

УДК 615.471

## СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ЯДЕРНОЙ МЕДИЦИНЫ В ДИАГНОСТИКЕ И ТЕРАПИИ ОНКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАБОЛЕВАНИЙ

*А. А. Юносова*

Донской государственный технический университет (г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация)

Сделан обзор современного высокотехнологичного оборудования, применяемого для радионуклидной диагностики онкологических заболеваний на ранних стадиях для исключения дальнейшего метастазирования опухоли и установления положительной динамики противоопухолевой терапии. Рассмотрен принцип действия и характерные особенности инновационного медицинского оборудования, используемого в радионавигационной хирургии в интраоперационный период для оценки качества выполненной резекции и обнаружения сторожевых лимфатических узлов.

**Ключевые слова:** радионуклидная диагностика, позитронно-эмиссионная томография, однофотонная эмиссионная компьютерная томография, гамма-камера, сторожевой лимфатический узел, радионавигационная хирургия, радиофармпрепарат.

## MODERN TECHNOLOGIES OF NUCLEAR MEDICINE IN DIAGNOSTICS AND THERAPY OF ONCOLOGICAL DISEASES

*A. A. Yunosova*

Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russian Federation)

The article provides a review of modern high-tech equipment used for radionuclide diagnostics of oncological diseases in the early stages to prevent further tumor metastasis and establish positive dynamics of antitumor therapy. The paper considers the principle of operation and characteristic features of innovative medical equipment used in radionavigation surgery in the intraoperative period for assessing the quality of resection performed and detecting sentinel lymph nodes.

**Keywords:** radionuclide diagnostics, positron emission tomography, single-photon emission computed tomography, gamma camera, sentinel lymph node, radionavigation surgery, radiopharmaceutical.

**Введение.** На сегодняшний день проблема своевременной диагностики онкологических заболеваний является одной из самых актуальных, так как обнаружение данного вида патологий на ранних этапах дает положительную динамику в процессе противоопухолевой терапии. Мощным методом современной клинической медицины является диагностика заболеваний человека путём введения в его организм радиоизотопов, содержащихся в индикаторных количествах в составе специальных фармацевтических препаратов (РФП), и визуализация пространственного распределения гамма-излучающих РФП в энергетическом диапазоне 35–662 кэВ для наблюдения и оценки физиологических функций внутренних органов и тканей. Изображения пространственного распределения РФП позволяют получать ценную диагностическую информацию. Цель данной статьи — проанализировать медицинское оборудование для радионуклидной диагностики, выявить достоинства данных аппаратов для диагностики онкологических новообразований на ранних стадиях заболевания.

**Основная часть.** В ядерной медицине наиболее распространённым методом клинической диагностики является статическая изотопная визуализация в плоскости. Планарные сцинтиграммы представляют собой двумерные распределения проекции трёхмерного распределения активности изотопов, находящихся в поле зрения детектора [1–2].

Традиционными методами диагностики сегодня являются однофотонная эмиссионная компьютерная томография (ОФЭКТ) и позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ), способная найти даже микроскопическое новообразование.

Однофотонная эмиссионная компьютерная томография — диагностический метод создания томографических изображений распределения радионуклидов. В ОФЭКТ применяются радиофармпрепараты, меченные радиоизотопами, ядра которых при каждом акте радиоактивного распада испускают только один гамма-квант (фотон). Данная технология позволяет формировать 3D-изображения в отличие от сцинтиграфии, использующей тот же принцип создания гамма-фотонов, но создающей лишь двухмерную проекцию. Основным функциональным блоком аппарата ОФЭКТ служит пара гамма-детекторов, вращающихся вокруг стола с пациентом, которому предварительно ввели РФП.

В основе позитронной эмиссионной томографии лежит явление спонтанного излучения (эмиссии) позитронов, возникающего при  $\beta^+$  распаде нестабильного радионуклида, который входит в состав радиофармпрепарата. Основным функциональным узлом позитронно-эмиссионного томографа является кольцевой гамма-детектор, расположенный вокруг продольно-подвижного стола для пациента. В свою очередь, он состоит из множества плоских детекторов, расположенных радиально. Каждая пара гамма-квантов регистрируется парой гамма-детекторов. Благодаря такому способу регистрации гамма-излучения ПЭТ обладает высоким пространственным разрешением.

Для получения составной трехмерной реконструкции исследуемого объекта используются аппараты, сочетающие ОФЭКТ или ПЭТ с компьютерной томографией (КТ) (рис. 1).

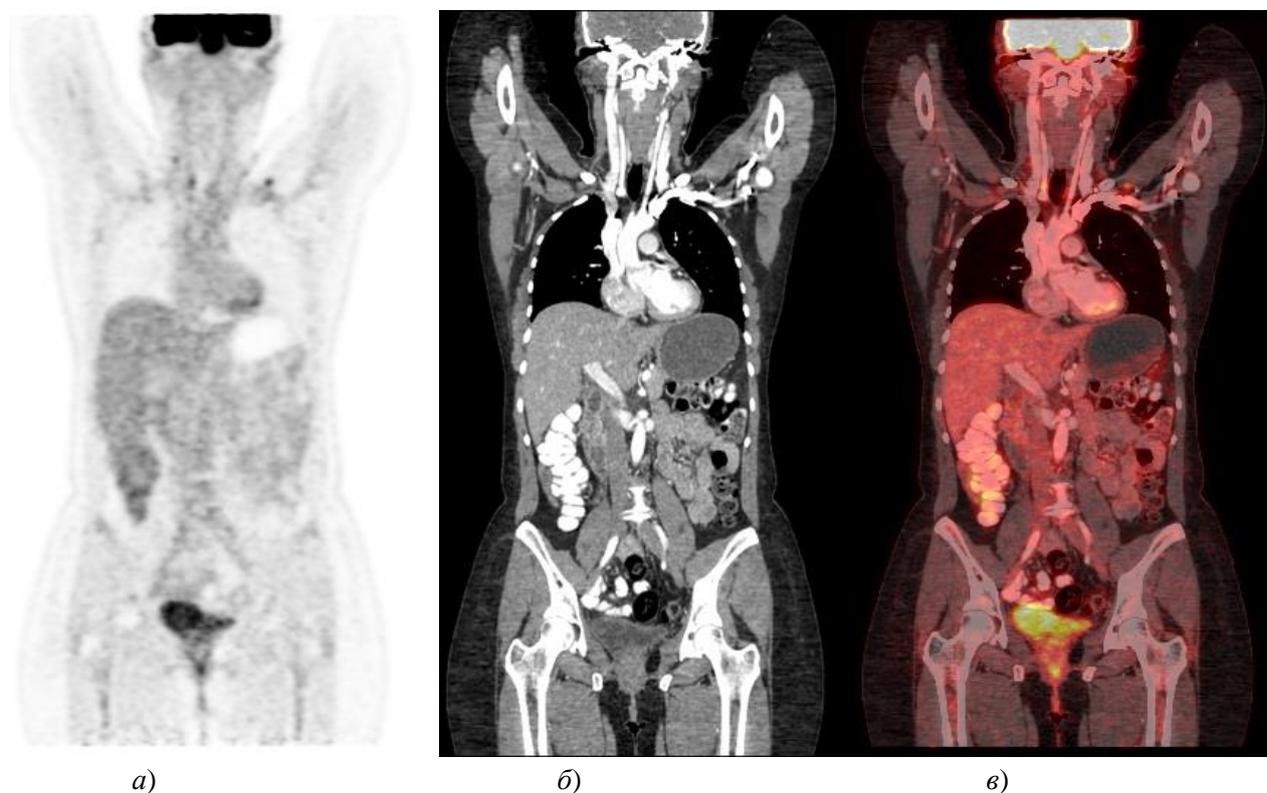


Рис. 1. Изображение, полученное наложением ПЭТ и КТ:  
*a* – позитронно-эмиссионная томограмма, *б* – компьютерная томограмма,  
*в* – совмещенное изображение

С развитием технологий в области здравоохранения на мировом уровне осуществлена разработка инновационных аппаратов и устройств, позволяющих получать информацию более высокой точности об анатомических и морфологических свойствах патогенного новообразования, определять локализацию сторожевых лимфатических узлов, а также выполнять полную резекцию опухоли без дальнейшего ее метастазирования.

Для проведения доклинических исследований свойств РФП и исследований в области онкологии, оценки показателей фармакодинамики различных препаратов американской компанией Bruker Corporation был разработан аппарат доклинических испытаний на лабораторных животных. Это устройство объединяет в себе ПЭТ, ОФЭКТ и КТ. ПЭТ-визуализация с пространственным разрешением до 0,7 мм дает количественную, пространственную и временную гистологическую информацию. ОФЭКТ-детекторы с двумя гамма-камерами имеют пространственное разрешение до 0,5 мм и широкое энергетическое окно от 30 до 400 кэВ для визуализации изотопов с различными уровнями энергии. Большое поле охвата датчиков позволяет визуализировать все тело животного. Такой подход к диагностике дает возможность контролировать прогрессирование заболевания. Характерной особенностью данного устройства является возможность использования одновременно нескольких РФП с различными изотопами [3].

Широкое применение при диагностике онкологических заболеваний молочных желез нашел аппарат Mammī компании Oncovision. В основе его работы лежит технология ПЭТ. Подвижный блок в виде кольца с расположенными в нем восьмью датчиками гамма-излучения перемещается вдоль молочных желез пациентки без применения компрессии. Особенности геометрии матрицы датчиков позволяют использовать более низкую дозу излучения, что обеспечивает безопасное и многократное сканирование с минимальным облучением как пациентки, так и оператора. Врач управляет перемещением кольца и получает трехмерную реконструкцию распределения изотопа в тканях пациентки (рис. 2). Аппарат Mammī способен визуализировать скопления изотопа диаметром от 1,6 мм [4].

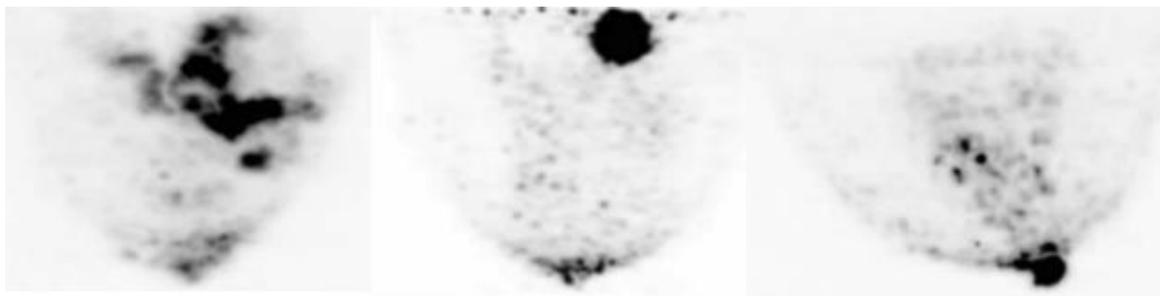


Рис. 2. Реконструкция ПЭТ-исследования молочных желез

В ряде клинических случаев особенно важно проведение радиодиагностического исследования непосредственно во время хирургической процедуры. Радионавигационная хирургия революционно изменила эффективность хирургического лечения многих злокачественных заболеваний. В режиме реального времени медицинский персонал получает всю необходимую информацию о степени распространённости патогенного процесса для определения границ тканей, подлежащих дальнейшей резекции. Примером такого оборудования, используемого в радионавигационной хирургии, является гамма-камера Sentinella 102 ранее упоминаемой компании Oncovision. Структура гамма-камеры позволяет использовать для реконструкции изображения только гамма-кванты выделенного направления, что, в свою очередь, позволяет определить положение источника излучения в пространстве. В ходе операции хирург направляет гамма-камеру на область, содержащую злокачественное новообразование, для визуализации опухоли и определения четкой

локализации сторожевых лимфатических узлов. В результате обеспечивается персонализация онкохирургии [5]. Программное обеспечение аппарата Sentinella 102 позволяет оценить полноту выполненной резекции с помощью специальной функции Radioguided Occult Lesion Localization. Во время операции врач помечает опухоль для того, чтобы восстановить ее ориентацию в организме пациента. После проведения резекции опухоль помещают под гамма-детектор аппарата, а далее хирург при помощи радиоизотопной указки или ватного тампона, смоченного в растворе технетрила  $^{99m}\text{Tc}$ , обводит опухоль четко по ее границам [6–7]. Данная функция позволяет зафиксировать и отобразить траекторию радиоизотопной указки вокруг очага опухоли. Если по всей окружности траектория обводки не пересекается с очагом накопления изотопа в опухоли, то резекция выполнена полностью. На рис. 3 показано, что между траекториями обводки присутствует темная область. Это означает, что резекция выполнена в пределах здоровой ткани. Если же траектория обводки пересекается с очагом накопления изотопа, то значит, часть злокачественного образования осталась в организме пациента и резекцию необходимо продолжить для исключения дальнейшего метастазирования опухоли.

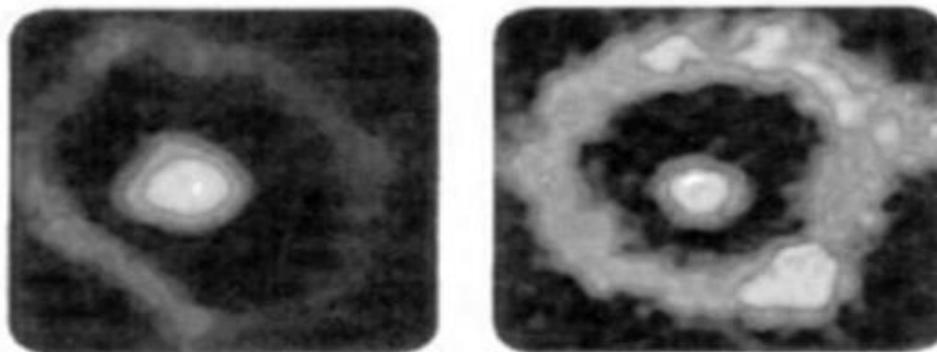


Рис. 3. Использование функции Radioguided Occult Lesion Localization для оценки качества резекции

**Заключение.** Обзор и анализ медицинского оборудования для радионуклидной диагностики позволяют отметить достоинства данных аппаратов:

— возможность диагностики онкологических новообразований на ранних стадиях за счет детекторов высокого уровня чувствительности с одновременным использованием нескольких изотопов с различным атомным числом (позитронно-эмиссионная томография и однофотонная эмиссионная компьютерная томография),

— оценка полноты резекции опухоли в интраоперационный период за счет компактности габаритов оборудования и наличия функции Radioguided Occult Lesion Localization,

— камера высокого разрешения Sentinella идеально подходит для минимально инвазивной хирургии, а также позволяет определить границы локализации сторожевых лимфатических узлов совместно с гамма-детектором.

#### **Библиографический список**

1. M. Wernick, J. Arsvold, Emission tomography: the fundamentals of PET and SPECT. Elsevier: Academic Press. - 2004.
2. S.P. Povoski, R.L. Neff, C.M. Mojzisek, et al. A comprehensive overview of radioguided surgery using gamma detection probe technology. World J Surg Oncol. – 2009. - 7:11.

3. Total-Body PET/Computed Tomography Highlights in Clinical Practice/ Xiuli Sui, Guobing Liu, Pengcheng Hu, Shuguang Chen, Haojun Yu, Ying Wang, Hongcheng Shi/ Experiences from Zhongshan Hospital, Fudan University, 2021 –р. 9-14.

4. High technology to every breast cancer patient/America Oncovision, Inc. 30 Newbury St. – 3rd Floor, Boston — Режим доступа: <http://oncovision.com/mammi/> (дата обращения 14.12 2020).

5. Радиологическая хирургия: преимущества новой портативной  $\gamma$ -камеры (Sentinella) для интраоперационной визуализации в реальном времени и обнаружения сигнальных лимфатических узлов при кожных злокачественных новообразованиях / И. Штоффельс, Т. Поппель, С. Бой [и др.] // JEADV. —2011. — 6 с.

6. The only integrated system for radio-guided surgery with real-time imaging/America Oncovision, Inc. 30 Newbury St. – 3rd Floor, Boston —Режим доступа: <http://oncovision.com/mammi/> (дата обращения 14.12 2020).

7. Radioguided surgery / Oncomed-solutions – Режим доступа: [http://oncomed-solutions.com/solutions\\_radioguided\\_surgery.html](http://oncomed-solutions.com/solutions_radioguided_surgery.html) (дата обращения 15.12.2020).

*Об авторе:*

**Юносова Анастасия Александровна**, магистрантка кафедры «Приборостроение и биомедицинская инженерия» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), [yunosovaa@mail.ru](mailto:yunosovaa@mail.ru)