

РАДИОНУКЛИДНАЯ ДИАГНОСТИКА ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ: 100-ЛЕТНЯЯ ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ



© М.В. Дегтярев, Е.С. Алешина, А.А. Харлова*, К.Ю. Слащук, С.С. Серженко, К.С. Нижегородова, М.С. Шеремета

Национальный медицинский исследовательский центр эндокринологии, Москва, Россия

История развития радионуклидной диагностики началась с первых экспериментов с радиоактивными изотопами в начале XX века. Внедрение в диагностику и лечение щитовидной железы радиоактивных изотопов йода и технеция послужило толчком к развитию всей ядерной медицины и тераностики. Аппаратное обеспечение ядерной медицины прошло долгий путь от простых счетчиков Гейгера-Мюллера до современных аппаратов с возможностью молекулярной визуализации ПЭТ и ОФЭКТ. Ядерная тиреоидология на сегодняшний день является важным прикладным инструментом высокотехнологичной диагностики и лечения заболеваний щитовидной железы.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: щитовидная железа; технеций-99м; сцинтиграфия; радионуклидная диагностика; однофотонная эмиссионная компьютерная томография.

RADIONUCLIDE DIAGNOSTICS OF THE THYROID GLAND: A 100-YEAR HISTORY

© Mikhail V. Degtyarev, Ekaterina S. Alyoshina, Alena A. Kharlova*, Konstantin Y. Slashchuk, Sergey S. Serzhenko, Ksenia S. Nizhegorodova, Marina S. Sheremeta

Endocrinology Research Centre, Moscow, Russia

The history of radionuclide diagnostics began with the first experiments on radioactive isotopes at the beginning of the 20th century. The introduction of radioactive isotopes of iodine and technetium into thyroid diagnostics and treatment was the start of the development of all nuclear medicine and theranostics. The hardware for nuclear medicine has come a long way from simple Geiger-Muller counters to modern machines with molecular imaging capabilities PET and SPECT. Nuclear thyroidology today is an important applied tool for high-tech diagnostics and treatment of thyroid diseases.

KEYWORDS: thyroid; technetium-99m; scintigraphy; radionuclide diagnostics; single photon emission computed tomography.

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ

Открытие явления радиоактивности Анри Беккерелем в 1896 г. стало революционным событием, ознаменовавшим начало новой эры в науке, и послужило основанием к проведению фундаментальных исследований природы радиоактивности и возможностей ее применения в медицинской визуализации.

Предпосылки к развитию ядерной медицины (ЯМ) зародились 1910–1920-х гг. в ходе первых научных экспериментов с радиоактивными изотопами. Ее основателем по праву считается Георг де Хевеши (рис. 1) — венгерский химик, лауреат Нобелевской премии по химии 1943 г. В 1913 г. он предложил метод изотопных индикаторов, используемый для отслеживания прохождения изотопа в исследуемой биологической системе, а в 1923 г. опубликовал первый научный труд на эту тему: «Поглощение и транслокация свинца ^{212}Pb растениями». Данная работа открыла новую веху в биологии и медицине, заложив основы для дальнейших исследований и разработок [3].

В XX веке уровень развития ядерной медицины во многом определялся достижениями ядерной физики, широко использовавшейся в военных целях. С ростом понимания патологических процессов на молекулярном уровне и стремлением к повышению эффективности диагностических и лечебных процедур возникла

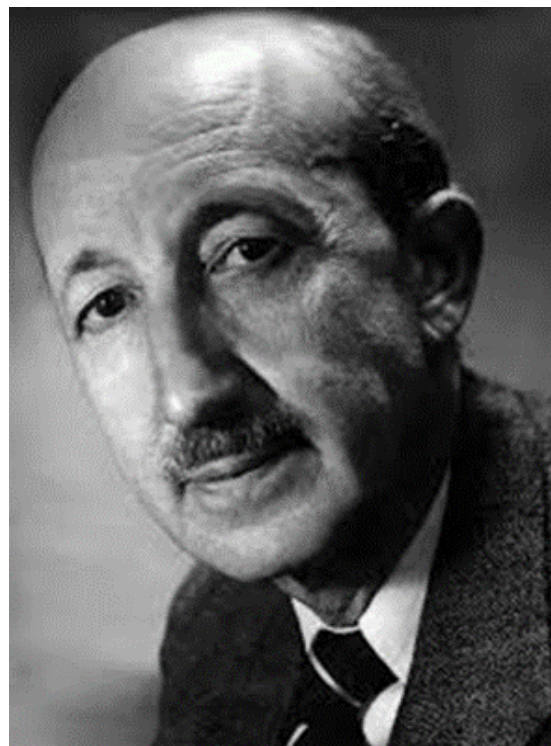


Рисунок 1. Георг де Хевеши (1885–1966) — химик, лауреат Нобелевской премии по химии 1943 г. за открытие Гафния.

*Автор, ответственный за переписку/Corresponding author.

необходимость в более современных методах, основанных на молекулярной и функциональной визуализации. Это открыло новые возможности для применения достижений ядерной физики и радиохимии, что значительно ускорило развитие ядерной медицины [3].

В целом становление ЯМ напрямую связано с диагностикой и лечением заболеваний щитовидной железы (ЩЖ) изотопами радиоактивного йода. В 1934 г. итальянский физик Энрико Ферми впервые искусственно получил радиоактивный изотоп ^{128}I . В 1938 г. была проведена первая исследовательская работа на кроликах, показавшая, что радиоактивный йод избирательно поглощается ЩЖ. В 1939 г. группа из Беркли показала, что нормальная ЩЖ человека накапливает радиоактивный йод. И уже в 1941 г. основоположник радиойодтерапии Саул Герц провел первое в истории лечение радиоактивным йодом пациента с тиреотоксикозом [6].

^{123}I , полученный в 1949 г. из всего перечня радиоактивных изотопов йода, созданных в реакторах или циклотронах, наиболее подходил для визуализации ЩЖ и в дальнейшем стал одним из самых востребованных препаратов для радионуклидной диагностики ЩЖ. Он обладает оптимальными физическими свойствами (период полураспада ($T_{1/2}$) составляет 13,3 часа, основная энергия гамма-излучения 159 кэВ).

Весьма значимым событием развития радионуклидной визуализации в XX веке стало открытие первого искусственного элемента химической таблицы Менделеева — технеция (от греческого *tekhnetos* — созданный человеком). Он заполнил вакансию в периодической таблице Менделеева под номером 43. В 1937 г. Сегре и Перье удалось успешно выделить его изотопы $^{95\text{m}}\text{Tc}$ и ^{97}Tc . Год спустя на циклотроне был получен метастабильный изотом технеция — $^{99\text{m}}\text{Tc}$, который до сих пор остается одним из самых востребованных радионуклидов в диагностических исследованиях и считается золотым стандартом ядерной медицины, так как обладает оптимальными для эмиссионной визуализации характеристиками: $T_{1/2}$ 6 часов, энергия 140 кэВ [4]. Позже в 1958 г. в США был создан первый генератор $^{99\text{m}}\text{Tc}$, в котором из ^{99}Mo получали $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -пертехнетат, ставший основным радиофармпрепаратом (РФП) для визуализации ЩЖ, а также основой для создания линейки РФП, для диагностики других органов и патологических процессов.

АППАРАТНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ

Наряду с появлением новых изотопов и РФП, в середине XX века наблюдается значительный прогресс в разработке устройств для радионуклидной визуализации.

Можно выделить три поколения устройств, детектирующих гамма-излучение, для исследования ЩЖ: счетчик Гейгера-Мюллера, сцинтилляционный одноканальный детектор (прямолинейные сканеры), сцинтилляционный многоканальный позиционно-чувствительный детектор (гамма-камеры) [9].

Счетчик Гейгера-Мюллера появился в 1928 г. и в течение многих лет использовался для измерения активности в ЩЖ. В ходе измерений он прижимался к шее, при этом визуализация ЩЖ была еще не доступна.

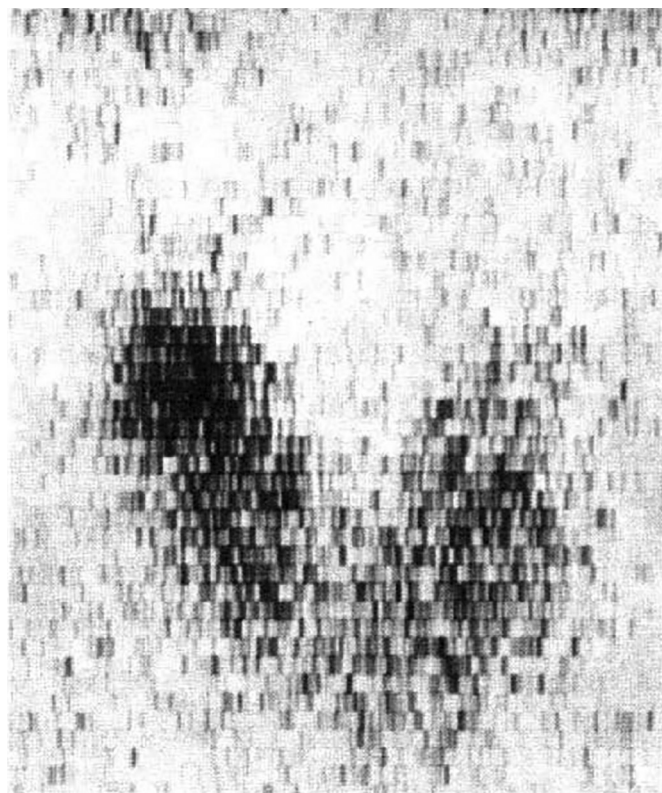


Рисунок 2. Изображение гиперфункционирующего узла в правой доле ЩЖ, полученного на сцинтилляционном одноканальном детекторе.

В конце 40-х гг. были созданы фотоэлектронные умножители, позволяющие регистрировать слабые вспышки света, а в 1950 г. были изобретены сцинтилляционные кристаллы, на основе которых в последующем выпускались сцинтилляционные счетчики — приборы для регистрации ионизирующего излучения. Первый сцинтилляционный одноканальный детектор на движущемся механизме был собран Б. Кассеном в 1950 г. и с этого времени использовался для исследования ЩЖ. Фактически он сканировал щитовидную железу последовательно, при этом получалось изображение ЩЖ в натуральную величину. Можно было увидеть анатомические характеристики и оценить функцию узлов ЩЖ. К недостаткам данного аппарата можно было отнести относительно низкую детализацию из-за размера точек при сканировании, сложность получения косых проекций, длительность исследования.

Пример изображения гиперфункционирующего узла ЩЖ представлен на рисунке 2.

Следующее поколение аппаратов на основе технологии сцинтилляционных детекторов развивается по сегодняшний день.

В 1952 г. доктор Ангер объединил коллиматор с точечным отверстием и широкий сцинтилляционный кристалл $\text{NaI}(\text{TI})$ с фотографической пластиной в гамма-камеру, которая могла напрямую преобразовывать сцинтилляцию, создаваемую гамма-лучами, в видимые изображения.

В 1958 г. Хэл Оскар Ангер на ежегодном собрании общества ядерной медицины представил прототип камеры с точечным коллиматором. Небольшой размер оригинального кристалла и камера с крошечным отверстием

прекрасно подходили для визуализации ЩЖ. Эти разработки Ангера радикально повлияли на развитие радионуклидной диагностики (рис. 3). Гамма-камера имела стационарный позиционно-чувствительный детектор гамма-излучения, дающий возможность одномоментного исследования объекта без перемещения сканера. Наличие плоского скинтилляционного кристалла больших размеров с расположенными над ним фотоумножителями позволило выполнять радиометрию и радиографию одномоментно. Получение изображений с использованием радиоизотопов стало первым и единственным неинвазивным способом прямой визуализации ЩЖ. До появления ультразвуковой диагностики, рентген-компьютерной томографии и магнитно-резонансной томографии скинтиграфия оставалась основным методом визуализации ЩЖ.

С развитием технологического прогресса в 1980–1990 гг. появились мультidetекторные гамма-камеры, что позволило значительно повысить качество изображений. Прогресс с 1970 по 2020 гг. в получении изображений ЩЖ наглядно продемонстрирован на рисунке 4.

На рубеже XXI века получили развитие технологии создания трехмерных изображений накопления РФП — однофотонная эмиссионная компьютерная томография (ОФЭКТ) и гибридные технологии, совмещающие функциональную и анатомическую визуализацию, — ОФЭКТ/КТ.

В настоящее время ядерная медицина вышла на передовые позиции в области неинвазивной диагностики и терапии. По информации на 2021 г., по данным

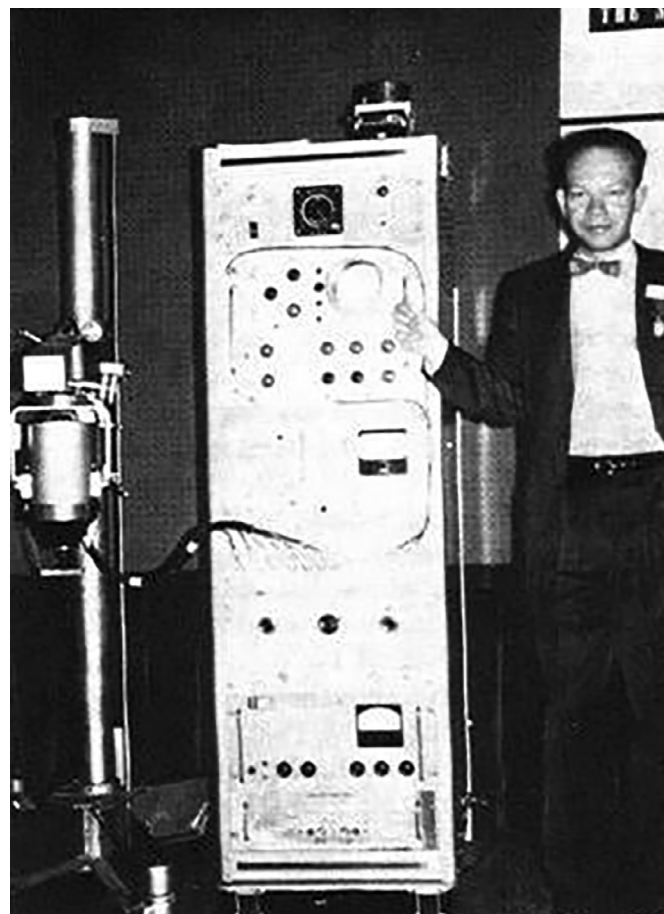


Рисунок 3. Н.О. Ангер и его первая гамма-камера.

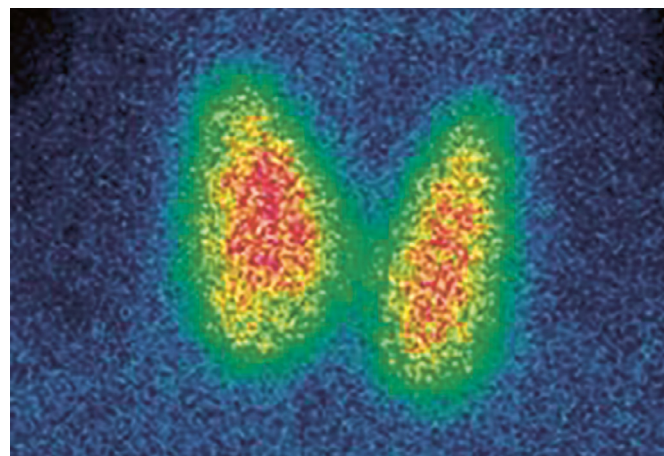
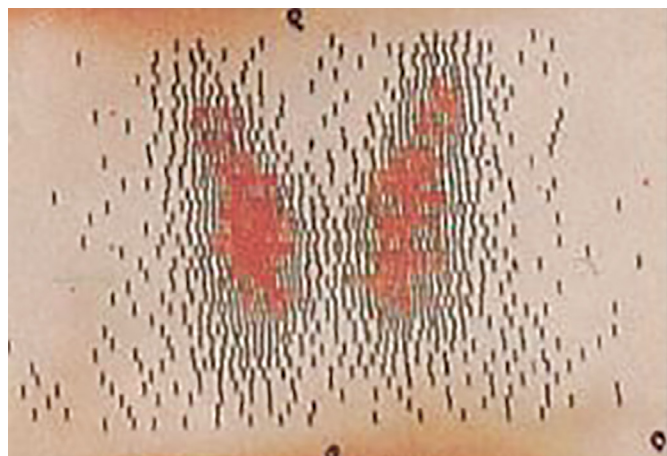
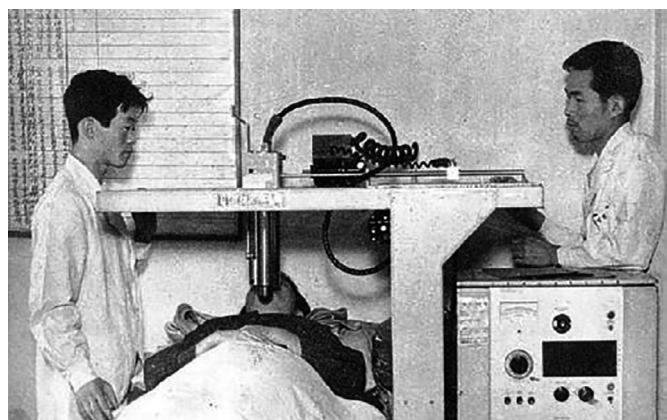


Рисунок 4. Радионуклидная визуализация щитовидной железы в 1970-е годы (слева) и в 2020-е годы (справа).

Всемирной ядерной ассоциации (WNA), в мире на базе более чем 10 тысяч клиник выполнялось более 40 миллионов радионуклидных процедур в год, из них 90% — диагностические исследования, 10% — терапевтические процедуры.

РАЗВИТИЕ ЯДЕРНОЙ МЕДИЦИНЫ В РОССИИ

В России возможность выполнения исследований с радиоактивными изотопами появилась после 1946 г., были созданы первые отечественные циклотроны и ядерный реактор. С 1948 г. для научных и медицинских целей в стране был налажен регулярный выпуск радиоактивных изотопов: ²⁴Na, ⁴²K, ³²P, ¹³¹I, ³H, ¹⁴C, ³⁵S, ⁵¹Cr, ⁵⁹Fe [14].

Широкое применение методов ядерной медицины в клинической практике стало возможным с конца 1950-х гг. после выхода в свет приказа Министерства здравоохранения СССР № 248 от 15 мая 1959 г. Этот документ предписывал создание в крупных онкологических учреждениях отделений радиоизотопной диагностики и строительство типовых радиологических корпусов. Для расширения исследований и увеличения объемов производства в 1967 г. был основан Завод «Медрадио-препарат» [2].

По статистике на 2023 год в России работают 154 отделения радионуклидной диагностики (РНД). В ФГБУ «НМИЦ эндокринологии» Минздрава России отделение РНД функционирует с 2015 г. С этого времени только при заболеваниях ЩЖ было выполнено более 25 тысяч радионуклидных исследований.

СОВРЕМЕННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ МЕТОДОВ ЯДЕРНОЙ МЕДИЦИНЫ ПРИ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПАТОЛОГИИ ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ

Наибольшее количество исследований ЩЖ в мире проводится с применением радиофармпрепарата ^{99m}Tc-пертехнетат. В отличие от ¹³¹I и ¹²³I данный РФП не органифицируется в ЩЖ, но при этом предоставляет необходимую информацию об анатомических особенностях и функциональном состоянии ЩЖ, а именно функциональной активности натрий-йодных симпортеров тироцитов. Основными показаниями к исследованию являются дифференциальная диагностика причин тиреотоксикоза, оценка функциональной активности узлов, врожденный гипотиреоз, поиск эктопированной ткани ЩЖ [5].

¹³¹I в настоящее время рутинно не используется для визуализации ЩЖ из-за наличия высокой лучевой нагрузки. При этом ¹³¹I наряду с ¹²³I применяется для визуализации метастазов рака ЩЖ и дозиметрического планирования радиойодтерапии тиреотоксических заболеваний.

РАДИОФАРМПРЕПАРАТЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ЯДЕРНОЙ МЕДИЦИНЕ ПРИ ЗАБОЛЕВАНИЯХ ЩЖ

Современная ядерная медицина только для исследования заболеваний ЩЖ имеет расширяющийся перечень применяемых радиофармпрепаратов на основе ОФЭКТ и ПЭТ трейсеров от неспецифических таких как ^{99m}Tc-Технетрил до селективных рецепторных препаратов ^{99m}Tc-Тектротид (табл. 1).

Таблица 1. Характеристика радиофармпрепаратов

Радиофармпрепарат	Метод визуализации	Механизм	Показания (клинические сценарии применения)
^{99m} Tc-пертехнетат	сцинтиграфия	натрий-йодный симпортер (NIS)	анатомическая и функциональная визуализация ЩЖ
^{99m} Tc-технетрил	сцинтиграфия	неспецифический, связывается с митохондриями	амиодарон-индуцированный тиреотоксикоз
^{99m} Tc-тектротид	сцинтиграфия, ОФЭКТ/КТ	соматостатиновые рецепторы (SSTRs)	медуллярный рак ЩЖ
Натрия йодид, ¹²³ I	сцинтиграфия, ОФЭКТ/КТ	натрий-йодный симпортер (NIS)	анатомическая и функциональная визуализация ЩЖ, высокодифференцированный рак ЩЖ
Натрия йодид, ¹³¹ I	сцинтиграфия, ОФЭКТ/КТ	натрий-йодный симпортер (NIS)	высоккодифференцированный рак ЩЖ
¹²⁴ I	ПЭТ/КТ	натрий-йодный симпортер (NIS)	высоккодифференцированный рак ЩЖ
¹⁸ F-фтордезоксиглюкоза	ПЭТ/КТ	транспортеры глюкозы (GLUTs)	анapластический, низкодифференцированный рак ЩЖ
¹⁸ F-ДОПА	ПЭТ/КТ	метаболический путь аминокислот	медуллярный рак ЩЖ
⁶⁸ Ga-DOTA-TATE	ПЭТ/КТ	соматостатиновые рецепторы (SSTRs)	медуллярный рак ЩЖ

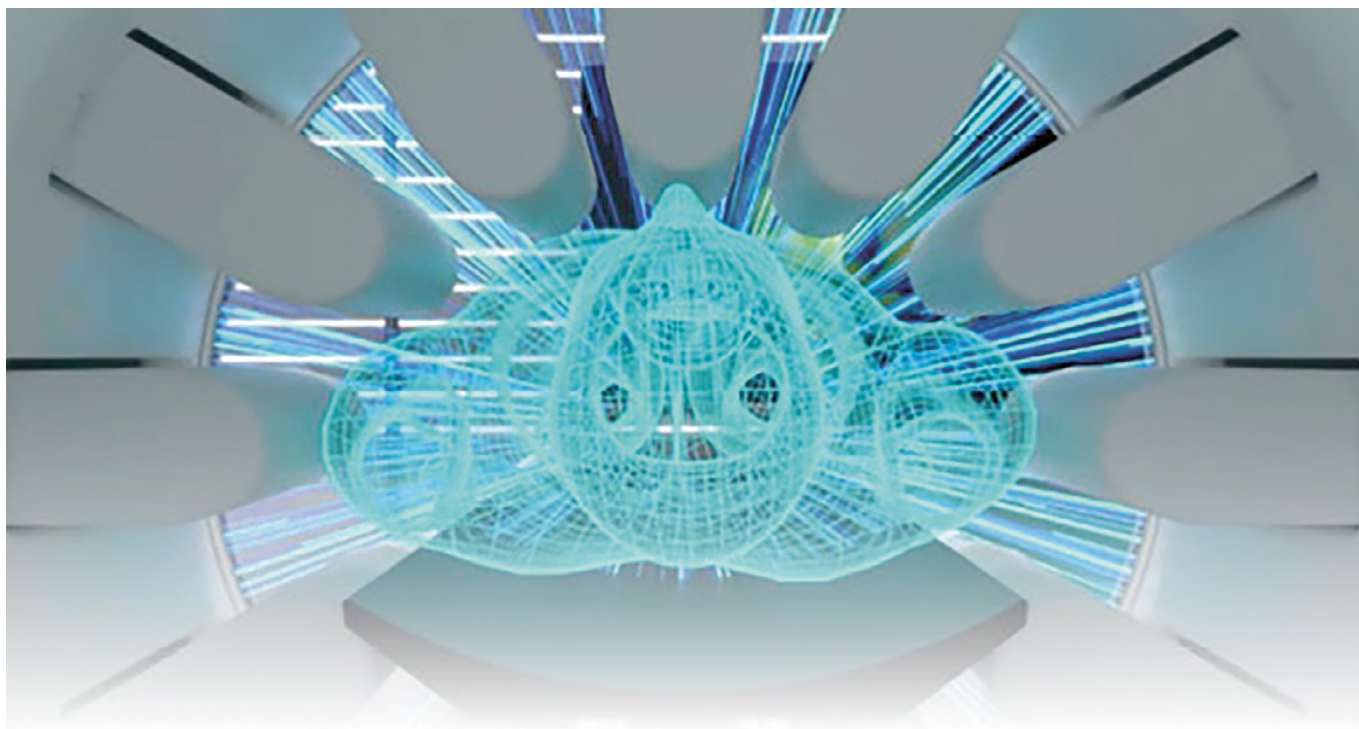


Рисунок 5. Система ОФЭКТ-KT StarGuide [14].

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И СЦИНТИГРАФИЯ ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ: НОВЫЙ УРОВЕНЬ ДИАГНОСТИКИ

Искусственный интеллект (ИИ) стремительно внедряется в медицинскую диагностику, предоставляя новые возможности для анализа больших объемов данных и выявления скрытых закономерностей. Эти технологии позволяют повысить точность и скорость диагностики, а также оптимизировать распределение ресурсов. Использование ИИ в медицине способствует снижению нагрузки на медицинский персонал, освобождая время для выполнения более сложных и творческих задач.

В современной медицинской практике активно внедряются системы поддержки принятия врачебного решения, направленные на снижение рабочей нагрузки на медицинский персонал и уменьшение числа диагностических ошибок. С этой целью были разработаны и успешно протестированы две системы на основе искусственного интеллекта для анализа сцинтиграмм ЩЖ [7]. Для дальнейшего совершенствования алгоритмов и обеспечения стандартизации результатов необходимо расширение базы данных для обучения и тестирования моделей ИИ [8, 10, 11].

Стоит упомянуть о наличии новейшего оборудования — системе ОФЭКТ-KT *StarGuide*, использующей передовые технологии для повышения детализации медицинских изображений (рис. 5). Вращающиеся вокруг тела пациента цифровые фокусные детекторы минимизируют артефакты и обеспечивают высокое разрешение сканирования. Это позволяет получать более четкие и объемные изображения, улучшая визуализацию мелких анатомических структур. Высокая объемная чувствительность и пространственное разрешение системы способствуют раннему выявлению заболеваний и более точной диагностике [14].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

За прошедшие 100 лет ядерная тиреоидология прошла долгий путь от первых экспериментов с радионуклидами до современного эффективного высокотехнологичного метода диагностики. Сегодня радионуклидная визуализация ЩЖ является важным инструментом в эндокринологии и радиологии, позволяя врачам эффективно диагностировать и лечить заболевания щитовидной железы. С появлением новых радиофармпрепаратов, совершенствованием технологий ОФЭКТ и ПЭТ, а также внедрением в практику таких технологий, как машинное обучение и искусственный интеллект, открываются новые возможности для улучшения диагностики и персонализированного подхода к лечению.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источники финансирования. Работа по подготовке рукописи проведена в рамках государственного задания «Исследование фармакобезопасности тераностических радиофармацевтических лекарственных препаратов с использованием гибридной молекулярной визуализации в диагностике и лечении эндокринных и онкологических заболеваний в детской и взрослой возрастных группах». Регистрационный номер ЕГИСУ НИОКТР 123021000041-6

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с содержанием настоящей статьи.

Участие авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Румянцев П.О., Дегтярев М.В., Дзейтова Д.С., Трухин А.А., Слащук К.Ю., и др. Сцинтиграфия в диагностике диффузной и узловой патологии щитовидной железы // *Клиническая и экспериментальная тиреоидология*. — 2019. — Т. 15, № 4. — С. 138–147. [Rumyantsev PO, Degtyarev MV, Dzeytova DS, Trukhin AA, Slashchuk KY, et al. Thyroid scintigraphy in diagnosis of nodular and diffuse thyroid pathology. *Clinical and experimental thyroidology*. 2019;15(4):138-147. (In Russ.)] doi: <https://doi.org/10.14341/ket12240>
2. Ядерная медицина: справочник для персонала отделений, лабораторий и центров ядерной медицины: [учебное пособие] / под общ. ред. В. И. Скворцовой. — 2-е изд., доп. — Москва: ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А. И. Бурназяна ФМБА России, 2020. — 388 с. [Adernaia meditsina: spravochnik dlia personala otdelenii, laboratorii i tsentrov iadernoi meditsiny: [uchebnoe posobie] / pod obshch. red. V.I. Skvortsovoi. — 2-e izd., dop. — Moskva: FGBU GNTS FMBTS im. A.I. Burnaziana FMBA Rossii, 2020. — 388 p. (In Russ.)]
3. Hevesy G. The Absorption and Translocation of Lead by Plants: A Contribution to the Application of the Method of Radioactive Indicators in the Investigation of the Change of Substance in Plants. *Biochem J*. 1923;17(4-5):439-45. doi: <https://doi.org/10.1042/bj0170439>
4. Сергиенко В.Б., Аншелес А.А. Ядерная медицина и молекулярная визуализация в клинической практике: вчера, сегодня, завтра // *Терапевтический архив*. — 2021. — №93 (4). — С. 357–362. [Sergienko VB, Ansheles AA. Nuclear medicine and molecular imaging in clinical practice: yesterday, today and tomorrow. *Terapevticheskii Arkhiv (Ter. Arkh.)*. 2021;93(4):357-362. (In Russ.)] doi: <https://doi.org/10.26442/00403660.2021.04.200673>
5. Эндокринология: национальное руководство / под ред. И.И. Дедова, Г.А. Мельниченко. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2024. — 1112 с.: ил. — (Серия "Национальные руководства") [Endokrinologiya: natsional'noe rukovodstvo / pod red. I.I. Dedova, G.A. Mel'nichenko. 2-e izd., pererab. i dop. Moskva: GEOTAR-Media, 2024. 1112 p.: il. (Seria "Natsional'nye rukovodstva") (In Russ.)]
6. Becker DV, Sawin CT. Radioiodine and thyroid disease: the beginning. *Seminars in Nuclear Medicine*. 1996;26(3):155-164. doi: [https://doi.org/10.1016/s0001-2998\(96\)80020-1](https://doi.org/10.1016/s0001-2998(96)80020-1)
7. Sabouri M, Ahamed S, Asadzadeh A, et al. Thyroidomics: An Automated Pipeline for Segmentation and Classification of Thyroid Pathologies from Scintigraphy Images. *arXiv (Cornell University)*. 2024. doi: <https://doi.org/10.48550/arxiv.2407.10336>
8. Parveen HS, Karthik S, S KM. Neural harmony: revolutionizing thyroid nodule diagnosis with hybrid networks and genetic algorithms. *Computer Methods in Biomechanics & Biomedical Engineering*. 2024;1-18. doi: <https://doi.org/10.1080/10255842.2024.2341969>
9. Eisenberg RL. *Radiology, an illustrated history*. St. Louis. Missouri: Mosby Year Book; 1992
10. Lee Y, Alam MR, Park H, et al. Improved diagnostic accuracy of thyroid fine-needle aspiration cytology with artificial intelligence technology. *Thyroid*. 2024;34(6):723-734. doi: <https://doi.org/10.1089/thy.2023.0384>
11. Xu W, Jia X, Mei Z, et al. Generalizability and diagnostic performance of AI models for thyroid US. *Radiology*. 2023;307(5). doi: <https://doi.org/10.1148/radiol.221157>
12. Климанов В.А. Физика ядерной медицины. Часть 1. Физический фундамент ядерной медицины, устройство и основные характеристики гамма-камер и коллиматоров γ -излучения, однофотонная эмиссионная томография, реконструкция распределений радионуклидов в организме человека, получение радионуклидов: учебное пособие / В.А. Климанов; НИЯУ МИФИ. — Москва: НИЯУ МИФИ, 2012. — 308 с. [Klimanov V.A. Fizika iadernoi meditsiny. CHast' 1. Fizicheskii fundament iadernoi meditsiny, ustroistvo i osnovnye kharakteristiki gamma-kamer i kollimatorov γ -izlucheniia, odnofotonnaia emissionnaia tomografiia, rekonstruktsiia raspredelenii radionuklidov v organizme cheloveka, poluchenie radionuklidov: uchebnoe posobie / V.A. Klimanov; NIIAU MIFI. — Moskva: NIIAU MIFI, 2012. — 308 p. (In Russ.)]
13. Бочкарев В.В. Прогресс в области получения и производства изотопов / В.В. Бочкарев, Н.Е. Брежнева, Е.Е. Кулиш // *Атомная энергия*. — 1969. — Т. 26. — № 2. — С. 106–114 [Bochkarev VV. Progress v oblasti polucheniia i proizvodstva izotopov / V.V. Bochkarev, N.E. Brezhneva, E.E. Kulish. *Atomnaia energiya*. 1969;26(2):106-114. (In Russ.)]
14. StarGuide™ // <https://www.gehealthcare.com/> URL: https://www.gehealthcare.com/products/molecular-imaging/starguide?srsltid=AfmBOortjcen0WZuz7m_vDf42gZ0XJdxB2hcf5Wnkok4cuwLbtYREPG (дата обращения: 01.04.2025)

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ [AUTHORS INFO]

***Харлова Алена Алексеевна**, ординатор [Alyona A. Kharlova, resident]; адрес: 117292, Москва, ул. Дм. Ульянова, д. 11 [address: 11 Dm. Ulyanova street, 117292, Moscow, Russia]; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9660-3399>; eLibrary SPIN: 5291-7410; e-mail: alen.sergeeva@gmail.com

Дегтярев Михаил Владимирович [Mikhail V. Degtyarev, MD]; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5652-2607>; eLibrary SPIN: 7725-7831; e-mail: germed@mail.ru

Алешина Екатерина Сергеевна [Yekaterina S. Alyoshina, MD]; e-mail: gracia008@yandex.ru

Слащук Константин Юрьевич, к.м.н. [Konstantin Yu. Slashchuk, MD, PhD];

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3220-2438>; eLibrary SPIN: 3079-8033; e-mail: slashuk911@gmail.com

Серженко Сергей Сергеевич [Sergei S. Serzhenko, MD]; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2326-1396>;

eLibrary SPIN: 4713-8986; e-mail: vv1ld@yandex.ru

Нижегородова Ксения Сергеевна [Ksenia S. Nizhegorodova, MD]; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2478-8712>;

eLibrary SPIN: 2913-6514; e-mail: ksnizhegorodova.rndt@gmail.com

Шеремета Марина Сергеевна, д.м.н. [Marina S. Sheremeta, MD, PhD]; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3785-0335>; e-mail: marina888@yandex.ru

*Автор, ответственный за переписку/Corresponding author.

ИНФОРМАЦИЯ:

Рукопись получена: 18.02.2025. Рукопись одобрена: 26.03.2025. Received: 28.02.2025. Accepted: 26.03.2025.

ЦИТИРОВАТЬ:

Харлова А.А., Дегтярев М.В., Алешина Е.С., Слащук К.Ю., Серженко С.С., Нижегородова К.С., Шеремета М.С. Радионуклидная диагностика щитовидной железы: 100-летняя история развития // *Клиническая и экспериментальная тиреоидология*. — 2024. — Т. 20. — № 4. — С. 20–26. doi: <https://doi.org/10.14341/ket12817>

TO CITE THIS ARTICLE:

Kharlova AA, Degtyarev MV, Alyoshina ES, Slashchuk KYu, Serzhenko SS, Nizhegorodova KS, Sheremeta MS. Radionuclide diagnostics of the thyroid gland: a 100-year history. *Clinical and experimental thyroidology*. 2024;20(4):20–26. doi: <https://doi.org/10.14341/ket12817>