

## ВОЗМОЖНОСТИ ПЭТ/КТ С 11С-ХОЛИНОМ КАК МЕТОДА ТОПИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ АДЕНОМ ОКОЛОЩИТОВИДНЫХ ЖЕЛЕЗ У БОЛЬНЫХ ПЕРВИЧНЫМ ГИПЕРПАРАТИРЕОЗОМ

Погосян К. А., Каронова Т. Л., Рыжкова Д. В., Яневская Л. Г., Цой У. А., Юдина О. В., Иваниха Е. В., Гринева Е. Н.

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр имени В. А. Алмазова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

**Контактная информация:**  
Погосян Карина Александровна,  
ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова»  
Минздрава России,  
ул. Аккуратова, д. 2, Санкт-Петербург,  
Россия, 197341.  
E-mail: karina.a.pogosyan@gmail.com

Статья поступила в редакцию 09.02.2023  
и принята к печати 28.04.2023.

### Резюме

**Актуальность.** Топическая диагностика первичного гиперпаратиреоза (ПГПТ) остается актуальной проблемой ввиду высокой частоты развития персистенции и рецидивов после хирургического лечения. На предоперационном этапе проводится поиск источника гиперпродукции паратиреоидного гормона с помощью инструментальных методов: ультразвуковое исследование (УЗИ), сцинтиграфия околощитовидных желез (ОЩЖ) и мультиспиральная компьютерная томография (МСКТ). Случаи персистенции и рецидивов ПГПТ после паратиреоидэктомии могут быть обусловлены множественным характером поражения ОЩЖ или их эктопированным расположением. С целью улучшения диагностики применяются дополнительные методы визуализации аденом ОЩЖ, например, позитронно-эмиссионная компьютерная томография (ПЭТ/КТ). **Цель.** Сравнить чувствительность и специфичность ПЭТ/КТ с 11С-холином с характеристиками традиционных методов топической диагностики аденом ОЩЖ. **Материалы и методы.** Были проанализированы данные 16 пациентов с ПГПТ. Всем пациентам было выполнено УЗИ. Субтракционная сцинтиграфия с  $^{99m}\text{Tc}$ -технетрилом/ $^{99m}\text{Tc}$ -пертехнитатом и МСКТ были выполнены 12 и 16 больным соответственно. ПЭТ/КТ с 11С-холином использовалась в качестве завершающего визуализирующего метода у всех пациентов. За истинно положительный результат принимались случаи совпадения результатов как минимум двух исследований. **Результаты.** Чувствительность ПЭТ/КТ с 11С-холином составила 94 %, МСКТ, субтракционной сцинтиграфии с  $^{99m}\text{Tc}$ -технетрилом/ $^{99m}\text{Tc}$ -пертехнитатом и УЗИ — 75 %, 69 % и 63 % соответственно. Специфичность ПЭТ/КТ с 11С-холином, МСКТ, сцинтиграфии с  $^{99m}\text{Tc}$ -технетрилом/ $^{99m}\text{Tc}$ -пертехнитатом и УЗИ составила 100 %, 84 %, 76 % и 68 % соответственно. **Заключение.** ПЭТ/КТ с 11С-холином характеризовалась наилучшей чувствительностью и специфичностью среди всех методов топической диагностики ПГПТ и может стать альтернативой для визуализации аденом ОЩЖ при получении отрицательных или сомнительных результатов на предыдущих этапах диагностики.

**Ключевые слова:** мультиспиральная компьютерная томография, первичный гиперпаратиреоз, ПЭТ/КТ, сцинтиграфия, 11С-холин.

Для цитирования: Погосян К.А., Каронова Т.Л., Рыжкова Д.В., Яневская Л.Г., Цой У.А., Юдина О.В., Иваниха Е.В., Гринева Е.Н. Возможности ПЭТ/КТ с 11С-холином как метода топической диагностики аденом околощитовидных желез у больных первичным гиперпаратиреозом. Трансляционная медицина. 2023;10(2):88-95. DOI: 10.18705/2311-4495-2023-10-2-88-95.

## ROLE OF <sup>11</sup>C-CHOLINE PET/CT IN PARATHYROID ADENOMAS' LOCALIZATION IN PATIENTS WITH PRIMARY HYPERPARATHYROIDISM

Karina A. Pogolian, Tatiana L. Karonova, Daria V. Ryzhkova, Liubov G. Yanevskaya, Uliana A. Tsoy, Olga V. Yudina, Elena V. Ivanikha, Elena N. Grineva

Almazov National Medical Research Centre, Saint Petersburg, Russia

### Corresponding author:

Karina A. Pogolian,  
Almazov National Medical Research Centre,  
Akkuratova str., 2, Saint Petersburg, Russia,  
197341.

E-mail: karina.a.pogolian@gmail.com

Received 09 February 2023; accepted  
28 April 2023.

### Abstract

**Background.** Topical diagnosis of primary hyperparathyroidism (PHPT) remains an urgent problem due to the high incidence of persistence and recurrence after surgical treatment. At the preoperative stage, a search for the parathyroid hormone hyperproduction source is performed using instrumental methods: ultrasound, scintigraphy of the parathyroid glands (PTG) and multislice computed tomography (MSCT). The cause of PHPT persistence and recurrence after parathyroidectomy may be the multiple nature of PTG lesions or their ectopic location. Additional methods of visualization of PTG adenomas can be used to improve diagnosis (PET/CT). **Objective.** To compare the sensitivity and specificity of PET/CT with <sup>11</sup>C-choline with the traditional visualization techniques. **Design and methods.** 16 PHPT patients were analyzed. All patients underwent US, subtraction scintigraphy with <sup>99m</sup>Tc-technetium/<sup>99m</sup>Tc-pertechnetate and CT were performed in 12 and 16 patients, respectively. <sup>11</sup>C-choline PET/CT was used for all patients. Imaging results' coincidence of two methods were labeled as the true one. **Results.** The sensitivity of PET/CT with <sup>11</sup>C-choline was 94 %, CT, subtraction scintigraphy with <sup>99m</sup>Tc-technetium/<sup>99m</sup>Tc-pertechnetate and US — 75 %, 69 % and 63 %, respectively. The specificity of PET/CT with <sup>11</sup>C-choline, CT, scintigraphy with <sup>99m</sup>Tc-technetium/<sup>99m</sup>Tc-pertechnetate, and US was 100 %, 84 %, 76 %, and 68 %, respectively. **Conclusion.** PET/CT with <sup>11</sup>C-choline demonstrated best sensitivity and specificity among all methods and can become an alternative in PHPT diagnostics in case of negative or inconclusive results of previous visualization.

**Key words:** <sup>11</sup>C-choline, computed tomography, PET/CT, primary hyperparathyroidism, scintigraphy.

*For citation:* Pogolian KA, Karonova TL, Ryzhkova DV, Yanevskaya LG, Tsoy UA, Yudina OV, Ivanikha EV, Grineva EN. Role of <sup>11</sup>C-choline PET/CT in parathyroid adenomas' localization in patients with primary hyperparathyroidism. *Translyatsionnaya meditsina=Translational Medicine*. 2023;10(2):88-95. (In Russ.) DOI: 10.18705/2311-4495-2023-10-2-88-95.

**Список сокращений:** ИМТ — индекс массы тела, МИБИ — 2-метоксиизобутилизонитрил, МСКТ — мультиспиральная компьютерная томография, ОФЭКТ/КТ — однофотонная эмиссионная компьютерная томография, совмещенная с МСКТ, ОЦЖ — околощитовидные железы, ПГПТ — первичный гиперпаратиреоз, ПТГ — паратиреоидный гормон, ПТЭ — паратиреоидэктомия, ПЭТ/КТ — позитронно-эмиссионная томография, со-

вмещенная с МСКТ, РФП — радиофармпрепарат, УЗИ — ультразвуковое исследование, ЩФ — щелочная фосфатаза.

### Введение

Первичный гиперпаратиреоз (ПГПТ) — эндокринное заболевание, причиной возникновения которого является автономная продукция паратиреоидного гормона (ПТГ) аденомой/гиперплазией

околощитовидных желез (ОЩЖ) [1]. Паратиреоидэктомия (ПТЭ) — единственный радикальный способ лечения ПГПТ [1]. В настоящий момент с целью уменьшения рисков травматизации окружающих тканей, развития послеоперационного гипопаратиреоза и возникновения хирургических осложнений предпочтение отдают селективной ПТЭ. Такой подход возможен в случае визуализации аденомы ОЩЖ на этапе предоперационной диагностики [1]. Однако существуют случаи, когда визуализация аденом затруднительна, и в таких ситуациях выполняют двустороннюю ревизию шеи [2] с целью интраоперационной визуальной верификации аденомы ОЩЖ. Но, несмотря на выполнение расширенного хирургического вмешательства, у части больных возникает персистенция ПГПТ [2].

В настоящее время топическая диагностика ПГПТ включает ультразвуковое исследование (УЗИ), сцинтиграфию и мультиспиральную компьютерную томографию (МСКТ). При получении отрицательных или сомнительных результатов традиционных визуализирующих методов используют дополнительные, к ним относят магнитно-резонансную томографию, однофотонную эмиссионную компьютерную томографию, совмещенную с МСКТ (ОФЭКТ/КТ), позитронно-эмиссионную томографию, совмещенную с МСКТ (ПЭТ/КТ) [1].

Известно, что диагностический потенциал УЗИ значительно снижается в случаях эктопированных аденом ОЩЖ, расположенных позади трахеи, пищевода или в средостении [3]. В целом, чувствительность этого метода составляет 76–87 % [4]. Результаты УЗИ значительно зависят от опытности врача, выполняющего исследование [3]. Ложноположительные результаты УЗИ обычно соответствуют узлам щитовидной железы или лимфатическим узлам [4].

Способность поглощать 2-метоксиизобутилизонитрил (МИБИ), меченный изотопом технеция ( $^{99m}\text{Tc}$ ), клетками аденом ОЩЖ за счет наличия в них большого количества митохондрий объясняет возможность использования сцинтиграфии в диагностике ПГПТ [5]. Обычно этот метод относят к наиболее чувствительным и специфичным среди всех методов визуализации, и в случаях солитарных аденом ОЩЖ чувствительность может составлять от 80 % до 100 %. Однако чувствительность метода снижается при множественных аденомах ОЩЖ [2]. В настоящий момент предложено несколько модификаций сцинтиграфии [3], а именно: двухфазная и субтракционная сцинтиграфия, отличающиеся тем, что при двух-

фазной используется один РФП —  $^{99m}\text{Tc}$ -МИБИ, а при субтракционной — два РФП:  $^{99m}\text{Tc}$ -МИБИ и  $^{99m}\text{Tc}$ -пертезтитат или йодид натрия с  $^{123}\text{I}$ . В рамках радионуклидной диагностики в настоящее время также используется ОФЭКТ самостоятельно или в сочетании с КТ [3].

Традиционная МСКТ с контрастным усилением позволяет локализовать как типично расположенные, так и эктопированные ОЩЖ, а также оценить размеры образований [6]. Согласно литературным данным, чувствительность МСКТ составляет примерно 46–87 % [3]. Высокая стоимость исследования, лучевая нагрузка, необходимость в использовании йодсодержащего контраста ограничивают его использование в некоторых случаях [3].

В последнее время большой интерес представляет использование ПЭТ/КТ в диагностике ПГПТ [2]. При помощи этого метода возможно получение данных как об анатомических, так и о функциональных особенностях аденом ОЩЖ [7]. По данным литературы, в качестве РФП могут применяться  $^{11}\text{C}$ -метионин и  $^{11}\text{C}/^{18}\text{F}$ -холин, однозначного мнения о преимуществе использования одного РФП перед другим нет, однако в исследованиях последних лет значения чувствительности у  $^{11}\text{C}/^{18}\text{F}$ -холина были несколько выше [8]. Биологической основой накопления  $^{11}\text{C}/^{18}\text{F}$ -холина является повышенная концентрация фосфатидилхолина в клетках ОЩЖ [9]. Согласно отечественным рекомендациям [1], данный метод применяется в случае получения дискордантных результатов или отсутствия аденомы при использовании других методов визуализации [7].

**Цель исследования:** оценить диагностические возможности ПЭТ/КТ с  $^{11}\text{C}$ -холином по сравнению с традиционными методами топической диагностики.

#### Материалы и методы

Проведен анализ данных 16 больных с диагнозом ПГПТ, госпитализированных в НМИЦ им. Алмазова с июня по декабрь 2022 года. Были оценены антропометрические (вес, рост, индекс массы тела (ИМТ)) и лабораторные показатели (уровни ПТГ, общего и ионизированного кальция, 25-гидроксивитамина D (25(OH)D), фосфора, щелочной фосфатазы (ЩФ) и показатели суточной кальциурии).

Критериями включения в исследование были:

— пациенты — мужчины и женщины в возрасте от 18 до 75 лет с биохимически подтвержденным диагнозом ПГПТ (повышенный уровень ПТГ и гиперкальциемия или двукратное повышение уровня ПТГ и нормокальциемия, а также 25(OH)

$D > 30$  нг/мл и расчетная скорость клубочковой фильтрации  $> 60$  мл/мин/1,73 м<sup>2</sup>) [1, 2];

- наличие результатов как минимум двух методов топической диагностики ПГПТ, а именно: УЗИ, сцинтиграфии с <sup>99m</sup>Tc-сестамиби/<sup>99m</sup>Tc-пертехнитатом, МСКТ с внутривенным контрастированием, а также ПЭТ/КТ с <sup>11</sup>C-холином.

Диагноз ПГПТ был подтвержден на основании биохимических критериев (повышенный уровень ПТГ, высокий или нормальный уровень общего или ионизированного кальция в сыворотке), были исключены вторичные причины гиперпаратиреоза [1].

Критериями невключения в исследование были:

- патология почек со снижением расчетной скорости клубочковой фильтрации ниже 45 мл/мин/1,73 м<sup>2</sup>;
- текущие острые состояния (инфаркт миокарда, острое нарушение мозгового кровообращения и др.);
- тяжелые хронические заболевания печени, легких, сердечно-сосудистой системы (ХСН ФК III, IV, цирроз печени);
- прием глюкокортикостероидов;
- алкогольная и наркотическая зависимость.

Таким образом, всем пациентам выполнили УЗИ, субтракционную сцинтиграфию с <sup>99m</sup>Tc-МИ-БИ/<sup>99m</sup>Tc-пертехнитатом (12 человек) или/и МСКТ (16 человек). ПЭТ/КТ с <sup>11</sup>C-холином была выполнена всем включенным в исследование пациентам. Впоследствии 7 из 16 пациентов была проведена ПТЭ, у 8 — запланирована ПТЭ на 2023 год, у одного пациента имеет место МЭН-1 синдром, в настоящий момент удалено 3,5 ОЩЖ, коррекция гиперкальциемии проводится консервативным путем. При оценке чувствительности и специфичности методов за истинный результат принимались случаи совпадения результатов как минимум двух исследований. У пациентов с выполненной ПТЭ результаты гистологического исследования были сопоставлены с данными визуализирующих методов.

Исследование было одобрено этическим комитетом Национального медицинского исследовательского центра им. В. А. Алмазова, Санкт-Петербург, Россия (№2004020), и проводилось в соответствии с принципами Хельсинкской декларации 1964 года и ее более поздних поправок или сопоставимых стандартов. У всех пациентов было получено письменное информированное согласие.

Всем больным, включенным в исследование, проводилось УЗИ (Vivid 3, GE Healthcare, Мальборо, Массачусетс, США) с использованием высокочастотного линейного датчика. Производился поиск аденом ОЩЖ от уровня выше щитовидной

железы до уровня ключицы. Положительным результатом считали круглое или овальное четко очерченное гипоэхогенное образование, ограниченное эхогенной линией и окруженное гиперэхогенной тканью щитовидной железы.

Планарную сцинтиграфию выполняли с использованием 2 РФП (<sup>99m</sup>Tc-МИБИ и <sup>99m</sup>Tc-пертехнитата) при помощи гамма-камеры с двумя головками (E.CAM, Siemens Medical Solutions, Эрланген, Германия). Первыми получали изображения после введения 70 МБк <sup>99m</sup>Tc-пертехнитата. На следующий день вводили 700 МБк <sup>99m</sup>Tc-МИ-БИ и через 10 минут получали изображения ранней фазы, через 2 часа — отсроченные. Субтракция выполнялась с использованием программного обеспечения гамма-камеры: из ранних и отсроченных МИБИ-изображений вычитали изображения, полученные после введения <sup>99m</sup>Tc-пертехнитата. Области повышенного поглощения МИБИ на отсроченных и субтракционных изображениях расценивались как положительный результат.

МСКТ выполняли с использованием 128-срезового мультidetекторного КТ-аппарата (Philips Ingenuity CT, Кливленд, США). Сканирование проводилось от уровня нижней челюсти до уровня карины. Были получены изображения без контрастного усиления и после введения йодсодержащего контрастного вещества. Артериальная и отсроченная фазы соответствовали 25 и 80 с с момента начала введения контраста.

ПЭТ/КТ с <sup>11</sup>C-холином выполнялась с использованием сканера Discovery 710 (GE Healthcare, Милуоки, Висконсин, США). Статическое сканирование проводили через 10 минут после внутривенного введения 350–600 МБк <sup>11</sup>C-холина. ПЭТ/КТ-сканирование проводилось от уровня основания черепа до уровня диафрагмы. Сначала были получены снимки для коррекции аттенуации при помощи низкодозной КТ. Затем — статические ПЭТ-сканы, каждое из которых длилось 10 минут. После этого выполняли МСКТ с введением внутривенного контрастирования, изображения получали в нативную, артериальную, отсроченную фазы. Отсроченное сканирование выполняли через 80 секунд после введения контраста. За ПЭТ-признаки аденомы ОЩЖ (положительный результат) принимали очаг гиперфиксации <sup>11</sup>C-холина, превышающей фоновые значения, с типичными анатомическими аномалиями или без них по данным МСКТ. Полученные изображения были проанализированы специалистом лучевой диагностики с 20-летним стажем работы в области ядерной медицины, ежегодно просматривающим в среднем 100 подобных исследований.

В рамках статистического анализа использовались методы непараметрической статистики. Результаты представлены в виде медиан (Me) и квартилей (25; 75).

Для оценки показателей диагностической точности использовались следующие формулы чувствительности и специфичности. Значению чувствительности соответствовало частное истинно положительных результатов и суммы истинно положительных и ложноотрицательных результатов. Специфичности соответствовало частное истинно отрицательных результатов и суммы истинно отрицательных и ложноположительных результатов.

### Результаты

В исследование было включено 16 пациентов, медиана возраста составила 62 (56; 69) года. Среди включенных пациентов с ПГПТ большинством были женщины (81 %). Лабораторные и демографические характеристики пациентов с ПГПТ представлены в таблице 1.

У всех пациентов имела место манифестная форма ПГПТ в виде поражений костной системы (патологические переломы, фиброзно-кистозный остит), мочевыделительной системы (нефролитиаз, нефрокальциноз) и желудочно-кишечного тракта (эрозивный гастрит, эрозивный рефлюкс-эзофагит, язвенная болезнь и желчнокаменная болезнь).

Диагностическая точность всех методов представлена в таблице 2.

Семи больным была выполнена ПТЭ, в интра- и послеоперационном периоде определены уровни ПТГ, кальция. Всего было удалено 8 образований, у шестерых пациентов имела место одиночная аденома. Одна аденома была эктопирована. В одном случае имело место множественное поражение ОЩЖ: сочетание гиперплазии и аденомы.

Дополнительно были проанализированы дозы лучевой нагрузки, полученные пациентами при проведении различных визуализирующих методов исследования. Так, лучевая нагрузка при проведении субтракционной сцинтиграфии составила 13,44, мЗв, ПЭТ/КТ с <sup>11</sup>C-холином — 14,1 мЗв, МСКТ — 16 мЗв.

### Обсуждение

ПЭТ/КТ с <sup>11</sup>C-холином, предоставляя информацию как об анатомических, так и о функциональных особенностях, может являться одним из приоритетных методов визуализации при диагностике ПГПТ и заменить совместное использование МСКТ и сцинтиграфии у пациентов с ПГПТ с целью уменьшения количества выполняемых процедур и лучевой нагрузки. В данном исследовании

оценивается диагностическая точность ПЭТ/КТ с <sup>11</sup>C-холином, УЗИ, МСКТ и субтракционной сцинтиграфии с <sup>99m</sup>Tc-МИБИ/<sup>99m</sup>Tc-пертехнитатом у пациентов с ПГПТ.

По данным литературы в диагностике ПГПТ используется ПЭТ/КТ с <sup>11</sup>C-холином и <sup>11</sup>F-холином. Следует отметить, что радиоизотоп <sup>11</sup>C обладает периодом полураспада 20 минут, что существенно ниже, чем у радиоизотопа <sup>18</sup>F, период полураспада которого составляет 109 минут. В связи с этим при использовании <sup>11</sup>F-холина, в отличие от <sup>11</sup>C-метионина с ультракоротким полураспадом, не требуется оснащения учреждения циклотроном и радиохимической лабораторией, вследствие чего ПЭТ/КТ с <sup>11</sup>F-холином — более популярное исследование, чем — с <sup>11</sup>C-холином. С другой стороны, при использовании РФП, меченного радиоизотопом <sup>11</sup>C, существенно снижается лучевая нагрузка с 9 мЗв до 3,5–4 мЗв, поэтому в ПЭТ-центрах, оснащенных циклотроном, предпочтительно использование ПЭТ/КТ с <sup>11</sup>C-холином. Существует небольшое количество исследований, оценивающих диагностическую точность ПЭТ/КТ с <sup>11</sup>C-холином в рамках диагностики ПГПТ. Так, используя интернет-ресурс [pubmed.gov](http://pubmed.gov), при включении слов: «PET/CT, <sup>11</sup>C-choline, primary hyperparathyroidism» в поиск было найдено 4 исследования, посвященных этой теме за период с 2010 по 2023 годы.

Одним из них является крупное проспективное исследование, в которое было включено 100 пациентов с ПГПТ [10]. Всем больным были выполнены субтракционная сцинтиграфия с <sup>99m</sup>Tc-МИБИ/<sup>123</sup>I с использованием ОФЭКТ/КТ и планарной технологии, а также ПЭТ/КТ с <sup>11</sup>C-холином, после чего была проведена ПТЭ. Чувствительность ПЭТ/КТ с <sup>11</sup>C-холином и ОФЭКТ/КТ составили 82 % и 87 % соответственно. Авторы делают вывод о том, что оба метода обладают высокой диагностической точностью. Однако отмечают, что при проведении ОФЭКТ/КТ выше лучевая нагрузка и длительность процедуры, чем при выполнении ПЭТ/КТ с <sup>11</sup>C-холином. В другом ретроспективном исследовании были оценены диагностические возможности ПЭТ/КТ с <sup>11</sup>C-холином у 36 больных ПГПТ, после ранее полученных дискордантных результатов субтракционной сцинтиграфии и УЗИ. Всем пациентам была выполнена ПТЭ, на основании результатов гистологического исследования была оценена чувствительность ПЭТ/КТ с <sup>11</sup>C-холином, она составила 97 % [11]. По данным других исследований со сходным дизайном наблюдаются сравнимые значения чувствительности [9, 12].

Лучевая нагрузка при проведении ПЭТ/КТ с <sup>11</sup>C-холином такая же, как при использовании

Таблица 1. Общая характеристика больных ПГПТ

Table 1. General characteristics of patients with PHPT

Параметры	Медиана	Нижний квартиль	Верхний квартиль
Возраст, лет	62	56	69
Кальций ионизированный, ммоль/л	1,5	1,4	1,5
Кальций общий, ммоль/л	2,8	2,7	2,9
Суточная кальциурия, ммоль/сутки	8,0	2,5	8,9
Фосфор, ммоль/л	0,9	0,8	1,0
ПТГ, пг/мл	125,7	111,5	167,1
25(ОН)D, нг/мл	34,8	28,1	40
СКФ*, мл/мин/1,73 м <sup>2</sup>	81	68	86

Примечание: \* рассчитано по формуле СКД-ЕРІ. ПТГ — паратиреоидный гормон, 25(ОН)D — 25-гидроксивитамин D; СКФ — скорость клубочковой фильтрации.

Таблица 2. Диагностическая точность методов визуализации ПГПТ

Table 2. Diagnostic accuracy of PHPT imaging methods

Метод исследования	Чувствительность, %	Специфичность, %
УЗИ	63	68
Сцинтиграфия	75	84
МСКТ	69	76
ПЭТ/КТ	94	100

Примечание: УЗИ — ультразвуковое исследование, МСКТ — мультиспиральная компьютерная томография; ПЭТ/КТ — позитронно-эмиссионная томография в сочетании с компьютерной томографией.

субтракционной сцинтиграфии и МСКТ. Однако с учетом того, что при помощи ПЭТ/КТ можно получить данные об анатомических и функциональных особенностях, этот метод заменяет сочетанное использование субтракционной сцинтиграфии и МСКТ, что приводит к снижению уровня лучевой нагрузки в два раза. Дополнительно, хорошо известным преимуществом ПЭТ/КТ по отношению к ОФЭКТ или субтракционной сцинтиграфии является более высокое разрешение, что может повышать чувствительность метода.

Ограничением исследования является небольшой размер выборки, отсутствие гистологической верификации результата визуализации у каждого пациента. Необходимы дальнейшие проспек-

тивные исследования, в которые будет включено больше больных. Дополнительными ограничивающими факторами является относительно низкая доступность ПЭТ/КТ, потребность в циклотроне в месте проведения исследования. Стоит отметить, что стоимость проведения ПЭТ/КТ с 11С-холином выше отдельной стоимости субтракционной сцинтиграфии и МСКТ, однако сопоставима с общей.

#### Заключение

На основании анализа данных 16 больных наше исследование показало, что ПЭТ/КТ с 11С-холином обладает более высокой чувствительностью и специфичностью, чем традиционные методики диагностики ПГПТ. Таким образом, ПЭТ/КТ

с <sup>11</sup>C-холином может занять свое место в топической диагностике ПГПТ как минимум в качестве дополнительного метода визуализации в тех случаях, когда традиционные не позволяют локализовать аденому ОЩЖ.

#### Конфликт интересов / Conflict of interest

Авторы заявили об отсутствии потенциально-го конфликта интересов. / The authors declare no conflict of interest.

#### Благодарности / Acknowledgments

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (соглашение No. 075-15-2022-301). / The work was carried out with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Agreement No. 075-15-2022-301).

#### Список литературы / References

1. Mokrysheva NG, Eremkina AK, Mirnaya SS, et al. The clinical practice guidelines for primary hyperparathyroidism, short version. *Problems of Endocrinology*. 2021; 67(4):94–124. In Russian [Мокрышева Н.Г., Еремкина А.К., Мирная С.С. и др. Клинические рекомендации по первичному гиперпаратиреозу, краткая версия. *Проблемы эндокринологии*. 2021; 67(4):94–124]. DOI: 10.14341/probl12801.
2. Walker MD, Bilezikian JP. Primary Hyperparathyroidism. In: Feingold KR, Anawalt B, Blackman MR, et al. *Endotext* [Internet]. South Dartmouth (MA): MDText.com, Inc. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK278923/> (19 Apr 2021)
3. Cheung K, Wang TS, Farrokhvar F, et al. A meta-analysis of preoperative localization techniques for patients with primary hyperparathyroidism. *Ann Surg Oncol*. 2012; 19(2):577–583. DOI: 10.1245/s10434-011-1870-5.
4. Kunstman JW, Kirsch JD, Mahajan A, et al. Clinical review: Parathyroid localization and implications for clinical management. *J Clin Endocrinol Metab*. 2013; 98(3):902–912. DOI: 10.1210/jc.2012-3168.
5. Noureldine SI, Aygun N, Walden MJ, et al. Multiphase computed tomography for localization of parathyroid disease in patients with primary hyperparathyroidism: How many phases do we really need? *Surgery*. 2014; 156(6):1300–1306. DOI: 10.1016/j.surg.2014.08.002.
6. Habener JF, Maunus R, Dee PC, et al. Early events in the cellular formation of parathyroid hormone. *J Cell Biol*. 1980; 85(2):292–298. DOI: 10.1083/jcb.85.2.292.
7. Beggs AD, Hain SF. Localization of parathyroid adenomas using <sup>11</sup>C-methionine positron emission

tomography. *Nucl Med Commun*. 2005; 26(2):133–136. DOI: 10.1097/00006231-200502000-00009.

8. Mathey C, Keyzer C, Blocklet D, et al. <sup>18</sup>F-Fluorocholine PET/CT Is More Sensitive Than <sup>11</sup>C-Methionine PET/CT for the Localization of Hyperfunctioning Parathyroid Tissue in Primary Hyperparathyroidism. *J Nucl Med*. 2022; 63(5):785–791. DOI: 10.2967/jnumed.121.262395.

9. Noltes ME, Kruijff S, Noordzij W, et al. Optimization of parathyroid <sup>11</sup>C-choline PET protocol for localization of parathyroid adenomas in patients with primary hyperparathyroidism. *EJNMMI Res*. 2019; 9(1):73. DOI: 10.1186/s13550-019-0534-5.

10. Christensen JW, Ismail A, Søndergaard SB, et al. Preoperative imaging in primary hyperparathyroidism: Are <sup>11</sup>C-Choline PET/CT and <sup>99m</sup>Tc-MIBI/123 Iodide subtraction SPECT/CT interchangeable or do they supplement each other? *Clin Endocrinol (Oxf)*. 2022; 97(3):258–267. DOI: 10.1111/cen.14688.

11. Noltes ME, Kruijff S, Jansen L, et al. A retrospective analysis of the diagnostic performance of <sup>11</sup>C-choline PET/CT for detection of hyperfunctioning parathyroid glands after prior negative or discordant imaging in primary hyperparathyroidism. *EJNMMI Res*. 2021; 11(1):32. DOI: 10.1186/s13550-021-00778-7.

12. Liu Y, Dang Y, Huo L, et al. Preoperative Localization of Adenomas in Primary Hyperparathyroidism: The Value of <sup>11</sup>C-Choline PET/CT in Patients with Negative or Discordant Findings on Ultrasonography and <sup>99m</sup>Tc-Sestamibi SPECT/CT. *J Nucl Med*. 2020; 61(4):584–589. DOI: 10.2967/jnumed.119.233213.

#### Информация об авторах:

Погосян Карина Александровна, младший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории нейроэндокринных опухолей, НЦМУ «Центр персонализированной медицины», ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России;

Каронова Татьяна Леонидовна, д.м.н., профессор кафедры эндокринологии, главный научный сотрудник, руководитель лаборатории клинической эндокринологии, Институт эндокринологии, ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России;

Рыжкова Дарья Викторовна, д.м.н., профессор, заведующий кафедрой ядерной медицины и радиационных технологий с клиникой, Институт медицинского образования, ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России;

Яневская Любовь Геннадьевна, младший научный сотрудник лаборатории клинической эндокринологии, Институт эндокринологии, ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России;

Цой Ульяна Александровна, к.м.н., заведующий научно-исследовательской лабораторией нейроэндокрин-

ных опухолей, НЦМУ «Центр персонализированной медицины», ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России;

Юдина Ольга Васильевна, к.м.н., доцент кафедры ядерной медицины и радиационных технологий с клиникой, Институт медицинского образования, ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России;

Иваниха Елена Владимировна, к.м.н., врач-хирург отделения хирургических методов лечения онкологических больных, ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России;

Гринева Елена Николаевна, д.м.н., профессор, директор Института эндокринологии, главный научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории нейроэндокринных опухолей, НЦМУ «Центр персонализированной медицины», ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России.

#### **Author information:**

Karina A. Pogosian, MD, Junior Researcher, Research Laboratory of Neuroendocrine Tumours, World-Class Research Centre for Personalized Medicine, Almazov National Medical Research Centre;

Tatiana L. Karonova, MD, PhD, DSc, Professor, Department of Endocrinology, Leading Researcher, Head of Scientific Laboratory of Clinical Endocrinology, Institute of Endocrinology, Almazov National Medical Research Centre;

Daria V. Ryzhkova, MD, PhD, DSc, Professor, Department of Nuclear Medicine and Radiation Technology, Head of Clinical Research Department of Nuclear Medicine, Researcher, Department of the Nuclear Medicine and Theranostics, Almazov National Medical Research Centre;

Liubov G. Yanevskaya, MD, Junior Researcher, Clinical Endocrinology Laboratory, Almazov National Medical Research Centre;

Uliana A. Tsoy, MD, PhD, Head of Research Laboratory of Neuroendocrine Tumours, World-Class Research Centre for Personalized Medicine, Almazov National Medical Research Centre;

Olga V. Yudina, MD, PhD, Associate Professor, Department of the Nuclear Medicine and Theranostics, Almazov National Medical Research Centre;

Elena V. Ivanikha MD, PhD, surgeon, Department of Surgical Methods of Treatment of Cancer Patients, Almazov National Medical Research Centre;

Elena N. Grineva, MD, PhD, DSc, Professor, Director of Institute of Endocrinology Chief Research Associate, Research Laboratory of Neuroendocrine Tumours, World-Class Research Centre for Personalized Medicine, Almazov National Medical Research Centre.