

Диагностика рецидивов медуллярного рака щитовидной железы: возможности ПЭТ/КТ с ¹⁸F-ДОФА

© Н.А. Огнерубов^{✉1}, О.О. Мирсалимова²

¹ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России, Москва, Российская Федерация

²Федеральная сеть центров ядерной медицины «ПЭТ-Технолоджи», Москва, Российская Федерация

Аннотация

Обоснование. Медуллярный рак щитовидной железы (МРЩЖ) составляет 3–5% всех ее карцином и склонен к лимфогенному метастазированию и частым рецидивам после хирургического лечения. Гибридная позитронно-эмиссионная и компьютерная томография (ПЭТ/КТ) с ¹⁸F-диоксифенилаланином (ДОФА) признана наиболее информативным методом молекулярной визуализации. Данные о взаимосвязи количественных параметров накопления радиофармпрепарата (РФП) с клинико-морфологическими характеристиками рецидива ограничены.

Цель. Оценить диагностическую эффективность мультифазной ПЭТ/КТ с ¹⁸F-ДОФА в выявлении рецидивов МРЩЖ, определить оптимальное время сканирования и провести корреляционный анализ SUVmax с клиническими параметрами.

Материалы и методы. В ретроспективное исследование включены 12 пациентов с гистологически верифицированным МРЩЖ, перенесших тиреоидэктомию с лимфодиссекцией. Репрезентативная выборка составила 10 пациентов (5 женщин, 5 мужчин) с установленным биохимическим рецидивом, средний возраст – 54 года. ПЭТ/КТ с ¹⁸F-ДОФА выполняли на сканере GE Discovery PET/CT 710 в режиме трех временных точек – 15, 30, 60 мин после введения РФП. Статистический анализ проведен с помощью IBM SPSS v.29.0.0 и MedCalc v.22.009.

Результаты. Местный рецидив диагностирован у 9 больных. Метастазы в регионарные лимфоузлы выявлены у 10 пациентов. Общее количество очагов с патологическим накоплением РФП – 30, среди которых метастазы в лимфоузлах различных уровней – 16. Средние значения SUVmax в метастатических лимфоузлах составили на 15, 30, 60-й минутах 2,86, 3,49, 2,78, а в зоне местного рецидива – 2,54, 2,97 и 2,45 соответственно. Оптимальный режим сканирования достоверно подтвержден на 30-й минуте. Установлена значимая прямая корреляция между длительностью латентного периода и SUVmax в лимфоузлах на 30-й минуте. ROC-анализ для SUVmax на 30-й минуте в прогнозировании раннего рецидива продемонстрировал AUC (площадь под кривой) 0,833, чувствительность 83,3% и специфичность 80%.

Заключение. ПЭТ/КТ с ¹⁸F-ДОФА является высокоэффективным методом топической диагностики рецидивов МРЩЖ. Оптимальным временем сканирования является 30-я минута. SUVmax на 30-й минуте обладает прогностической значимостью в отношении агрессивности рецидива и может использоваться для распределения пациентов по группам риска.

Ключевые слова: медуллярный рак щитовидной железы, метастазы в лимфоузлы, местный рецидив, гибридная позитронно-эмиссионная и компьютерная томография, ¹⁸F-ДОФА, прогностическая значимость, SUVmax

Для цитирования: Огнерубов Н.А., Мирсалимова О.О. Диагностика рецидивов медуллярного рака щитовидной железы: возможности ПЭТ/КТ с ¹⁸F-ДОФА. *Consilium Medicum*. 2026;28(4):270–277. DOI: 10.26442/20751753.2026.4.203665

ORIGINAL STUDY ARTICLE

Diagnosis of recurrent medullary thyroid cancer: Capabilities of PET/CT with ¹⁸F-DOPA

© Nikolai A. Ognerubov^{✉1}, Olga O. Mirsalimova²

¹Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Moscow, Russian Federation

²Federal Network of Nuclear Medicine Centers PET-Technology, Moscow, Russian Federation

Abstract

Background. Medullary thyroid cancer (MTC) constitutes approximately 3–5% of all thyroid carcinomas and is characterized by a propensity for lymphogenic metastasis and frequent recurrences following surgical intervention. The use of combined positron emission tomography and X-ray computed tomography (PET/CT) with ¹⁸F-dihydroxyphenylalanine (DOPA) has emerged as the most informative molecular imaging technique available. However, data elucidating the relationship between quantitative parameters of radiopharmaceutical agent (RPA) accumulation and the clinical and morphological characteristics associated with recurrence remain limited.

Aim. To assess the diagnostic efficacy of multiphase PET/CT utilizing ¹⁸F-DOPA in detecting recurrences of MTC, to identify the optimal scanning time, and to perform a correlation analysis of maximum standardized uptake value (SUVmax) with various clinical parameters.

Materials and methods. This retrospective study included 12 patients with histologically confirmed MTC who underwent thyroidectomy with lymph node dissection. The representative sample consisted of 10 patients (5 females and 5 males) with established biochemical recurrence, with a mean age of 54 years. The PET/CT scans with ¹⁸F-DOPA were performed on a GE Discovery PET/CT 710 scanner at 15, 30, and 60 minutes after RPA administration. Statistical analyses were conducted using IBM SPSS v.29.0.0 and MedCalc v.22.009.

Results. Local recurrence was identified in 9 patients, while metastases to regional lymph nodes were detected in 10 patients. The overall count of foci exhibiting pathological RPA accumulation was 30, including 16 foci in metastatic lymph nodes. Mean SUVmax values in metastatic lymph nodes were measured at 2.86, 3.49, and 2.78 at 15, 30, and 60 minutes, respectively. For local recurrences, the values were 2.54, 2.97, and 2.45 at the corresponding time points. The scanning mode established at the 30-minute mark was confirmed to be optimal. A significant direct correlation was identified between the latency period and SUVmax in the lymph nodes at the 30-minute interval. Receiver operating characteristic (ROC) analysis of SUVmax at 30 minutes revealed an area under the curve (AUC) of 0.833, indicating a sensitivity of 83.3% and a specificity of 80%.

Conclusions. PET/CT using ¹⁸F-DOPA is demonstrated to be a highly effective method for the diagnosis of recurrent MTC. The optimal scanning time is 30 minutes after RPA administration. Furthermore, SUVmax at this time point has prognostic value for the aggressiveness of relapses and may facilitate stratification of patients into distinct risk groups.

Keywords: medullary thyroid carcinoma, lymphatic metastasis, local neoplasm recurrence, positron emission tomography/computed tomography, fluorodopa F¹⁸, prognostic value, standardized uptake value

For citation: Ognerubov NA, Mirsalimova OO. Diagnosis of recurrent medullary thyroid cancer: Capabilities of PET/CT with ¹⁸F-DOPA. *Consilium Medicum*. 2026;28(4):270–277. DOI: 10.26442/20751753.2026.4.203665

Введение

Медуллярный рак щитовидной железы (МРЩЖ) встречается в 3–5% случаев всех злокачественных новообразований ЩЖ [1]. В настоящее время МРЩЖ, несмотря на относительную редкость, остается серьезной клинической проблемой. Среди всех смертей от тиреоидного рака на его долю приходится до 13,4% [2]. Опухоль происходит из парафолликулярных С-клеток, продуцирующих кальцитонин, и принадлежит к группе нейроэндокринных неоплазий, что имеет принципиальное значение для выбора радиофармпрепарата (РФП) при позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ)/визуализации.

Стандартом хирургического лечения МРЩЖ является тиреоидэктомия с центральной и/или латеральной лимфодиссекцией шеи, выполнение которой зависит от местного-регионарного метастатического распространения [3].

Однако даже при макроскопически и морфологически радикальном вмешательстве частота рецидивов остается высокой.

Частота структурных рецидивов составляет 10–27%, при этом среднее время до гистологически подтвержденного местного рецидива – 4 года, а диапазон временных интервалов – 8–156 мес [4]. В 1980–2009 гг. рецидивов было больше, чем в 2010–2020 гг., – 54 и 25% соответственно [5].

Методы анатомической визуализации, такие как ультразвуковое исследование (УЗИ), компьютерная (КТ) и магнитно-резонансная томография (МРТ), в большинстве случаев не позволяют идентифицировать опухолевый субстрат. По данным систематического обзора L. Giovanella и соавт. (2020 г.), чувствительность УЗИ при биохимическом рецидиве МРЩЖ составляет всего 57%, а КТ – около 64% [6], в связи с чем именно эта диагностическая ситуация формирует потребность применения молекулярной визуализации, что в настоящее время приобретает решающее значение [7]. Топическая диагностика местных рецидивов, локорегионарных и отдаленных метастазов при биохимическом рецидиве у больных МРЩЖ с помощью гибридной ПЭТ и рентгеновской КТ (ПЭТ/КТ) с ^{18}F -диоуксифенилаланином (ДОФА) является ключевой опцией, поскольку анатомическая локализация и объем опухоли предопределяют характер лечебных мероприятий [3].

Медуллярная карцинома, являясь нейроэндокринной опухолью, характеризуется повышенной экспрессией транспортера аминокислот LAT1/LAT2 и фермента декарбоксилазы ароматических L-аминокислот (L-ДОФА), что обеспечивает активный захват и декарбоксилирование L-ДОФА с образованием дофамина, который накапливается в везикулах С-клеток [8]. Именно данный биохимический путь составляет основу визуализации с помощью ^{18}F -ДОФА.

Первое сообщение о накоплении ^{18}F -ДОФА в МРЩЖ у 6 пациентов опубликовано S. Hoegerle и соавт. (2001 г.) в Германии [9].

В метаанализ G. Treglia и соавт. (2012 г.) включены восемь работ, охватывающих 146 пациентов с подозрением на рецидив МКЩЖ. Показатели чувствительности при ПЭТ/КТ с ^{18}F -ДОФА в расчете на одного больного и на одно поражение составили 66 и 71% соответственно. Общую чувствительность ^{18}F -ДОФА ПЭТ/КТ оценивали в 71% в пересчете на пациента [10].

В настоящее время ряд принципиальных вопросов остаются нерешенными, прежде всего отсутствует единый стандарт оптимального времени сканирования после введения ^{18}F -ДОФА. Согласно зарубежным рекомендациям таковыми являются фиксированные временные интервалы 30, 45, 60, 90 мин после инъекции РФП [6, 11]. Другие авторы отдают предпочтение более раннему началу ПЭТ/КТ-сканирования – 15–20 мин [12]. Однако систематическое сравнение трехфазного протокола (15, 30, 60 мин) при МРЩЖ, анализ корреляции количественных параметров ПЭТ (SUVmax) с некоторыми клиническими характери-

стиками рецидива, такими как возраст, длительность латентного периода и локализация поражений, в литературе несут фрагментарный характер.

Цель исследования – оценить диагностическую эффективность мультифазной ПЭТ/КТ с ^{18}F -ДОФА в выявлении рецидивов МРЩЖ, определить оптимальное время сканирования и провести корреляционный анализ SUVmax с некоторыми клиническими параметрами.

Материалы и методы

Проведено ретроспективное одноцентровое исследование с анализом результатов ПЭТ/КТ с ^{18}F -ДОФА у 12 пациентов с МРЩЖ, из которых валидную группу составили 10 больных с биохимическим рецидивом, 2 пациента исключены из анализа в связи с отсутствием биохимического рецидива.

Критериями включения являлись морфологически подтвержденный МРЩЖ при исследовании операционного материала (после тиреоидэктомии с лимфодиссекцией), клинически установленный биохимический рецидив при уровне кальцитонина более 150 пг/мл и ракового эмбрионального антигена выше 10 нг/мл, а также отсутствие явных очагов по данным УЗИ шеи, КТ грудной клетки и брюшной полости.

Всем пациентам выполнена ПЭТ/КТ с внутривенным контрастированием в режиме трех временных точек через 15, 30 и 60 мин после введения ^{18}F -ДОФА. Исследования проводили на гибридном ПЭТ/КТ-сканере GE Discovery PET/CT 710. Оценивали анатомическую локализацию очагов гиперфиксации РФП, количественные параметры SUVmax и их динамику на 15, 30 и 60-й минуте.

Для каждого выявленного очага патологического накопления ^{18}F -ДОФА определяли локализацию (ложе ЩЖ – местный рецидив, регионарные лимфатические узлы с указанием уровня по классификации Robbins), SUVmax для каждой временной точки сканирования.

Статистический анализ выполнен в программах IBM SPSS Statistics v.29.0.0 и MedCalc Statistical Software v.22.009.

Корреляционный анализ произведен с применением параметрического коэффициента Пирсона (r) и непараметрического коэффициента Спирмена (ρ).

ROC-анализ выполнен для оценки прогностической значимости SUVmax на 30-й минуте в прогнозировании раннего рецидива (латентный период – менее 12 мес). Уровень статистической значимости принят при $p < 0,05$.

Результаты

Среди 10 пациентов валидной выборки было 5 женщин и 5 мужчин. Средний возраст всей когорты составил 54 года, а медиана при диапазоне 26–69 лет – 59,5 года.

По результатам мультифазной ПЭТ/КТ с ^{18}F -ДОФА верифицировано 30 очагов патологического накопления РФП. Местный рецидив в ложе ЩЖ выявлен у 9 из 10 пациентов, чувствительность составила 90%. Метастатическое поражение регионарных лимфатических узлов диагностировано у 10 человек – суммарно 16 очагов. В одном случае, у мужчины 62 лет, идентифицированы отдаленные метастазы в количестве 5 очагов с поражением костей таза, медиастинальных лимфоузлов, печени, длинной мышцы головы и лимфоузлов шеи VI уровня. Таким образом, ПЭТ/КТ с ^{18}F -ДОФА позволила идентифицировать анатомический субстрат в виде биохимического рецидива у всех 10 обследованных больных.

Сочетание местного рецидива и метастатического поражения лимфоузлов наблюдали у 9 пациентов.

Анализ динамики интенсивности стандартизованного коэффициента максимального накопления РФП SUVmax ^{18}F -ДОФА в области местного рецидива выявил характерную модель в виде нарастания интенсивности, достижения пика и уменьшения – вымывания. На 15-й минуте

Таблица 1. Динамика SUVmax в очагах местного рецидива по данным мультифазной ПЭТ/КТ с ¹⁸F-ДОФА (n=9)Table 1. SUVmax change in foci of local recurrence as determined by multiphase PET/CT with ¹⁸F-DOPA (n=9)

Параметр	15 мин	30 мин	60 мин	p (15 vs 30)*	p (30 vs 60)*
SUVmax (среднее ± SD)	2,54±0,68	2,97±0,81	2,45±0,72	0,032	0,028
Δ SUVmax (абсолютная разница)	–	+0,43	-0,52	–	–
Δ SUVmax (% , относительное изменение)	–	+16,9	-17,5 вымывание	–	–

*Здесь и далее в табл. 2: парный критерий Вилкоксона (p<0,05).

*Hereinafter in Table 2: Wilcoxon signed-rank test (p<0.05).

Таблица 2. Динамика SUVmax в метастатических регионарных лимфатических узлах по данным мультифазной ПЭТ/КТ с ¹⁸F-ДОФА (n=16)Table 2. SUVmax change in metastatic regional lymph nodes as determined by multiphase PET/CT with ¹⁸F-DOPA (n=16)

Параметр	15 мин	30 мин	60 мин	p (15 vs 30)*	p (30 vs 60)*
SUVmax (среднее ± SD)	2,8±1,12	3,49±1,34	2,78±1,08	0,008	0,011
Медиана SUVmax (Q1–Q3)	2,61 (2,04–3,52)	3,22 (2,47–4,31)	2,56 (1,98–3,41)	–	–
Δ SUVmax (абсолютная разница)	–	+0,63	-0,71	–	–
Δ SUVmax (% , относительное изменение)	–	+22,0	-20,3 вымывание	–	–

Таблица 3. Гендерные различия SUVmax в метастатических регионарных лимфатических узлах по данным мультифазной ПЭТ/КТ с ¹⁸F-ДОФА (среднее ± SD)Table 3. Gender differences in SUVmax in metastatic regional lymph nodes as determined by multiphase PET/CT with ¹⁸F-DOPA (mean ± SD)

Фаза сканирования, мин	SUVmax		p*
	мужчины	женщины	
15	3,58±1,18	2,14±0,62	0,021
30	4,45±1,27	2,53±0,71	0,006
60	3,52±1,05	2,04±0,58	0,012
Δ SUVmax 15→30 (абсолютная)	+0,87	+0,39	0,078
Δ SUVmax 30→60 (абсолютная)	-0,93	-0,49	0,064

*Критерий Манна–Уитни (p<0,05).

*Mann–Whitney U test (p<0.05).

после введения РФП среднее значение SUVmax составило 2,54±0,68. К 30-й минуте зарегистрировано статистически значимое увеличение показателя до 2,97±0,81 (p=0,032 при сравнении с 15-й минутой). К 60-й минуте отмечено достоверное снижение SUVmax до 2,45±0,72 (p=0,028 при сравнении с 30-й минутой), что свидетельствует о феномене вымывания РФП из опухолевой ткани на 17,5%. Разница между значениями на 15 и 60-й минутах не достигала статистической значимости. Гендерных различий метаболической активности в области местного рецидива не выявлено. У мужчин SUVmax на 30-й минуте сканирования составил 3,12±0,89, у женщин – 2,82±0,74 (табл. 1).

Представленные результаты свидетельствуют о том, что отсроченное сканирование на 60-й минуте может привести к ложноотрицательным результатам из-за феномена вымывания РФП ¹⁸F-ДОФА. По нашим данным, прежде всего это касается мелких очагов с уровнем SUVmax, близким к пороговому значению.

Метастатическое поражение регионарных лимфатических узлов в количестве 16 очагов у 10 пациентов с МРЩЖ являлось наиболее частой формой проявления рецидивов. Динамика SUVmax в метастатических лимфоузлах в зависимости от фазы сканирования представлена в табл. 2.

Как следует из представленных данных, максимальное накопление ¹⁸F-ДОФА в метастатических лимфатических узлах регистрировалось на 30-й минуте исследования, составляя 3,49, с последующим достоверным снижением к 60-й минуте до 2,78. Прирост уровня SUVmax от 15 к 30-й минуте сканирования составил в среднем 22%, а за время сканирования от 30 к 60-й минуте, наоборот, произошло уменьшение SUVmax на 20,3% за счет вымывания РФП. Разница SUVmax между 15–60-й минутами не была статистически значимой.

При анализе по полу выявлены статистически значимые различия метаболической активности ¹⁸F-ДОФА в метастатических лимфатических узлах на всех временных точках сканирования (табл. 3). Это первое описание в доступной литературе гендерных различий кинетики ¹⁸F-ДОФА при МРЩЖ.

Показатели SUVmax в метастатических лимфоузлах у мужчин статистически значимо (в 1,67 раза) превышали таковые у женщин. Наибольшая разница выявлена на 30-й минуте сканирования. Величина SUVmax у мужчин составила 4,45 против 2,53 у женщин, что соответствует 75,9% превышению (p=0,006). На 15-й минуте это различие составило 67,3% (3,58 vs 2,14; p=0,021), а на 60-й минуте – 72,5% (3,52 vs 2,04; p=0,012). Абсолютное значение прироста SUVmax от 15 к 30-й минуте и величина вымывания от 30 к 60-й минуте имели тенденцию к большим значениям у мужчин относительно женщин (p>0,05), что, вероятно, обусловлено небольшим объемом выборки.

Относительная динамика SUVmax была сопоставимой между полами. Так, от 30 к 60-й минуте прирост составил 24,3% у мужчин и 18,2% у женщин, а снижение (феномен вымывания) – 20,9 и 19,4% соответственно. Это свидетельствует о том, что кинетический профиль ¹⁸F-ДОФА в метастатических лимфоузлах качественно не отличается между полами, а гендерные различия носят преимущественно количественный характер и связаны с исходно более высокой метаболической активностью опухолевой ткани у мужчин.

Мы изучили метаболическую активность SUVmax РФП ¹⁸F-ДОФА в пораженных лимфатических узлах шеи в соответствии с классификацией Robbins. Метастазы в лимфоузлах VI уровня наблюдали у 6 больных, III уровня – у 4, II уровня – у 3, IV уровня – у 3. Множественное поражение лимфатических узлов II уровня и более зафиксировано у 6 (60%) из 10 пациентов.

Наибольшая метаболическая активность зарегистрирована в лимфатических узлах VI уровня, величина SUVmax на 30-й минуте (оптимальная фаза сканирования) составила 4,63±1,21, что достоверно в 2,1 раза превышало ее в лимфоузлах IV уровня – SUVmax 2,21±0,54; p=0,024, критерий Манна–Уитни. Различия SUVmax между лимфоузлами VI уровня и II, III уровней составили 3,15 и 3,37, которые также были статистически значимыми (p=0,038 и 0,041 соответственно). Различия SUVmax между II, III и IV уровнями не достигали статистической значимости (p>0,05).

Проведенный корреляционный анализ установил сильную прямую корреляционную связь между длительностью латентного периода (от момента первичного хирургического вмешательства до диагностики биохимического рецидива) и уровнем SUVmax РФП ^{18}F -ДОФА в области местного рецидива на 30-й минуте сканирования ($r=0,76$; $p=0,017$). Иными словами, чем дольше пациент находился в состоянии ремиссии, тем выше метаболическая активность рецидивного очага на ПЭТ/КТ с ^{18}F -ДОФА. Это можно объяснить посредством клеточной кинетики, поскольку при позднем рецидиве опухолевые клетки успевают накопить большую массу нейросекреторных гранул, а также, возможно, подвергаются селекции клонов с более высокой экспрессией ароматической аминокислотной декарбоксилазы.

Для метастатических лимфатических узлов аналогичная корреляция была умеренной и не достигала порога статистической значимости ($r=0,48$; $p=0,16$).

Таким образом, мультифазная ПЭТ/КТ с ^{18}F -ДОФА позволила выявить источник биохимического рецидива у всех обследованных пациентов. Оптимальной фазой сканирования для визуализации как местного рецидива, так и метастатического поражения регионарных лимфатических узлов является 30-я минута после введения РФП, при которой регистрируются максимальные значения SUVmax. Отсроченное сканирование на 60-й минуте сопряжено с достоверным вымыванием ^{18}F -ДОФА и риском недооценки метаболической активности опухолевых очагов, включая их потерю.

Для оценки диагностической ценности каждой из трех временных точек сканирования проведен анализ идентификации очагов, при этом определяли их долю, в которой накопление ^{18}F -ДОФА как визуально, так и количественно превышало фоновую активность окружающих тканей и могло быть расценено как патологическое. На 15-й минуте после введения РФП четко идентифицировано 25 (83,3%) из 30 очагов, на 30-й минуте – 29 (96,7%) из 30 очагов, на 60-й минуте – 24 (80,0%) из 30 очагов, при этом различие в диагностике между 30 и 60-й минутами было статистически значимым ($p=0,041$). Единственный очаг, который не визуализировали на 30-й минуте, представлял собой маленький (4 мм) метастаз в лимфатический узел IV уровня, который также не определяли и на других фазах.

Кроме того, нами дополнительно проведена оценка контрастности «опухоль/фон» на каждой временной точке сканирования. В качестве референтной фоновой активности использовали SUVmean мягких тканей шеи вне зон патологического накопления.

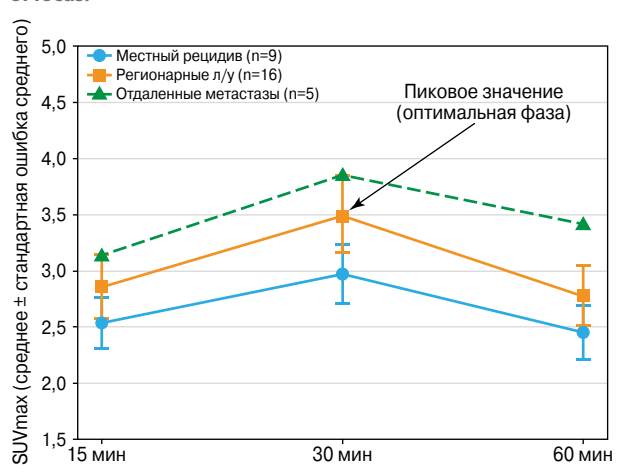
Максимальная контрастность соотношения «опухоль/фон» SUVmax достигнута на 30-й минуте, составляя $3,21 \pm 0,92$, что на 29,4 и 37,2% превысило аналогичные значения на 15 и 60-й минуте соответственно. Это подтверждает, что на 30-й минуте наблюдается не только абсолютное увеличение накопления РФП ^{18}F -ДОФА в опухолевых очагах, но и оптимальное соотношение между активностью опухоли и окружающих ее тканей, что и создает наилучшие условия для визуальной оценки и количественного анализа очагов патологического накопления РФП.

На основании динамики SUVmax по трем временным точкам сканирования для местного рецидива, регионарных лимфоузлов и отдаленных метастазов определены индивидуальные динамические закономерности накопления ^{18}F -ДОФА. Доминирующий тип кривой с нарастанием, достижением пика на 30-й минуте, а затем снижением к 60-й минуте отмечен в 23/30/76,7% очагов. Он является характерным как для местных рецидивов – 7/9/77,8%, так и для метастатических лимфоузлов – 13/16/81,3% (рис. 1).

Приведенная закономерность подтверждает целесообразность сканирования на 30-й минуте как оптимального для подавляющего большинства клинических ситуаций. При сомнительных результатах SUVmax на 30-й минуте

Рис. 1. Кинетические кривые накопления ^{18}F -ДОФА по типам очагов.

Fig. 1. Kinetic curves of ^{18}F -DOPA accumulation by type of focus.



дополнительная оценка на 60-й минуте может способствовать выявлению очагов с атипичной кинетикой, особенно при подозрении на отдаленное метастазирование.

Представленная ROC-кривая построена для оценки прогностической ценности SUVmax на 30-й минуте сканирования (оптимальной фазе) при дифференцировке раннего рецидива от позднего в метастатических регионарных лимфатических узлах (рис. 2).

Площадь под ROC-кривой (AUC) составила 0,83 (95% доверительный интервал 0,582–1,000), что свидетельствует о хорошей прогностической способности данного показателя. Оптимальный пороговый уровень SUVmax – 3,44, при котором чувствительность метода достигала 83,3%, а специфичность – 80,0%. При его величине 3,00 чувствительность и специфичность составили 83,3 и 70,0% соответственно, а при 4,00 – 50,0 и 90,0%. Таким образом, повышение порога SUVmax закономерно приводит к увеличению специфичности за счет снижения чувствительности.

Клиническое значение полученных данных заключается в следующем: уровень SUVmax $\geq 3,44$ на 30-й минуте в метастатических лимфатических узлах ассоциирован с ранним рецидивом (менее 12 мес) и может рассматриваться как метаболический предиктор агрессивного течения заболевания. Данный пороговый уровень может быть использован для деления пациентов на группы риска с целью планирования рациональной тактики послеоперационного наблюдения, включая решение вопроса о системной терапии ингибиторами тирозинкиназы.

Далее приводим клинические случаи.

Пациент Г., 63 года. Диагноз: РЩЖ, mT1bN1aM0R0 Пст (медулярная карцинома). Состояние после тиреоидэктомии с центральной шейной лимфодиссекцией от 08.05.2025. Кальцитонин – 152 пг/мл (рис. 3, 4).

Пациент Л., 58 лет. Диагноз: РЩЖ, pT1bN1bM0 IVA ст (медулярная карцинома). Состояние после тиреоидэктомии с центральной шейной лимфодиссекцией от 21.11.2024. Кальцитонин – 210 пг/мл (рис. 5–7).

Обсуждение

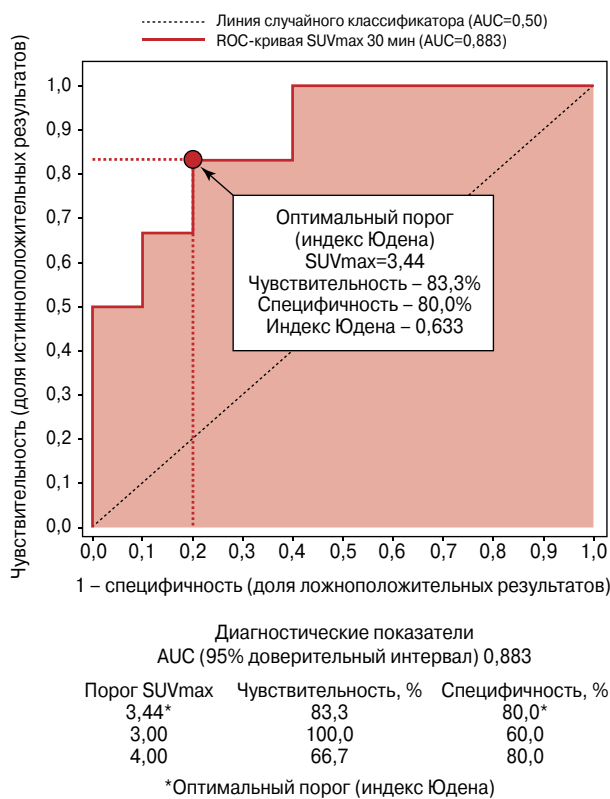
Медулярная карцинома ЩЖ – редкий нейроэндокринный подтип РЩЖ, составляющий до 5% всех случаев новообразований ЩЖ.

Пациенты с МРЩЖ имеют высокий риск развития отдаленных метастазов. На момент постановки диагноза до 23% больных имеют метастазы в лимфатические узлы или отдаленные метастазы, что является основной причиной смерти [13].

Установление биохимического рецидива МРЩЖ представляет особую клиническую проблему, поскольку эта

Рис. 2. ROC-кривая SUVmax (30-я минута) для прогнозирования раннего рецидива (латентный период <12 мес) в метастатических лимфатических узлах у пациентов с МРЩЖ.

Fig. 2. ROC curve for SUVmax at 30 minutes to predict early recurrence (latency <12 months) in metastatic lymph nodes of patients with medullary thyroid cancer.



категория пациентов имеет наибольшую диагностическую сложность, так как рутинные методы анатомической визуализации зачастую не позволяют выявить источник биохимического рецидива, особенно при умеренном повышении уровня кальцитонина (менее 150 пг/мл) [14].

В этом контексте ПЭТ/КТ с ^{18}F -ДОФА занимает ключевое место в диагностической цепочке, поскольку анатомический поиск рецидивной опухоли определяет дальнейшую стратегию лечения, которой является хирургическое вмешательство или системная терапия, а также прогноз [15, 16].

Так, M. Luster и соавт. (2010 г.) в проспективном многоцентровом исследовании, включавшем 28 пациентов с биохимическим рецидивом МРЩЖ, показали, что ПЭТ/КТ с ^{18}F -ДОФА позволяет локализовать источник рецидива у 74% пациентов, причем информативность метода была наиболее высокой при уровне кальцитонина выше 150 пг/мл [16].

A. Archier и соавт. (2016 г.) в ретроспективном исследовании 86 больных с рецидивным МРЩЖ продемонстрировали чувствительность ПЭТ/КТ с ^{18}F -ДОФА на уровне метода, равную 75,6%, в отношении лимфатических узлов – 100%, отдаленных очагов поражения – лишь 24% [17].

Полученные нами более высокие показатели чувствительности, вероятнее всего, объясняются применением мультифазного динамического сканирования, в результате чего некоторые неразличимые очаги на 15-й минуте становились отчетливо видны к 30-й минуте.

В настоящее время важной и до сих пор недостаточно изученной проблемой остается оптимизация временных протоколов сканирования при ПЭТ/КТ с ^{18}F -ДОФА. Большинство центров в мире до сих пор используют однократно протокол, как правило, со сканированием через 60 мин. В рекомендациях Европейской ассоциации ядерной медицины при МРЩЖ L. Giovanella и соавт. (2020 г.) пред-

Рис. 3. Пациент Г., 63 года. ПЭТ/КТ с ^{18}F -ДОФА.

В аксиальной проекции ПЭТ/КТ- и КТ-исследовании верхний яремный лимфатический узел справа с гиперфиксацией РФП размером 5 мм.

Fig. 3. Case study of Patient G., age 63.

PET/CT with ^{18}F -DOPA demonstrating axial view of right upper jugular lymph node (5 mm) with RPA hyperfixation.

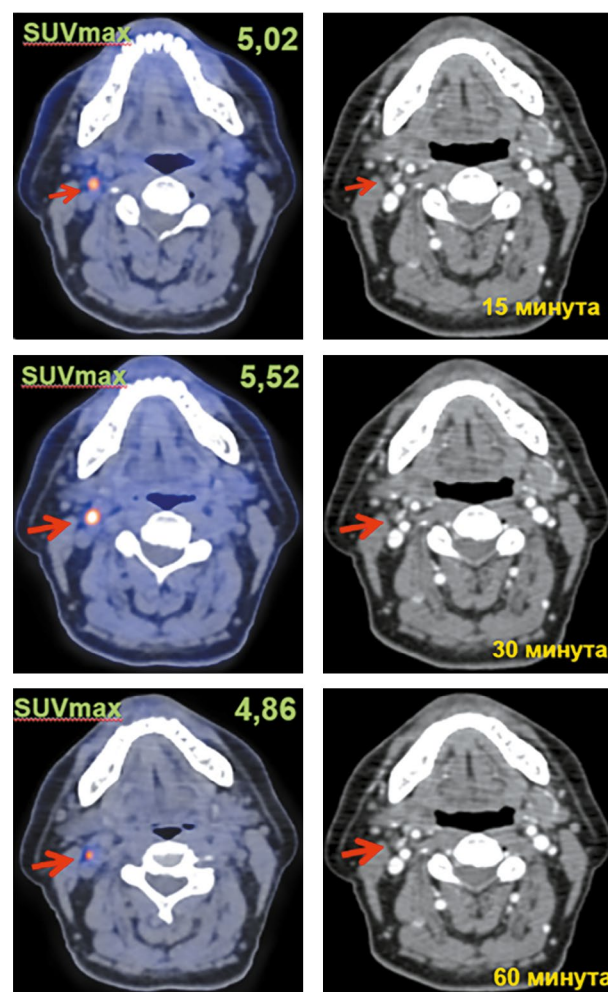


Рис. 4. Пациент Г., 63 года. ПЭТ/КТ с ^{18}F -ДОФА.

В аксиальной проекции ПЭТ/КТ- и КТ-исследовании в ложе удаленной ЩЖ, в проекции правой доли, узловое образование с повышенной фиксацией РФП размерами 6х3 мм.

Fig. 4. Case study of Patient G., age 63.

PET/CT with ^{18}F -DOPA demonstrating axial view of a nodular mass (6x3 mm) with RPA hyperfixation in the bed of the excised thyroid gland, in the projection of the right lobe.

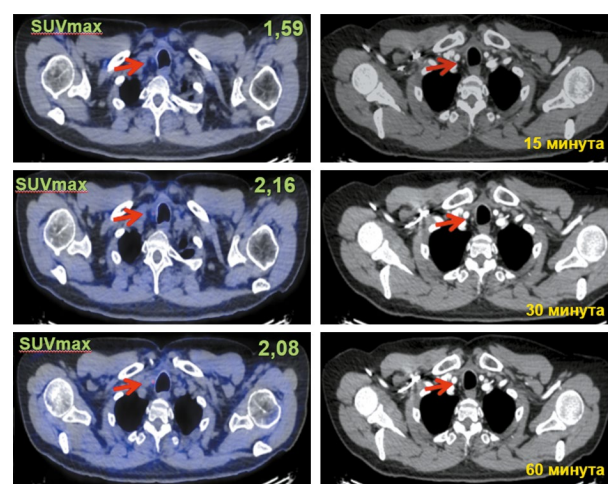
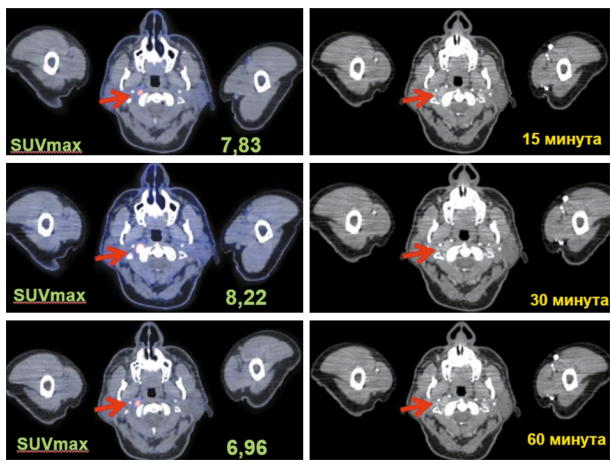


Рис. 5. Пациент Л., 58 лет. ПЭТ/КТ с ¹⁸F-ДОФА.

В аксиальной проекции ПЭТ/КТ- и КТ-исследовании в структуре длинной мышцы головы справа гипervasкулярное образование с гиперфиксацией РФП размерами 16×11 мм.

Fig. 5. Case study of Patient L., age 58.

PET/CT with ¹⁸F-DOPA demonstrating axial view of a hypervascular mass (16×11 mm) with RPA hyperfixation in the longus capitis muscle on the right.



лагается время сканирования через 30–60 мин [6]. Однако данные S. Taralli и соавт. (2020 г.) показали, что кинетика накопления ¹⁸F-ДОФА в различных нейроэндокринных опухолях может существенно различаться, а стандартная временная точка 60 мин подлежит сомнению [12].

В диагностике рецидивов МРЩЖ в доступной литературе имеются единичные публикации по клинической оценке раннего (15 мин) сканирования. Так, S. Taralli и соавт. (2020 г.) представили результаты выбора оптимального времени сканирования ПЭТ/КТ с ¹⁸F-ДОФА у 21 пациента с рецидивирующим МРЩЖ. Оценены три различных временных интервала динамического сканирования: ультраранняя фаза – 2–5 мин, ранняя – 5–10 мин, поздняя – 40–45 мин. Определяли SUVmax во всех выявленных очагах в течение 3 режимов сканирования. Ультрараннее и раннее сканирование обеспечили лучшую визуализацию очагов поражения относительно поздней фазы, причем среднее значение SUVmax в опухоли было в 2 раза выше при ультрараннем сканировании относительно последующих временных точек, а скорость вымывания составила 44%. Авторы предполагают целесообразность получения ранних ПЭТ/КТ уже через 2–5 мин после инъекции ¹⁸F-ДОФА [12].

Очаги патологического накопления при МРЩЖ имеют быструю скорость вымывания. В связи с этим литературные данные указывают на более высокую частоту обнаружения специфических очагов на ранних фазах сканирования [18–21].

М. Kjaerulff и соавт. (2022 г.) сравнивали время сканирования на ранних (15 мин) и поздних (60 мин) фазах для выявления рецидивов с помощью ПЭТ/КТ с ¹⁸F-ДОФА при МРЩЖ. Чувствительность и специфичность составили для раннего сканирования 100 и 87,5%, а для позднего – по 100%. Поражения на ранней фазе сканирования были значительно интенсивнее относительно позднего сканирования при медиане частоты вымывания 33% [7].

Так, Н.В. Центр и соавт. (2024 г.) у 102 пациентов с биохимическим рецидивом МРЩЖ подтвердили преимущество раннего сканирования ПЭТ/КТ с ¹⁸F-ДОФА. Интенсивность SUVmax в патологических очагах в раннюю фазу сканирования, составившую 15 мин, была достоверно выше по сравнению со стандартным режимом через 30 мин [15].

В нашем исследовании каждому пациенту выполнена динамическая мультифазная ПЭТ/КТ с ¹⁸F-ДОФА с внутривенным контрастным усилением с тремя временными

Рис. 6. Пациент Л., 58 лет. ПЭТ/КТ с ¹⁸F-ДОФА.

В аксиальной проекции ПЭТ/КТ- и КТ-исследовании верхний паратрахеальный лимфатический узел справа с повышенной фиксацией РФП размерами 6 мм.

Fig. 6. Case study of Patient L., age 58.

PET/CT with ¹⁸F-DOPA demonstrating axial view of the upper paratracheal lymph node (6 mm) on the right with increased RPA fixation.

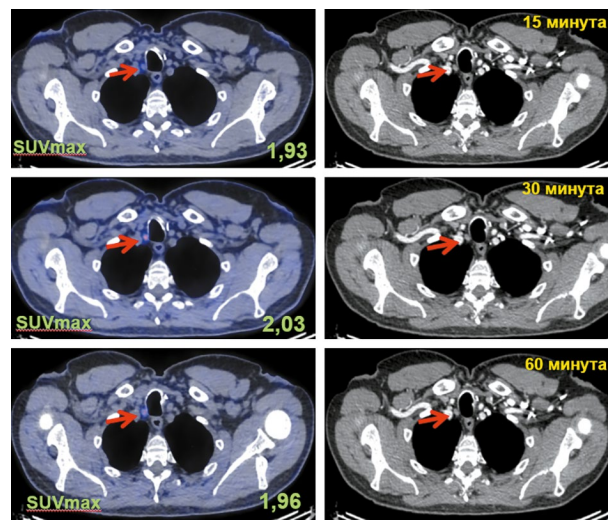
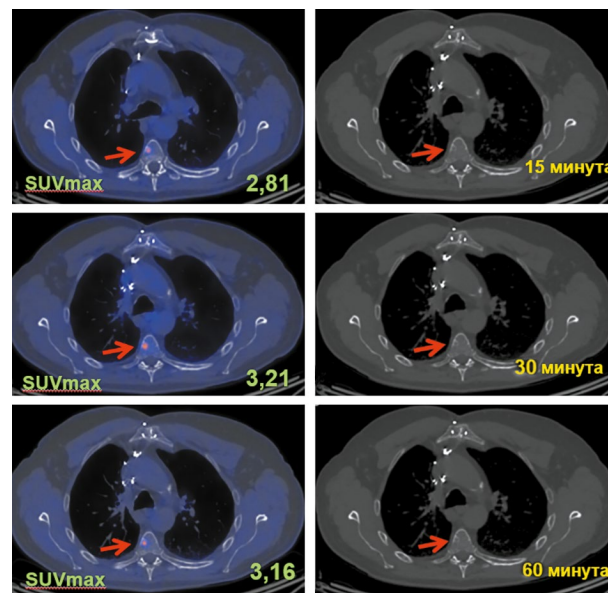


Рис. 7. Пациент Л., 58 лет. ПЭТ/КТ с ¹⁸F-ДОФА.

В аксиальной проекции ПЭТ/КТ- и КТ-исследовании в костях многочисленные очаги смешанной перестройки с гиперфиксацией РФП (все отделы позвоночника, ребра с обеих сторон, кости таза, крестец, левая бедренная кость), таргетно: в теле Th₇ позвонка, размерами 25×16 мм.

Fig. 7. Case study of Patient L., age 58.

PET/CT with ¹⁸F-DOPA demonstrating axial view of multiple foci of mixed rearrangement in bones with RPA hyperfixation (all parts of the spine, ribs on both sides, pelvic bones, sacrum, and left femur); targeted at the focus of 25×16 mm in the Th₇ vertebra.



точками через 15, 30 и 60 мин после внутривенного введения ¹⁸F-ДОФА. Оценивали анатомическую локализацию очагов гиперфиксации РФП и динамику показателя SUVmax в каждую временную точку. Следует подчеркнуть, что подобный трехфазный протокол используется крайне редко. Согласно полученным данным на 15-й минуте сканирования идентифицировано 25 (83,3%) очагов патологического накопления из 30, на 30-й минуте – 29 (96,7%), на

60-й минуте – 24 (80%), различия между 30 и 60-й минутами статистически значимы.

Всего верифицировано 30 очагов патологического накопления РФП. Местный рецидив обнаружен у 9 из 10 пациентов, метастатическое поражение регионарных лимфатических узлов – у всех 10 пациентов, суммарно – 16 очагов. Отдаленные метастазы выявлены в одном случае – 5 очагов.

Мы продемонстрировали, что пик концентрации ^{18}F -ДОФА в очагах местного рецидива и метастатических лимфатических узлах регистрируется на 30-й минуте после введения РФП. Для местного рецидива средний SUVmax на 30-й минуте составил 2,97, а к 60-й минуте наблюдалось достоверное снижение его до 2,45, т.е. произошло так называемое вымывание РФП на 17,5%. Для лимфогенных метастазов выявлена аналогичная закономерность. Так, максимальную интенсивность SUVmax 3,49 наблюдали на 30-й минуте сканирования с последующим снижением до 2,78, вымывание составило 20,3%. Это имеет принципиальное клиническое значение, поскольку позднее сканирование на 60-й минуте может привести к ложноотрицательным результатам вследствие снижения соотношения «опухоль/фон». Приведенная ситуация особенно критична для мелких опухолевых очагов и при низких уровнях кальцитонина.

Биологической основой феномена вымывания является более высокое поглощение ^{18}F -ДОФА пораженными тканями из-за избыточной экспрессии в них транспортеров аминокислот LAT-типа [22, 23]. Вместе с тем быстрое вымывание РФП является характеристикой метастатических клеток. После декарбоксилирования образуется дофамин, который удерживается в клетке во внутриклеточных секреторных пузырьках везикулярным транспортером VMAT. Длительность сохранения РФП зависит от уровня экспрессии и активности VMAT и/или декарбоксидазы и вариантов гистологического строения опухоли, за которой следует медленное уменьшение опухолевой активности с течением времени, а средняя интенсивность вымывания составляет 28–40% [18, 19].

Согласно данным динамики накопления РФП в 30 патологических очагах в ложе ЩЖ и метастазах в регионарных лимфоузлах при МРЩЖ величина SUVmax была максимальной на 30-й минуте сканирования с последующим достоверным снижением ее на 60-й минуте за счет вымывания на 17,5 и 23% соответственно.

Примечательной находкой нашего исследования являются гендерные различия метаболической активности ^{18}F -ДОФА в метастатических лимфатических узлах. Показатели SUVmax у мужчин были значимо выше, чем у женщин, на всех временных точках сканирования, достигая максимума на 30-й минуте – 4,45 и 2,53 соответственно; $p < 0,05$. Такая особенность интенсивности накопления РФП в лимфатических узлах у больных МРЩЖ при ПЭТ/КТ с ^{18}F -ДОФА в литературе не описана. Возможные объяснения этого явления включают гендерные различия в экспрессии транспортера аминокислот LAT1, который модулируется половыми гормонами [24]. Кроме того, известно, что МРЩЖ у мужчин отличается более агрессивным течением и достоверно более высоким базальным уровнем кальцитонина относительно женщин. Можно предположить, что более высокая метаболическая активность ^{18}F -ДОФА у мужчин отражает высокую экспрессию декарбоксилазы и более интенсивный аминокислотный метаболизм в опухолевых клетках, что соотносится с биологической агрессивностью. Это может косвенно отражать повышенную плотность нейросекреторных гранул и, соответственно, интенсивный захват ДОФА [25].

В связи с этим при интерпретации результатов ПЭТ/КТ с ^{18}F -ДОФА у женщин следует использовать более низкие пороговые значения SUVmax при оценке метастатических лимфоузлов во избежание ложноотрицательных заключений.

Обнаруженная нами сильная прямая корреляция между длительностью латентного периода и значениями SUVmax в зоне местного рецидива представляет значительный интерес. Данную зависимость можно объяснить несколькими механизмами. Прежде всего, более длительный латентный период может свидетельствовать о медленном растущем рецидиве, который к моменту ПЭТ/КТ достигает достаточного объема опухолевой ткани для высокого накопления РФП. Кроме того, с течением времени в клетках рецидивной опухоли может увеличиваться уровень экспрессии переносчиков аминокислот и активности ферментов декарбоксилирования [26].

J. Barbet и соавт. (2005 г.) отмечали, что кинетика кальцитонина в послеоперационном периоде при МРЩЖ имеет прогностическое значение, а более медленный рост маркера ассоциирован с лучшим ответом на системную терапию. Наши данные дополняют эту концепцию, показывая, что временной фактор влияет как на биохимические, так и на метаболические характеристики рецидивной опухоли по данным функциональной визуализации [27].

Топический анализ метастатического поражения лимфатических узлов в нашем исследовании выявил наибольшую метаболическую активность SUVmax 4,63 в лимфоузлах VI уровня, что является закономерным, учитывая их непосредственную анатомическую близость к ложу ЩЖ и, вероятно, больший объем опухолевой ткани. Минимальные значения SUVmax зарегистрированы в лимфоузлах IV уровня (2,21), что может быть обусловлено меньшим размером метастатических очагов или эффектом парциального объема [28]. Приведенные данные имеют практическое значение при оценке результатов ПЭТ/КТ латеральных лимфатических узлов, учитывая более низкие ожидаемые значения SUVmax.

Проведенное исследование является одним из немногих, в которых оценивали динамическую мультифазную ПЭТ/КТ с ^{18}F -ДОФА как передовой метод визуализации выявления возврата заболевания при МРЩЖ, включая наличие биохимического рецидива. Перспективным направлением является внедрение стандартизированного мультифазного протокола ПЭТ/КТ с ^{18}F -ДОФА в персонализированный диагностический алгоритм, который обеспечивает высокое качество полученных результатов с учетом уровня кальцитонина, времени удвоения биохимических маркеров, пола пациента и длительности латентного периода. Результаты представленной работы свидетельствуют о том, что 30-минутная фаза сканирования является оптимальным стандартом в рутинной клинической практике. Ранняя (15 мин) и отсроченная (60 мин) фазы сканирования позволяют получить дополнительную информацию о динамике ^{18}F -ДОФА, что способствует разрешению сложных диагностических ситуаций.

Заключение

Мультифазная ПЭТ/КТ с ^{18}F -ДОФА является высокоинформативным методом диагностики рецидивов МРЩЖ – в нашей серии чувствительность составила 90% в пересчете – на пациента. Оптимальным временем сканирования является 30 мин после введения РФП как для оценки местного рецидива, так и для выявления метастазов в регионарные лимфоузлы. SUVmax в этой точке достигает максимального значения. Отсроченное сканирование на 60-й минуте может сопровождаться недооценкой метаболической активности патологических очагов вследствие вымывания ^{18}F -ДОФА на 17,5–20,9%, что принципиально отличает этот трейсер от ^{18}F -фтордезоксиглюкозы.

Впервые выявлены статистически значимые гендерные различия метаболической активности в лимфогенных метастазах – SUVmax достоверно выше у мужчин, что требует гендер-специфичных пороговых значений при описании результатов ПЭТ/КТ. Сильная корреляция SUVmax с длительностью латентного периода открывает новые возможности для персонализированной интерпретации результатов исследования.

Раскрытие конфликта интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Disclosure of interest. The authors declare that they have no competing interests.

Вклад авторов. Авторы декларируют соответствие своего авторства международным критериям ICMJE. Н.А. Огнерубов – концептуализация, формальный анализ, исследование, методология, управление проектом, надзор, валидация, написание – первоначальный вариант, написание – рецензирование и редактирование; О.О. Мирсалимова – курация данных, визуализация, исследование, ресурсы.

Authors' contribution. The authors declare the compliance of their authorship according to the international ICMJE criteria. N.A. Ognerubov – conceptualization, formal analysis, investigation, methodology, project administration, supervision, validation, writing – original draft preparation, writing – review & editing; O.O. Mirsalimova – data curation, visualization, investigation, resources.

Источник финансирования. Авторы декларируют отсутствие внешнего финансирования для проведения исследования и публикации статьи.

Funding source. The authors declare that there is no external funding for the exploration and analysis work.

Раскрытие информации об использовании ИИ. При написании статьи ИИ не использовался.

Disclosing the use of AI. No AI was used when writing the article.

Информированное согласие на публикацию. Пациенты подписали форму добровольного информированного согласия на публикацию медицинской информации.

Consent for publication. Written consent was obtained from the patients for publication of relevant medical information and all of accompanying images within the manuscript.

Литература/References

- Boucai L, Zafereo M, Cabanillas ME. Thyroid Cancer: A Review. *JAMA*. 2024;331(5):425-35. DOI:10.1001/jama.2023.26348
- Chen J, Chen J, Zhang M, Hong Y. All-cause mortality in patients with medullary thyroid carcinoma of different ages: an inverse L-curve analysis study. *Front Endocrinol (Lausanne)*. 2025;16:1574985. DOI:10.3389/fendo.2025.1574985
- Jager EC, Brouwers AH, Metman MJH, et al. The value of (18)F-FDG PET/CT and (18)F-DOPA PET/CT in determining the initial surgical strategy of patients with medullary thyroid cancer: Preoperative PET/CT imaging for medullary thyroid cancer. *Cancer Imaging*. 2025;25(1):41. DOI:10.1186/s40644-025-00862-4
- Muñoz de Nova JL, Valdés de Anca A, Torres Mínguez E, Martín-Pérez E. Narrative review of neck reinterventions for medullary thyroid carcinoma: indications and outcomes. *Ann Thyroid*. 2021;6:11-1. DOI:10.21037/aot-21-12
- Oh MY, Jung KY, Choi H, et al. Distinct Impacts of Clinicopathological and Mutational Profiles on Long-Term Survival and Recurrence in Medullary Thyroid Carcinoma. *Endocrinol Metab (Seoul)*. 2024;39(6):877-90. DOI:10.3803/EnM.2024.2027
- Giovannella L, Treglia G, Iakovou I, et al. EANM practice guideline for PET/CT imaging in medullary thyroid carcinoma. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2020;47(1):61-77. DOI:10.1007/s00259-019-04458-6
- Kjærulff MLG, Dias AH, Iversen P, et al. Early acquisition of [(18)F]FDOPA PET/CT imaging in patients with recurrent or residual medullary thyroid cancer is safe-and slightly better! *Eur J Hybrid Imaging*. 2022;6(1):20. DOI:10.1186/s41824-022-00140-7
- Barollo S, Bertazza L, Watutantrige-Fernando S, et al. Overexpression of L-Type Amino Acid Transporter 1 (LAT1) and 2 (LAT2): Novel Markers of Neuroendocrine Tumors. *PLoS One*. 2016;11(5):e0156044. DOI:10.1371/journal.pone.0156044

- Hoegerle S, Althoefer C, Ghanem N, et al. 18F-DOPA positron emission tomography for tumour detection in patients with medullary thyroid carcinoma and elevated calcitonin levels. *Eur J Nucl Med*. 2001;28(1):64-71. DOI:10.1007/s002590000404
- Treglia G, Cociolillo F, Di Nardo F, et al. Detection rate of recurrent medullary thyroid carcinoma using fluorine-18 dihydroxyphenylalanine positron emission tomography: a meta-analysis. *Acad Radiol*. 2012;19(10):1290-9. DOI:10.1016/j.acra.2012.05.008
- Fargette C, Imperiale A, Taieb D. Molecular imaging of endocrine neoplasms with emphasis on 18F-DOPA PET: a practical approach for well-tailored imaging protocols. *Q J Nucl Med Mol Imaging*. 2022;66(2):141-7. DOI:10.23736/S1824-4785.22.03450-1
- Taralli S, Lorusso M, Capotosti A, et al. Which Is the Optimal Scan Time of 18F-DOPA PET/CT in Patients With Recurrent Medullary Thyroid Carcinoma?: Results From a Dynamic Acquisition Study. *Clin Nucl Med*. 2020;45(3):e134-40. DOI:10.1097/RLU.0000000000002925
- Zhang Z, Yu J, Rainer E, et al. The role of [18F]-DOPA PET/CT in diagnostic and prognostic assessment of medullary thyroid cancer: a 15-year experience with 109 patients. *Eur Thyroid J*. 2024;13(4):e240089. DOI:10.1530/ETJ-24-0089
- Laure Giraudet A, Al Ghulzan A, Aupérin A, et al. Progression of medullary thyroid carcinoma: assessment with calcitonin and carcinoembryonic antigen doubling times. *Eur J Endocrinol*. 2008;158(2):239-46. DOI:10.1530/EJE-07-0667
- Центр Н.В., Рыжкова Д.В. Оптимизация протокола ПЭТ/КТ исследования с [18F]-ДОФА у пациентов с метастатическим раком щитовидной железы: проспективное исследование. *Учёные записки СПбГМУ им. акад. И.П. Павлова*. 2024;31(4):27-33 [Tsentr NV, Ryzhkova DV. Optimization of [18F]-DOPA PET/CT Protocol in Patients with Medullary Thyroid Carcinoma: a Prospective Study. *The Scientific Notes of Pavlov University*. 2024;31(4):27-33 (in Russian)]. DOI:10.24884/1607-4181-2024-31-4-27-33
- Luster M, Karges W, Zeich K, et al. Clinical value of 18-fluorine-fluorodihydroxyphenylalanine positron emission tomography/computed tomography in the follow-up of medullary thyroid carcinoma. *Thyroid*. 2010;20(5):527-33. DOI:10.1089/thy.2009.0342
- Archier A, Heimburger C, Guerin C, et al. (18)F-DOPA PET/CT in the diagnosis and localization of persistent medullary thyroid carcinoma. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2016;43(6):1027-33. DOI:10.1007/s00259-015-3227-y
- Treglia G, Stefanelli A, Castaldi P, Rufini V. A standardized dual-phase 18F-DOPA PET/CT protocol in the detection of medullary thyroid cancer. *Nucl Med Commun*. 2013;34(2):185-6. DOI:10.1097/MNM.0b013e32835af6b7
- Soussan M, Nataf V, Kerrou K, et al. Added value of early 18F-FDOPA PET/CT acquisition time in medullary thyroid cancer. *Nucl Med Commun*. 2012;33(7):775-9. DOI:10.1097/MNM.0b013e3283543304
- Golubici AT, Pasini Nemir E, Žuvić M, et al. The value of 18F-DOPA PET/CT in patients with medullary thyroid carcinoma and increased calcitonin values. *Nucl Med Commun*. 2017;38(7):636-41. DOI:10.1097/MNM.0000000000000696
- Caobelli F, Chiaravalloti A, Evangelista L, et al. Predictive and prognostic value of 18F-DOPA PET/CT in patients affected by recurrent medullary carcinoma of the thyroid. *Ann Nucl Med*. 2018;32(1):7-15. DOI:10.1007/s12149-017-1213-0
- Koopmans KP, Neels ON, Kema IP, et al. Molecular imaging in neuroendocrine tumors: molecular uptake mechanisms and clinical results. *Crit Rev Oncol Hematol*. 2009;71(3):199-213. DOI:10.1016/j.critrevonc.2009.02.009
- Santhanam P, Taieb D. Role of (18) F-FDOPA PET/CT imaging in endocrinology. *Clin Endocrinol (Oxf)*. 2014;81(6):789-98. DOI:10.1111/cen.12566
- Yanagida O, Kanai Y, Chairoungdua A, et al. Human L-type amino acid transporter 1 (LAT1): characterization of function and expression in tumor cell lines. *Biochim Biophys Acta*. 2001;1514(2):291-302. DOI:10.1016/s0005-2736(01)00384-4
- Lederer A, Kessler CJ, Bouzakri N, et al. The Pitfalls of Calcitonin as a Tumor Marker: Real-Life Data of Patients with Elevated Basal Calcitonin Levels but Without Evidence of Medullary Thyroid Carcinoma. *JCM*. 2026;15(7):2500. DOI:10.3390/jcm15072500
- Ceolin L, Duval MADS, Benini AF, et al. Medullary thyroid carcinoma beyond surgery: advances, challenges, and perspectives. *Endocr Relat Cancer*. 2019;26(9):R499-518. DOI:10.1530/ERC-18-0574
- Barbet J, Campion L, Kraeber-Bodéré F, et al. Prognostic impact of serum calcitonin and carcinoembryonic antigen doubling-times in patients with medullary thyroid carcinoma. *J Clin Endocrinol Metab*. 2005;90(11):6077-84. DOI:10.1210/jc.2005-0044
- Soret M, Bacharach SL, Buvat I. Partial-volume effect in PET tumor imaging. *J Nucl Med*. 2007;48(6):932-45. DOI:10.2967/jnumed.106.035774

Информация об авторах / Information about the authors

✉ **Огнерубов Николай Алексеевич** – д-р мед. наук, д-р юрид. наук, проф., проф. каф. онкологии и паллиативной медицины им. А.И. Савицкого ФГБОУ ДПО РМАНПО, засл. работник высшей школы РФ, засл. врач РФ. E-mail: ognerubov_n.a@mail.ru

Мирсалимова Ольга Олеговна – врач-радиолог Федеральной сети центров ядерной медицины «ПЭТ-Технолоджи»

✉ **Nikolai A. Ognerubov** – D. Sci. (Med.), D. Sci. (Jur.), Prof., Russian Medical Academy of Continuous Professional Education. E-mail: ognerubov_n.a@mail.ru; ORCID: 0000-0003-4045-1247

Olga O. Mirsalimova – MD, Radiol., Federal Network of Nuclear Medicine Centers PET-Technology. ORCID: 0009-0007-8600-7586

Статья поступила в редакцию / Submitted: 27.02.2026

Поступила после рецензирования / Submitted after peer review: 19.03.2026

Принята к печати / Accepted for publication: 28.04.2026

