 18FFDG PET in oncology. J Nucl Med 2008;49:480–508.
16. Oziülker T., Oziülker F., Ozbek E., Ozpaçacı T. A prospective diagnostic accuracy study of F-18 fluorodeoxyglucose-positron emission tomography/computed tomography in the evaluation of indeterminate renal masses. Nucl Med Commun 2011;32(4):265–72.
17. Karivedu V., Jain A.L., Eluwathingal T.J., Sidana A. Role of positron emission tomography imaging in metabolically active renal cell carcinoma. Curr Urol Rep 2019;20(10):56. DOI: 10.1007/s11934-019-0932-2.
18. Tabei T., Nakaigawa N., Kaneta T. et al. Early assessment with 18F-2-fluoro-2- deoxyglucose positron emission tomography/ computed tomography to predict shortterm outcome in clear cell renal carcinoma treated with nivolumab. BMC Cancer 2019;19(1):298. DOI: 10.1186/s12885-019-5510-y.
19. Nakaigawa N., Kondo K., Kaneta T. et al. FDG PET/CT after first molecular targeted therapy predicts survival of patients with renal cell carcinoma. Cancer Chemother Pharmacol 2018;81(4):739–44. DOI: 10.1007/s00280-018-3542-7.
20. Kayani I., Avril N., Bomanji J. et al. Sequential FDG-PET/CT as a biomarker of response to sunitinib in metastatic clear cell renal cancer. Clin Cancer Res 2011;17(18):6021–8. DOI: 10.1158/1078-0432.CCR-10-3309.
21. Elabmadawy M.A., Elazab M.S.S., Ahmed S., Salama M. Diagnostic value of F-18 FDG PET/CT for local and distant disease relapse surveillance in surgically treated RCC patients: can it aid in establishing consensus follow up strategy? Nucl Med Rev Cent Eur 2018;21(2):85–91. DOI: 10.5603/NMR.2018.0024.
22. Chen J.L., Appelbaum D.E., Kochberginsky M. et al. FDG-PET as a predictive biomarker for therapy with everolimus in metastatic renal cell cancer. Cancer Med 2013;2(4):545–52. DOI: 10.1002/cam4.102.
23. Takabashi M., Kume H., Koyama K. et al. Preoperative evaluation of renal cell carcinoma by using 18F-FDG PET/CT. Clin Nucl Med 2015;40(12):936–40. DOI: 10.1097/RLU.0000000000000875.
24. Nakajima R., Nozaki S., Kondo T. et al. Evaluation of renal cell carcinoma histological subtype and fuhrman grade using 18F-fluorodeoxyglucose-positron emission tomography/computed tomography. Eur Radiol 2017;27(11):4866–73. DOI: 10.1007/s00330-017-4875-z.
25. Ильяков В.С., Пронин А.И., Михайлов А.И. и др. Возможности позитронной эмиссионной томографии, совмещенной с компьютерной томографией, с 18F-ФДГ в диагностике почечно-клеточного рака. Онкоурология. – 2020. – Т. 16, №4. – С. 160–169.

References

1. [Edd. by Kaprin A.D, Starinsky V.V., Shakhzadova A.O. The state of oncological care for the population of Russia in 2022, Moscow 2023 (In Russ)].
2. [Shimchuk G.G., Bruskin A.B., Shimchuk Gr.G. Opportunities and Prospects for Russia to Create PET Centers Based on Generator Radionuclides. Medical Radiology and Radiation Safety. 2022; 67(6): 62-66. (In Russ)]. Doi:10.33266/1024-6177-2022-67-6-62-66/
3. [Granov A.M., Tyutin L.A., Tlostanova M.S., et al. The application of positron emission tomography at oncolgy clinic. Sibirskiy onkologicheskii zhurnal. 2009; Suppl. № 2: 563-573 (In Russ)].
4. [Eds Granov A.M., Tyutin L.A. Positron emission tomography: a guide for physicians; SPb.: Foliant, 2008 (In Russ)].
5. Vallabhajosula S. Molecular Imaging. Radiopharmaceuticals for PET and SPECT. New York: Springer. 2009. Doi:10.1007/978-3-540-76735-0.
6. Ell P.J. The contribution of PET/CT to improved patient management. Br. J. Radiol. 2006; 79: 32–36. Doi:10.1259/bjr/18454286.
7. Erlandsson K., Buwat I., Pretorius P.H., et al. A review of partial volume correction techniques for emission tomography and their applications in neurology, cardiology and oncology. Phys. Med. Biol. 2012; 57 (21): R119–159. Doi:10.1088/0031-9155/57/21/R119.
8. Greene L.R., George R.F. Radiologist views of positron emission mammography. Radiol. Technol. 2012; 84(1): 18–30.