

Роль позитронной эмиссионной томографии, совмещенной с компьютерной томографией, с ^{18}F -фтордезоксиглюкозой в диагностике сарком мягких тканей

Е.С. Королева¹, А.И. Пронин¹, А.И. Михайлов², А.А. Оджарова¹, Е.А. Сушенцов¹, Б.Ю. Бохян¹, А.С. Крылов¹

¹ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр онкологии им. Н.Н. Блохина» Минздрава России; Россия, 115522 Москва, Каширское шоссе, 24;

²ГБУЗ «Городская клиническая больница им. С.П. Боткина» Минздрава России; Россия, 125284 Москва, 2-й Боткинский проезд, 5

Контакты: Елена Сергеевна Королева len.kor2020@mail.ru

Саркомы мягких тканей – это редкие гетерогенные злокачественные новообразования, представляющие сложность в диагностике, лечении и последующем наблюдении. Правильное диагностическое планирование позволяет своевременно принять решение о дальнейшей тактике ведения каждого пациента. Позитронная эмиссионная томография, совмещенная с компьютерной томографией, с биологическим аналогом глюкозы ^{18}F -фтордезоксиглюкозой представляет собой инструмент визуализации, измеряющий метаболическую активность опухоли, и широко используется в клинической практике для оценки первичной опухолевой ткани, стадирования, контроля эффективности лечения и как метод раннего выявления рецидивов. Данный обзор литературы посвящен анализу результативности применения позитронной эмиссионной томографии, совмещенной с компьютерной томографией, на разных этапах диагностического контроля пациентов с саркомами мягких тканей.

Ключевые слова: позитронная эмиссионная томография, совмещенная с компьютерной томографией, саркомы мягких тканей, ^{18}F -фтордезоксиглюкоза

Для цитирования: Королева Е.С., Пронин А.И., Михайлов А.И. и др. Роль позитронной эмиссионной томографии, совмещенной с компьютерной томографией, с ^{18}F -фтордезоксиглюкозой в диагностике сарком мягких тканей. Саркомы костей, мягких тканей и опухоли кожи 2022;14(4):63–70. DOI: 10.17650/2782-3687-2022-14-4-63-70

THE ROLE OF POSITRON EMISSION TOMOGRAPHY COMBINED WITH COMPUTED TOMOGRAPHY WITH ^{18}F -FLUORODEOXYGLUCOSE IN THE DIAGNOSIS OF SOFT TISSUE SARCOMAS

E.S. Koroleva¹, A.I. Pronin¹, A.I. Mikhailov², A.A. Odzharova¹, E.A. Sushentsov¹, B.Y. Bokhyan¹, A.S. Krylov¹

¹N.N. Blokhin National Medical Research Center of Oncology, Ministry of Health of Russia; 24 Kashirskoe Shosse, Moscow 115522, Russia;

²S.P. Botkin City Clinical Hospital of the Ministry of Health of Russia; 5 2nd Botkinskij proezd, Moscow 125284, Russia

Contacts: Elena Sergeevna Koroleva len.kor2020@mail.ru

Soft tissue sarcoma are here, heterogeneous malignant neoplasms that present difficulties in diagnosis, treatment and follow-up. High-quality diagnostic planning allows timely decision-making on further tactics of patient management in a particular case. Positron emission tomography with a biological analogue of glucose – ^{18}F -fluorodeoxyglucose, combined with computed tomography, is an imaging tool that measures the metabolic activity of a tumor and is increasingly used in clinical practice to assess primary tumor tissue, staging, monitoring the effectiveness of treatment and as a method of early detection of relapses. This literature review is aimed at evaluating the usefulness of positron emission tomography combined with computed tomography at different stages of diagnostic control in patients with soft tissue sarcomas.

Keywords: positron emission tomography combined with computed tomography, soft tissue sarcomas, ^{18}F -fluorodeoxyglucose

For citation: Koroleva E.S., Pronin A.I., Mikhailov A.I. et al. The role of positron emission tomography combined with computed tomography with ^{18}F -fluorodeoxyglucose in the diagnosis of soft tissue sarcomas. Sarkomy kostej, myagkikh tkanej i opukholi kozhi = Bone and soft tissue sarcomas, tumors of the skin 2022;14(4):63–70. (In Russ.). DOI: 10.17650/2782-3687-2022-14-4-63-70

Введение

Саркомы мягких тканей (СМТ) — это редкая народная группа опухолей внескелетной соединительной ткани человека, опухоли связок, сухожилий, мышц и жировой ткани, происходящие преимущественно из примитивной мезодермы. По статистическим данным эпидемиологического надзора SEER (Surveillance, Epidemiology and End Results), опухоли мягких тканей (ОМТ) составляют около 0,7 % всех онкологических заболеваний [1]. Распространенность СМТ в России за 2021 г. составила 22,4 % случаев на 100 тыс. населения. Показатель летальности в течение года с момента установки диагноза достиг 19,8 % (в данные статистического анализа были включены: злокачественные новообразования периферических нервов и вегетативной нервной системы, а также соединительной и мягких тканей) [2].

К наиболее часто встречающемуся типу сарком относится лейомиосаркома: она составляет 23 % всех СМТ. Заболеваемость ОМТ увеличивается с возрастом и достигает пика на 6-м десятилетии жизни. Некоторые гистологические типы СМТ, такие как эмбриональная рабдомиосаркома и альвеолярная рабдомиосаркома, отмечаются преимущественно у детей. Наблюдается тенденция к снижению заболеваемости в более зрелом возрасте [3]. Наиболее часто (59 % случаев) ОМТ локализуются в конечностях, в 19 % случаев — в туловище. Реже встречаются ретроперитонеальные, интраперитонеальные образования (15 % случаев) и СМТ области головы и шеи (7 % случаев) [4].

По биологическим и клиническим особенностям помимо групп доброкачественных и злокачественных СМТ дополнительно выделяют промежуточную группу опухолей, в которую входят местно-агрессивные ОМТ, характеризующиеся местными рецидивами

без признаков метастазирования, и редко метастазирующие ОМТ (до 2 % случаев), дающие отдаленные метастазы в регионарные лимфатические узлы (ЛУ) и легкие. В зависимости от гистологического типа и степени пролиферативной активности злокачественные СМТ обладают высоким риском отдаленного метастазирования (20–100 % случаев) и агрессивным местным ростом [5].

При определении стадии СМТ учитывают степень злокачественности опухоли. Система стадирования ОМТ Американского объединенного комитета по раку (American Joint Committee on Cancer, AJCC) 8-го издания и Национальной федерации центров по борьбе с саркомами (Federation Nationale des Center de Lutte Contre le Cancer Sarcoma Group, FNCLCC) предлагает использовать для оценки степени злокачественности балльные критерии, включающие степень дифференцировки, митотическую активность и количество некрозов в опухолевой ткани [6]. В дополнение к общепринятым критериям FNCLCC Национальный онкологический институт рака США (National Cancer Institute, NCI) рекомендует учитывать количество клеток в поле зрения и полиморфизм в клетках опухоли [7] (см. таблицу). Степень злокачественности опухолевой ткани оценивается в баллах: 2–3 балла соответствуют G_1 , 4–5 баллов — G_2 , 6–8 баллов — G_3 .

Прогностически благоприятными являются высокодифференцированные опухоли с митотическим индексом <10 и отсутствием спонтанных некрозов (соответствует G_1). Общая 5-летняя выживаемость в этих случаях составляет 83 %. У пациентов с неблагоприятным прогнозом при высокой степени атипии клеток, митотическом индексе >10 и наличии спонтанных некрозов (соответствует G_{2-3}) общая 5-летняя выживаемость не превышает 31 % [8].

Определение степени злокачественности сарком мягких тканей
Determination of soft tissue sarcoma malignancy grade

Баллы Score	Степень дифференцировки опухоли Tumor differentiation grade	Количество митозов (в 10 полях зрения при большом увеличении), n Number of mitoses (in 10 fields of view with high magnification), n	Количество некрозов (в гистологических срезах), % Number of necroses (in histological sections), %
1	Саркомы, схожие с нормальной зрелой мезенхимальной тканью Sarcomas similar to normal mature mesenchymal tissue	0–9	Нет некрозов No necroses
2	Саркомы с точно определенным гистологическим типом Sarcomas of certain histological type	10–19	Менее 50 Less than 50
3	Недифференцированные, эмбриональные саркомы и саркомы сомнительного типа Poorly differentiated, embryonal sarcomas and sarcomas of uncertain type	Более 20 More than 20	Более 50 More than 50

Трудности в диагностике СМТ обусловлены большим числом гистологических форм, различным клиническим течением заболевания и вариабельностью локализации опухоли.

Диагностика сарком мягких тканей

Основными целями диагностического алгоритма на этапе планирования лечения являются оценка размеров первичной опухоли, расположения, отношения к окружающим структурам, однородности образования, а также определение возможности радикального хирургического лечения и выявление регионарного и отдаленного метастазирования.

В последующем с помощью неинвазивных диагностических методов можно оценить эффективность терапевтического лечения и дифференцировать жизнеспособную опухолевую ткань от рубцовой после хирургического вмешательства и лучевой терапии. Важно, чтобы при подозрении на СМТ ОМТ были направлены на первоначальное ультразвуковое сканирование в специализированные центры [9]. Ультразвуковое исследование на основе комбинации ультразвуковых методик позволяет дифференцировать доброкачественное образование с точностью 80–90 % и агрессивные поражения с чувствительностью и специфичностью 84 % [10].

Высокоэффективным методом в диагностике первичной ОМТ является магнитно-резонансная томография (МРТ). Она служит методом выбора для оценки объемных образований мягких тканей из-за высокой мягкотканной контрастности и играет большую роль в дооперационной и послеоперационной оценках ОМТ [11].

Компьютерная томография (КТ) для исследования первичной опухоли используется редко, в основном для навигации при проведении биопсии глубоко расположенных опухолей и выявления инвазии в кости. При этом оценивают признаки периостальной и эндостальной реакций или разрушения кортикального слоя. При подозрении на отдаленное метастазирование в легкие наиболее информативна динамическая визуализация — КТ органов грудной клетки (КТ ОГК) [11]. В протоколах наблюдения пациентов с установленным диагнозом СМТ любой степени злокачественности КТ ОГК проводится непосредственно при постановке диагноза, через 3–4 мес, 6 и 12 мес при динамическом наблюдении [12].

В настоящее время одним из важнейших диагностических инструментов, используемых для обнаружения опухоли, оценки стадирования опухолевого процесса, эффективности терапии и прогноза общей выживаемости, является позитронная эмиссионная компьютерная томография, совмещенная с компьютерной томографией (ПЭТ-КТ). Около 95 % ПЭТ-КТ проводится с биологическим аналогом глюкозы ^{18}F -фтордезоксиглюкозой (^{18}F -ФДГ). Позитронная

эмиссионная компьютерная томография, совмещенная с КТ, с ^{18}F -ФДГ — метод молекулярной визуализации, широко применяемый для неинвазивной количественной оценки гликолитического метаболизма опухолей in vivo [13]. Важным параметром ПЭТ-КТ является максимальная стандартизированная величина поглощения (standardized uptake value, SUV_{max}), отражающая отношение концентрации активности радиофармацевтического лекарственного препарата (РФЛП) в опухолевой ткани к концентрации его активности во всем организме [14]. Появляется все больше исследований о возможности использования ПЭТ-КТ с ^{18}F -ФДГ для диагностики и оценки ОМТ [15, 16].

Роль позитронной эмиссионной томографии, совмещенной с компьютерной томографией, в оценке первичной саркомы мягких тканей

Существуют более 70 разнообразных подтипов СМТ, кроме того, многие поражения имеют неспецифические морфологические особенности, поэтому определение различий между доброкачественными и злокачественными образованиями с использованием стандартных методов визуализации является сложной задачей и нередко приводит к неправильной интерпретации результатов [17]. Оценка метаболических показателей первичной опухоли с помощью ПЭТ-КТ до лечения помогает косвенно судить о злокачественности опухоли с чувствительностью 96 %, специфичностью 77 % и точностью 88 % [18]. В метаанализе М.Н. Younis было показано, что доброкачественные образования мягких тканей имели средний показатель SUV_{max} 2,52, тогда как злокачественные образования характеризовались средним уровнем SUV_{max} 6,81 [15].

В ретроспективном исследовании R.E. Macpherson и соавт., включающем пациентов с различными гистологическими подтипами СМТ, высокозлокачественные опухоли (G_2 и G_3) также коррелировали с высоким уровнем $\text{SUV}_{\text{max}} > 5,00$ [19]. Это согласуется с результатами исследования R. Rakheja и соавт., согласно которым корреляция между значением SUV_{max} и степенью агрессивности опухоли составила при G_1 3,0; при G_2 — 5,2 и при G_3 — 10,0 [20]. В большинстве случаев высокозлокачественные опухоли были более метаболически активны, чем низкоккачественные и доброкачественные. При этом для надежной идентификации степени злокачественности СМТ ПЭТ-КТ с ^{18}F -ФДГ не может быть рекомендована из-за широкого диапазона предлагаемых пороговых значений SUV_{max} . Также с помощью данного метода сложно дифференцировать низкоккачественные и доброкачественные опухоли. Ложноотрицательные результаты низкоккачественных сарком обусловлены невысокой скоростью их метаболизма, тогда как ложноположительные результаты доброкачественных новообразований зачастую связаны с наличием сопутствующего воспаления [21].

Точный гистологический диагноз дает тщательно спланированная прицельная биопсия. Ее гистологическая точность составляет 80 %, но в 15–20 % случаев возникает необходимость в проведении повторного исследования. Из-за гетерогенности состава большинства разновидностей ОМТ существует риск ошибочного отбора проб [18, 22]. Неправильный выбор зоны биопсии, когда образец берется не из злокачественного участка опухолевого узла, может занижать степень агрессивности опухоли [23]. Как говорилось ранее, при определении степени агрессивности новообразования необходимо учитывать количество митозов в опухолевом узле [7]. Зоны с повышенной митотической активностью в опухолевой ткани коррелируют с высоким значением SUV_{max} [20]. S.F. Hain и соавт. отмечают целесообразность проведения прицельной биопсии из участков опухолевого узла с высокой метаболической активностью [24]. Следует отметить, что исследования в области планирования прицельной биопсии с помощью ПЭТ-КТ с ^{18}F -ФДГ ограничены единичными ретроспективными отчетами.

Роль позитронной эмиссионной томографии, совмещенной с компьютерной томографией, в оценке регионарного и отдаленного метастазирования саркомы мягких тканей

При достоверно диагностированном злокачественном новообразовании для определения дальнейшей тактики ведения пациента необходимо выявить наличие регионарного и отдаленного метастазирования на этапе первичного стадирования. В 12 % случаев по данным ПЭТ-КТ с ^{18}F -ФДГ стадия заболевания оказывается больше, что связано в основном с обнаружением метастазов в костях, мышцах и висцеральных органах. Чувствительность этого метода при выявлении экстраторакальных метастазов составляет 96 %, тогда как чувствительность КТ и МРТ — 54 % [20, 25]. В исследовании A. Annovazzi в ходе ПЭТ-КТ выявлены метастазы в костях. Чувствительность, специфичность и точность этого метода составили 100 %, тогда как чувствительность, специфичность и точность КТ — 69, 94 и 66 % соответственно [26]. Наиболее часто (в 75–80 % случаев) СМТ метастазирует гематогенным путем в легкие [27]. Использование ПЭТ-КТ для выявления отдаленных метастазов в легких не имеет преимуществ по сравнению с КТ ОГК. Ретроспективный анализ D. Roberge и соавт. показал, что метастазы СМТ в легких в 98 % случаев характеризуются повышенным накоплением ^{18}F -ФДГ, но в рутинной практике ПЭТ-КТ не превосходит КТ ОГК и не меняет подхода к лечению, поскольку очаги поражения <5 мм в большинстве случаев не накапливают ^{18}F -ФДГ [28]. В исследовании T. Nagi и соавт. чувствительность и специфичность ПЭТ-КТ при выявлении легочных метастазов размером <5 мм составили 13 и 38 % соответственно, при выявлении легочных узелков >5 мм — 95 и 94 % соответственно [29].

Поражение ЛУ встречается крайне редко (в среднем в 1,6–12 % случаев). Частота метастазирования в ЛУ различна и зависит от гистологии опухоли. Высокий процент поражения ЛУ наблюдается у пациентов с мелкоклеточной, светлоклеточной и эпителиоидной саркомой [30]. Позитронная эмиссионная томография, совмещенная с КТ, с ^{18}F -ФДГ имеет преимущество: с ее помощью можно выявить вторично пораженные ЛУ (несмотря на их неизменные размеры и структуру) с чувствительностью 96 %, специфичностью 50 % и точностью 82 %, тогда как чувствительность, специфичность и точность КТ составляют 56, 10 и 42 % соответственно [26]. В исследовании H.M. Fuglo и соавт. сообщается о высоком показателе ложноположительных результатов в выявлении регионарных метастазов (положительная прогностическая ценность — 27 %), что отражается в активном захвате РФЛП воспалительно-реактивными ЛУ, при этом прогностическая ценность отрицательных результатов составляет 100 % [25].

Использование ПЭТ-КТ для оценки первичного стадирования может быть оправдано при подозрении на регионарное и внелегочное отдаленное метастазирование, но при метастатическом поражении легких «золотым стандартом» остается динамическое наблюдение с помощью КТ ОГК.

Роль позитронной эмиссионной томографии, совмещенной с компьютерной томографией, в оценке ответа опухоли на неоадьювантную химиотерапию

При доказанной метастатической болезни или больших размерах первичного новообразования показана химиотерапия (ХТ). Ее применение на предоперационном этапе — неоадьювантная ХТ — дает явные преимущества в лечении таких пациентов. Гистопатологический ответ на химиотерапевтическое лечение коррелирует с низкой частотой местных рецидивов и более высокими показателями общей выживаемости [31]. Своевременная оценка эффективности неоадьювантной ХТ является ключевым моментом для выбора дальнейшей тактики ведения пациентов. Несколько исследований показали, что изменение размеров опухоли слабо коррелирует с посттерапевтическим опухолевым ответом. Критерии оценки ответа солидных опухолей на лечение (Response Evaluation Criteria In Solid Tumours 1.1, RECIST 1.1) не учитывают кистозных изменений и кровотечения в опухолевой ткани, которые могут привести к увеличению размеров образования даже в случае истинного гистопатологического ответа на терапию [32, 33].

Динамическое МР-исследование с контрастированием в зависимости от скорости накопления и выведения контрастного вещества (кривые накопления/выведения) позволяет судить о наличии жизнеспособной опухолевой ткани после проведенного неоадьювантного

лечения [34]. Также определить эффект терапии и спланировать последующую тактику ведения пациента можно, проанализировав изменение метаболической активности в опухолевой ткани в процессе предоперационного лечения или после его завершения. M.R. Benz и соавт. провели проспективное исследование 56 пациентов с СМТ и пришли к выводу, что снижение SUV_{max} после 1 цикла неoadъювантной ХТ более чем на 35 % от исходного уровня может быть критерием раннего метаболического ответа с чувствительностью и специфичностью 100 и 67 % соответственно [35]. В другом исследовании была выявлена корреляция между исходным значением SUV_{max} и значением SUV_{max} после 3 циклов неoadъювантной ХТ. У пациентов со снижением гликолитической активности в опухолевой ткани (более чем на 40 % от первоначальных значений SUV_{max}) риск рецидива заболевания после комплексного лечения был ниже, чем у пациентов со снижением поглощения ^{18}F -ФДГ менее чем на 40 % [36]. В исследовании V. Evilevitch и соавт. уменьшение SUV_{max} после завершения терапии более чем на 60 % от исходного уровня считалось критерием гистопатологического ответа опухоли на неoadъювантное лечение. На основе данных ПЭТ/КТ можно более точно оценить ответ опухолевой ткани на лечение, чем при использовании критериев, основанных на изменении размеров опухоли (RECIST 1.1) [37]. Сравнение метаболической активности в опухолевой ткани на любом этапе предоперационной терапии может указывать на гистопатологический ответ, тем самым предоставляя возможность раннего определения группы пациентов, не ответивших на неoadъювантную ХТ, для своевременного изменения плана лечения.

Роль позитронной эмиссионной томографии, совмещенной с компьютерной томографией, в оценке местных рецидивов сарком мягких тканей

Частота выявления местных рецидивов СМТ варьирует от 6 до 25 % [38]. К гистологическим подтипам с повышенным риском возникновения локорегионарного рецидива относят ангиосаркому, лейомиосаркому и недифференцированную плеоморфную саркому [39]. Оценка местного статуса с помощью стандартных методов визуализации затруднена по причине наличия постоперационных/постлучевых изменений, которые достоверно неотличимы от рецидивирующей или остаточной опухолевой ткани. Визуальная и метаболическая оценки изображений ПЭТ-КТ с ^{18}F -ФДГ могут предоставить более полную информацию о состоянии рубцовых изменений [23]. В частности, в исследовании E. Pipeřkova ПЭТ-КТ показаны более высокие чувствительность (100 %) и специфичность (96 %) в выявлении местного рецидива по сравнению с КТ (чувствительность 97 %, специфичность 63 %) [40].

В исследовании A. Annovazzi с помощью ПЭТ-КТ с ^{18}F -ФДГ были выявлены 79 из 88 локорегионарных рецидивов заболевания и исключен местный рецидив у 19 из 25 пациентов, что было подтверждено морфологическим исследованием [26]. Однако ограничением данного метода является высокий показатель ложноположительных результатов, что обусловлено посттерапевтическим воспалением. Таким образом, при положительных результатах ПЭТ-КТ рекомендуется дальнейшее обследование пациента с включением в диагностический план прицельной биопсии [41].

Роль позитронной эмиссионной томографии, совмещенной с компьютерной томографией, в оценке общей и безрецидивной выживаемости пациентов с саркомами мягких тканей

Медиана общей выживаемости пациентов с метастатическими СМТ составляет в среднем 12 мес [42]. Большое внимание в настоящее время уделяют прогностическим факторам, влияющим на прогноз общей и безрецидивной выживаемости больных с мягкоткаными опухолями, главными из которых являются гистологический тип и подтип СМТ, локализация и размер опухоли, наличие регионарного, отдаленного метастазирования, локальных рецидивов и состояние края резекции. В нескольких работах было показано, что по результатам ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ можно прогнозировать выживаемость пациентов с СМТ. Вероятно, это связано с тем, что высокоагрессивные опухоли наиболее активно накапливают РФЛП, а это, в свою очередь, является прогностически значимым фактором [31]. В наблюдении H.M. Fuglø и соавт. общая 5-летняя выживаемость пациентов с $SUV_{max} > 10,00$ составила 33 %, с $SUV_{max} < 10,00$ — 81 % [25]. В отличие от SUV_{max} такие полуколичественные показатели гликолитической активности, как метаболический объем опухоли (metabolik tumor volume, MTV) и общий гликолиз опухоли (total lesion glycolysis, TLG), основаны на метаболизме всего объема опухолевого узла, могут более точно отображать состояние мягкотканного образования и, следовательно, являться дополнительными факторами, влияющими на выживаемость [43]. Ретроспективное исследование E.S. Choi и соавт. показало, что TLG с пороговым значением отсечки фона 250,0 является независимым и вторым по важности прогностическим фактором прогрессирования заболевания после наличия метастазов при постановке диагноза, при этом SUV_{max} и MTV не имели прогностической значимости [44]. Согласно данным S. Hong и соавт., значения объемных параметров первичной опухолевой ткани не являются предикторами выживаемости, возможно, из-за того, что в данное исследование вошли 87 % пациентов с некрозом опухоли. Выше было сказано, что обширный некроз в опухолевой ткани является признаком наиболее злокачественного течения заболевания

и предиктором низкой выживаемости пациентов с СМТ. В данном исследовании некроз опухоли привел к центральному гипометаболизму, что, возможно, снизило значения MTV и TLG [45]. Это не согласуется с данными K.J. Chang и соавт., согласно которым объемные полуколичественные показатели ПЭТ-КТ с ^{18}F -ФДГ, выполненной до лечения, коррелировали с общей выживаемостью пациентов. Значения $\text{SUV}_{\text{max}} < 6$, $\text{TLG} < 691,7$ и $\text{MTV} < 166,2 \text{ см}^3$ в первичной опухолевой ткани были связаны с большей продолжительностью жизни [46]. Следует отметить, что необходимы дальнейшие исследования корреляции между объемными полуколичественными показателями ПЭТ-КТ и прогнозом выживаемости у пациентов с СМТ.

Заключение

Данные о метаболической активности опухолевой ткани, полученные с помощью ПЭТ-КТ с ^{18}F -ФДГ, включающие SUV_{max} , MTV и TLG, дают информацию о степени злокачественности опухоли, ее ответа на неoadъювантную ХТ, позволяют определить прогноз

общей выживаемости пациентов с СМТ и выявить больных с повышенным риском развития рецидивов и отдаленного метастазирования, которым необходимы более агрессивное лечение и тщательное наблюдение. Позитронная эмиссионная томография, совмещенная с КТ, очень полезна при первичном стадировании при СМТ с высокой вероятностью метастазирования в кости и забрюшинное пространство, а также при саркомах с большим риском поражения ЛУ. Высокий уровень поглощения ^{18}F -ФДГ указывает на наиболее активный, т. е. наиболее злокачественный, участок опухолевой ткани, который лучше всего подходит для биопсии. Что касается динамического наблюдения на постоперационном этапе, повышенное значение SUV_{max} в рубцовой ткани может свидетельствовать о местном рецидиве заболевания. Тем не менее для определения клинической ценности ПЭТ-КТ с ^{18}F -ФДГ при конкретном подтипе СМТ и необходимости использования гибридного метода визуализации в диагностическом плане у пациентов с ОМТ необходимы более крупные проспективные исследования.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Rebecca L., Siegel M.H., Kimberly D. et al. Cancer statistics, 2022. *CA Cancer J Clin* 2022;72(1):7–33. DOI: 10.3322/caac.21708
2. Состояние онкологической помощи населению России в 2021 году. Под ред. А.Д. Каприна, В.В. Старинского, А.О. Шахзадовой. М.: МНИОИ им. П.А. Герцена — филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, 2022. 239 с.
The state of oncological care for the population of Russia in 2021. Ed. by A.D. Kaprin, V.V. Starinsky, A.O. Shakhzadova. Moscow: P.A. Herzen Moscow State Medical Research Institute — branch of “NMIC of Radiology”, Ministry of Health of Russia, 2022. 239 p. (In Russ.).
3. Toro J.R., Travis L.B., Wu H.J. et al. Incidence patterns of soft tissue sarcomas, regardless of primary site, in the surveillance, epidemiology and end results program, 1978–2001: an analysis of 26,758 cases. *Int J Cancer* 2006;119(12):2922–30. DOI: 10.1002/ijc.22239
4. Coindre J.M., Terrier P., Guillou L. et al. Predictive value of grade for metastasis development in the main histologic types of adult soft tissue sarcomas. *Cancer* 2001;91(10):1914–26. DOI: 10.1002/1097-0142(20010515)91:10<1914::aid-cncr1214>3.0.co;2-3
5. Франк Г.А. Проблемы морфологической классификации и диагностики опухолей мягких тканей. *Практическая онкология* 2004;5:231–6.
Frank G.A. Problems of morphological classification and diagnosis of soft tissue tumors. *Practicheskaya onkologiya = Practical Oncology* 2004;5:231–6. (In Russ.).
6. Cates J.M.M. The AJCC 8th edition staging system for soft tissue sarcoma of the extremities or trunk: a cohort study of the SEER database. *J Natl Compr Cancer Netw* 2018;16(2):144–52. DOI: 10.6004/jnccn.2017.7042
7. Клинические рекомендации по диагностике и лечению больных саркомой мягких тканей. Клинические рекомендации Общероссийского союза общественных объединений Ассоциации онкологов России. 2020. Доступно по: https://oncology-association.ru/wp-content/uploads/2020/09/sarkoma_mjagkih_tkanej.pdf.
Clinical recommendations for the diagnosis and treatment of patients with soft tissue sarcoma. Clinical recommendations of the All-Russian Union of Public. (In Russ.). Available at: https://oncology-association.ru/wp-content/uploads/2020/09/sarkoma_mjagkih_tkanej.pdf.
8. Skytting B., Meis-Kindblom J.M., Larsson O. et al. Synovial sarcoma — identification of favorable and unfavorable histologic types: a Scandinavian sarcoma group study of 104 cases. *Acta Orthop Scand* 1999;70(6):543–54. DOI: 10.3109/17453679908997840
9. Improving outcomes for people with sarcoma. Guidance NICE. 2006. Available at: <https://www.nice.org.uk/guidance/csg9>.
10. Nagano S., Yahiro Y., Yokouchi M. et al. Doppler ultrasound for diagnosis of soft tissue sarcoma: efficacy of ultrasound-based screening score. *Radiol Oncol Mar* 2015;49(2):135–40. DOI: 10.1515/raon-2015-0011
11. Vibhakar A.M., Cassels J.A., Botchu R. et al. Imaging update on soft tissue sarcoma. *J Clin Orthop Trauma* 2021;22:101568. DOI: 10.1016/j.jcot.2021.101568
12. Roberts C.C., Kransdorf M.J., Beaman F.D. et al. ACR appropriateness Criteria follow-up of malignant or aggressive musculoskeletal tumors. *J Am Coll Radiol* 2016;13(4):389–400. DOI: 10.1016/j.jacr.2015.12.019
13. Bar-Shalom R., Valdivia A.Y., Blaufox M.D. et al. PET imaging in oncology. *Semin Nucl Med* 2000;30(3):150–85. DOI: 10.1053/snuc.2000.7439
14. Sarikaya I., Sarikaya A. Assessing PET parameters in oncologic ^{18}F -FDG studies. *J Nucl Med Technol* 2020;48(3):278–82. DOI:10.2967/jnmt.119.236109
15. Younis M.H., Abu-Hijleh H.A., Aldahamsheh O.O. et al. Meta-analysis of the diagnostic accuracy of primary bone and soft tissue sarcomas by ^{18}F -FDG-PET. *Med Princ Pract* 2020;29(5):465–72. DOI: 10.1159/000505651
16. Chen L., Wu X., Ma X. et al. Prognostic value of ^{18}F -FDG PET-CT-based functional parameters in patients with soft tissue sarcoma: a meta-analysis. *Medicine* 2017;96(6):5913. DOI: 10.1097/MD.0000000000005913

17. Hui J.Y. Epidemiology and etiology of sarcomas. *Surgical clinics* 2016;96(5):901–14. DOI: 10.1016/j.suc.2016.05.005
18. Etchebehere E.C., Hobbs B.P., Milton D.R. et al. Assessing the role of ^{18}F -FDG PET and ^{18}F -FDG PET/CT in the diagnosis of soft tissue musculoskeletal malignancies: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2016;43(5):860–70. DOI: 10.1007/s00259-015-3242-z
19. Macpherson R.E., Pratap S., Tyrrell H. et al. Retrospective audit of 957 consecutive ^{18}F -FDG PET-CT scans compared to CT and MRI in 493 patients with different histological subtypes of bone and soft tissue sarcoma. *Clin Sarcoma Res* 2018;8:9. DOI:10.1186/s13569-018-0095-9
20. Rakheja R., Makis W., Skamene S. et al. Correlating metabolic activity on ^{18}F -FDG PET/CT with histopathologic characteristics of osseous and soft-tissue sarcomas: a retrospective review of 136 patients. *Am J Roentgenol* 2012;198(6):1409–16. DOI:10.2214/ajr.11.7560
21. Katal S., Gholamrezanezhad A., Kessler M. et al. PET in the diagnostic management of soft tissue sarcomas of musculoskeletal origin. *PET Clin* 2018;13(4):609–21. DOI:10.1016/j.pcpet.2018.05.011
22. Schulte M., Brecht-Krauss D., Hamer B. et al. Fluorodeoxyglucose positron emission tomography of soft tissue tumors: is noninvasive determination of biological activity possible? *Eur J Nucl Med* 1999;26(6):599–605. DOI: 10.1007/s002590050427
23. Gabriel M., Rubello D. ^{18}F -FDG PET-CT in soft tissue sarcomas. *Nucl Med Commun* 2015;37(1):3–8. DOI:10.1097/mnm.0000000000000407
24. Hain S.F., O'Doherty M.J., Bingham J. et al. Can FDG PET be used to successfully direct preoperative biopsy of soft tissue tumours? *Nucl Med Commun* 2003;24(11):1139–43. DOI: 10.1097/00006231-200311000-00003
25. Fuglø H.M., Jørgensen S.M., Loft A. et al. The diagnostic and prognostic value of ^{18}F -FDG PET/CT in the initial assessment of high-grade bone and soft tissue sarcoma. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2012;39(9):1416–24. DOI: 10.1007/s00259-012-2159-z
26. Annovazzi A., Rea S., Zoccali C. et al. Diagnostic and clinical impact of ^{18}F -FDG PET/CT in staging and restaging soft-tissue sarcomas of the extremities and trunk: mono-institutional retrospective study of a sarcoma referral center. *J Clin Med* 2020;9(8):2549. DOI: 10.3390/jcm9082549
27. Noebauer-Huhmann I.M., Weber M.A., Lalam R.K. et al. Soft tissue tumors in adults: ESSR-approved guidelines for diagnostic imaging. *Semin Musculoskelet Radiol* 2015;19(5):475–82. DOI: 10.1055/s-0035-1569251
28. Roberge D., Vakilian S., Alabed Y.Z. et al. FDG PET/CT in initial staging of adult soft-tissue sarcoma. *Sarcoma* 2012;2012:960194. DOI:10.1155/2012/960194
29. Hagi T., Nakamura T., Sugino et al. Is FDG-PET/CT useful for diagnosing pulmonary metastasis in patients with soft tissue sarcoma? *Anticancer Res* 2018;38(6):3635–9. DOI: 10.21873/anticancer.12638
30. Keung E.Z., Chiang Y.J., Voss R.K. et al. Defining the incidence and clinical significance of lymph node metastasis in soft tissue sarcoma. *Eur J Surg Oncol* 2018;44(1):170–7. DOI: 10.1016/j.ejso.2017.11.014
31. Lim H.J., Johnny Ong C.A., Tan J.W. et al. Utility of positron emission tomography/computed tomography (PET/CT) imaging in the evaluation of sarcomas: a systematic review. *Crit Rev Oncol Hematol* 2019;143:1–13. DOI:10.1016/j.critrevonc.2019.07.002
32. Tanaka K., Ogawa G., Mizusawa J. et al. Prospective comparison of various radiological response criteria and pathological response to preoperative chemotherapy and survival in operable high-grade soft tissue sarcomas in the Japan Clinical Oncology Group study JCOG0304. *World J Surg Oncol* 2018;16(1):1–8. DOI: 10.1186/s12957-018-1462-y
33. Gui C., Morris C.D., Meyer C.F. et al. Characterization and predictive value of volume changes of extremity and pelvis soft tissue sarcomas during radiation therapy prior to definitive wide excision. *Radiat Oncol J* 2019;37(2):117–26. DOI: 10.3857/roj.2018.00549
34. Блудов А.Б., Замогильная Я.А., Неред А.С. и др. Основы методики контрастной МРТ в оценке эффективности предоперационной химиотерапии у больных с саркомами костей и мягких тканей. Саркомы костей, мягких тканей и опухоли кожи 2011;4:41–50. Bludov A.B., Zamogilnaya Ya.A., Nered A.S. et al. Basic principles of dynamic contrast-enhanced magnetic resonance imaging in the evaluation of the preoperative chemotherapy in patients with bone and soft tissue sarcomas. *Sarkomy kostej, myagkikh tkanej i opukholi kozhi* = Bone and soft tissue sarcomas, tumors of the skin 2011(4):41–50. (In Russ.).
35. Benz M.R., Czernin J., Allen-Auerbach M.S. et al. FDG-PET/CT imaging predicts histopathologic treatment responses after the initial cycle of neoadjuvant chemotherapy in high-grade soft-tissue sarcomas. *Clinic Cancer Res* 2009;15(8):2856–63. DOI: 10.1158/1078-0432.ccr-08-2537
36. Schuetze S.M., Rubin B.P., Vernon C. et al. Use of positron emission tomography in localized extremity soft tissue sarcoma treated with neoadjuvant chemotherapy. *Cancer* 2005;103(2):339–48. DOI: 10.1002/cncr.20769.
37. Evilevitch V., Weber W.A., Tap W.D. et al. Reduction of glucose metabolic activity is more accurate than change in size at predicting histopathologic response to neoadjuvant therapy in high-grade soft-tissue sarcomas. *Clin Cancer Res* 2008;14(3):715–20. DOI: 10.1158/1078-0432.ccr-07-1762
38. Ezuddin N.S., Pretell-Mazzini J., Yehieli R.L. et al. Local recurrence of soft-tissue sarcoma: issues in imaging surveillance strategy. *Skeletal Radiol* 2018;47(12):1595–606. DOI: 10.1007/s00256-018-2965-x
39. Benz M.R., Crompton J.G., Harder D. PET/CT variants and pitfalls in bone and soft tissue sarcoma. *Semin Nucl Med* 2021;51(6):584–92. DOI: 10.1053/j.semnuclmed.2021.06.009.
40. Piperkova E., Mikhael M., Mousavi A. et al. Impact of PET and CT in PET/CT studies for staging and evaluating treatment response in bone and soft tissue sarcomas. *Clin Nucl Med* 2009;34(3):146–50. DOI: 10.1097/RLU.0b013e3181966f9d
41. Ibraheem A.L., Buck A.K., Benz M.R. et al. ^{18}F -fluorodeoxyglucose positron emission tomography/computed tomography for the detection of recurrent bone and soft tissue sarcoma. *Cancer* 2013;119(6):1227–34. DOI: 10.1002/cncr.27866
42. Ranieri G., Mammi M., Donato E. Pazopanib a tyrosine kinase inhibitor with strong anti-angiogenic activity: a new treatment for metastatic soft tissue sarcoma. *Crit Rev Oncol Hematol* 2014;89(2):322–39. DOI: 10.1016/j.critrevonc.2013.08.012
43. Larson S.M., Erdi Y., Akhurst T. et al. Tumor treatment response based on visual and quantitative changes in global tumor glycolysis using PET-FDG imaging. The visual response score and the change in total lesion glycolysis. *Clin Positron Imaging* 1999;2(3):159–71. DOI: 10.1016/s1095-0397(99)00016-3
44. Choi E.S., Ha S.G., Kim H.S. et al. Total lesion glycolysis by ^{18}F -FDG PET/CT is a reliable predictor of prognosis in soft-tissue sarcoma. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2013;40(12):1836–42. DOI: 10.1007/s00259-013-2511-y
45. Hong S., Lee S.E., Choi Y.L. et al. Prognostic value of ^{18}F -FDG PET/CT in patients with soft tissue sarcoma: comparisons between metabolic parameters. *Skeletal Radiology* 2014;43(5):641–8. DOI:10.1007/s00256-014-1832-7
46. Chang K.J., Lim I., Park J.Y. et al. The role of ^{18}F -FDG PET/CT as a prognostic factor in patients with synovial sarcoma. *Nucl Med Mol Imaging* 2015;49(1):33–41. DOI: 10.1007/s13139-014-0301-5

Вклад авторов

Е.С. Королева: обзор публикаций по теме статьи, анализ полученных данных, написание текста статьи;
А.И. Пронин, А.И. Михайлов, А.А. Оджарова: обзор публикаций по теме статьи, анализ полученных данных, редактирование;
Е.А. Сушенцов, Б.Ю. Бохян, А.С. Крылов: обзор публикаций по теме статьи, редактирование.

Authors' contribution

E.S. Koroleva: review of publications on the topic of the article, analysis of the data obtained, article writing;
A.I. Pronin, A.I. Mikhailov, A.A. Odzhарova: review of publications on the topic of the article, analysis of the data obtained, editing;
E.A. Sushentsov, B.Y. Bokhyan, A.S. Krylov: review of publications on the topic of the article, editing.

ORCID авторов / ORCID of authors

Е.С. Королева / E.S. Koroleva: <https://orcid.org/0000-0002-2416-9826>
А.И. Пронин / A.I. Pronin: <https://orcid.org/0000-0003-1632-351X>
А.И. Михайлов / A.I. Mikhailov: <https://orcid.org/0000-0001-7460-3267>
А.А. Оджарова / A.A. Odzhарova: <https://orcid.org/0000-0003-3576-6156>
Е.А. Сушенцов / E.A. Sushentsov: <https://orcid.org/0000-0003-3672-1742>
Б.Ю. Бохян / B.Y. Bokhyan: <https://orcid.org/0000-0002-1396-3434>
А.С. Крылов / A.S. Krylov: <https://orcid.org/0000-0002-8476-7879>

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests. The authors declare no conflicts of interests.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Funding. The study was conducted without sponsorship.

Статья поступила: 12.09.2022. **Принята к публикации:** 10.10.2022.

Article submitted: 12.09.2022. **Accepted for publication:** 10.10.2022.