

Кривушин А.А., Прохина С.А.

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ЛУЧЕВОЙ ДИАГНОСТИКИ В ЯДЕРНОЙ МЕДИЦИНЕ

Рязанский государственный медицинский университет, г. Рязань

В статье рассмотрены ключевые элементы современной диагностической ядерной медицины по визуализации человеческого тела и протекающих в нем процессов. Дана характеристика позитронно-эмиссионной томографии и однофотонной эмиссионной компьютерной томографии с применением радиофармацевтических препаратов.

Ключевые слова: визуализация, лучевая диагностика, ПЭТ, ОФЕКТ, КТ, ядерная медицина, РФП.

С момента открытия рентгеновского излучения стало возможным создание двухмерного изображения органов. Однако такие изображения не всегда позволяли увидеть все структуры и детализированные области тканей организма, что обуславливало невозможность обнаружения «мелких» очагов, развивающегося заболевания и своевременного выявления патологии. Современные же методы лучевой диагностики в комплексе с использованием радиофармацевтических препаратов (РФП) позволяют получать изображения уже в трёхмерном виде и отследить метаболические нарушения в тканях, помогают уточнить количество, размеры и локализацию опухолевых очагов. Методы позволяют не только обнаружить и дифференцировать заболевание, но и спрогнозировать предстоящую операцию, помогают врачам принять решение о назначении терапии при той или иной патологии [1].

Цель работы

Цель работы – актуализировать информацию из отечественных и иностранных источников о технологиях современной лучевой диагностики методами ядерной медицины.

Материал и методы

В работе применялись общенаучные методы исследования: системный подход, методы синтеза, сравнения и обобщения. Осуществлялся поиск, обработка и анализ научных работ по данной тематике.

Результаты и обсуждение

Ядерная медицина используется в методах диагностики различных заболеваний с использованием радиоактивных изотопов, которые являются передовыми технологиями и позволяют получить информацию о функциональном состоянии тканей и органов, что повышает шансы на обнаружение заболевания на ранних стадиях, в особенности онкологических и нейродегенеративных патологий и более быстрым оказанием эффективной медицинской помощи. Современные методы позволяют избежать неточности диагностики, уточнить диагноз в сомнительных случаях [2, 3]. Рассмотрим основные из них.

Трансляционная молекулярная визуализация облегчила диагностику и лечение многочисленных патологий и стала неотъемлемой частью повседневной клинической практики, что имеет важнейшее значение для онкологии, кардиологии и неврологии. В отличие от структурной и анатомической визуализации, молекулярная визуализация предоставляет функциональную информацию посредством взаимодействия между зондом и биологической системой [4, 5].

В ядерной медицине молекулярный зонд представляет собой содержащий радионуклиды радиофармацевтический препарат, часто называемый индикатором. С точки зрения визуализации область ядерной медицины состоит из двух механически различных, хотя и несколько сопоставимых методов визуализации, а именно позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ) и однофотонной эмиссионной компьютерной томографии (ОФЭКТ).

В то время как первый метод визуализации регистрирует фотоны коллинеарной аннигиляции, второй основан на обнаружении одиночных гамма-квантов. Соответственно, хотя зонды ПЭТ и ОФЭКТ генерируются путем включения радионуклида в биомолекулу, радионуклиды ПЭТ излучают позитроны, тогда как радионуклиды ОФЭКТ сами являются γ -излучателями.

ПЭТ и ОФЭКТ представляют собой неинвазивные методы, которые предоставляют информацию на молекулярном и клеточном уровне, что делает их особенно ценными для обнаружения биохимических изменений на ранней стадии развития заболевания, часто до того, как клинические симптомы станут очевидными [6].

Учитывая превосходную чувствительность и последние технические достижения в области точной количественной оценки изображений, ПЭТ широко используется для определения стадии заболевания и разработки лекарств. Примечательно, что для получения высококачественных изображений обычно необходимы незначительные количества радиофармпрепаратов. Благодаря этой высокой чувствительности, радиолиганды (меченые атомы) ПЭТ обладают способностью исследовать биологические процессы, не вызывая фармакологической активности.

Процесс визуализации при помощи ПЭТ осуществляется в несколько этапов. На начальном этапе радионуклиды ПЭТ обычно генерируются посредством ядерных реакций внутри циклотрона или с помощью специальных генераторов или реакторов. Полученные радионуклиды включаются в молекулы посредством различных доступных радиохимических реакций, образуя таким образом желаемые индикаторы, и вводятся пациенту. Затем его сканируют, где количественная оценка радиоактивного сигнала дает информацию о месте аннигиляции и, следовательно, о локализации индикатора в различных органах.

Важно отметить, что испускаемый позитрон проходит определенное расстояние, зависящее от его энергии, и подвергается неупругим столкновениям до тех пор, пока кинетическая энергия не будет настолько низкой, что станет возможным своевременное перекрытие с электроном и аннигиляция. Аннигиляция обычно преобразует объединенную массу в электромагнитную энергию, которая может быть в форме двух гамма-квантов, испускаемых в противоположных направлениях.

Разрешение пространственного изображения по своей сути ограничено диапазоном позитронов данного радионуклида ПЭТ. С помощью различных алгоритмов данные ПЭТ могут быть реконструированы в пространственное распределение данного зонда. Основные проблемы современной реконструкции ПЭТ-изображений включают коррекцию рассеяния и случайных совпадений, а также выраженное затухание сигнала в различных тканях тела. Таким образом, ПЭТ-визуализация обычно комбинируется с компьютерной томографией (КТ) для анатомической ориентации и коррекции затухания.

Было показано, что новый подход к визуализации, ^{68}Ga -pentixafor ПЭТ/КТ, позволяет точно идентифицировать подтипы первичного альдостеронизма (заболевание надпочечников), превосходя традиционные методы диагностики. Этот детализированный метод визуализации дает более четкое представление о надпочечниках, помогая врачам более уверенно решать, является ли операция правильным вариантом для пациентов [6]. Гибридная визуализация с использованием ^{18}F -ФДГ в сочетании с ПЭТ/КТ, учитывающая метаболизм глюкозы воспалительными клетками, присутствующими в гранулемах, может многое предложить в оценке такого заболевания, как саркоидоз. ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ можно применить в диагностике и стадировании лимфом, оценки молекулярной карциномы щитовидной железы, нейробластомы.

На протяжении многих лет однофотонная эмиссионная компьютерная томография/рентгеновская компьютерная томография (ОФЭКТ/КТ) являлась наиболее перспективным методом визуализации в ядерной медицине. Его традиционными применениями являются визуализация скелета, щитовидной железы, сердечной перфузии с использованием $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (изотоп технеция), а также для подтверждения поглощения изотопа йода (^{131}I) опухолью при терапии. Еще одним распространенным применением ОФЭКТ/КТ является дозиметрическая оценка при терапии, например, РФП мечеными изотопами йода (^{131}I), иттрия (^{90}Y) или лютеция (^{177}Lu), что облегчает персонализацию терапии [7]. Для дозиметрии решающее значение имеет точное и количественное представление распределения радиофармпрепаратов внутри пациента, что впоследствии подчеркивает необходимость абсолютного количественного определения с помощью ОФЭКТ.

Основными компонентами ОФЭКТ-камеры являются коллиматоры, сцинтилляционные кристаллы (в основном йодид натрия, легированный таллием, NaI(Tl)), которые считываются фотоумножителями, и последующая электроника. Эти компоненты вместе называются детектором. Система ОФЭКТ/КТ также включает в себя кровать пациента для точного позиционирования и компьютеры для получения, реконструкции и последующей обработки данных изображений. Обычно на формирование ОФЭКТ-изображения отрицательно влияют несколько эффектов, в первую очередь рассеяние фотонов, затухание фотонов тканями и артефакты частичного объема из-за ограниченного пространственного разрешения [6].

Большинство современных устройств ОФЭКТ можно сконфигурировать как комбинацию с подсистемой рентгеновской КТ. В такой мультимодальной системе ОФЭКТ/КТ подсистемы ОФЭКТ и КТ обычно устанавливаются в последовательном порядке и используют общую койку пациента. ОФЭКТ/КТ позволяет решить два препятствия при ОФЭКТ-визуализации: приписать форму поглощения радиофармпрепарата морфологическим структурам и компенсировать ослабление испускаемых гамма-фотонов, что является необходимым условием для абсолютного количественного определения. В последние годы стала доступна еще более глубокая интеграция данных ОФЭКТ и КТ, помимо коррекции затухания и совместной регистрации.

С момента появления ОФЭКТ/КТ и ПЭТ/КТ в качестве методов визуализации в ядерной медицине предпринимались попытки клинически оценить относительные преимущества этих методов. Однако с появлением систем искусственного интеллекта, эта проблема может вскоре разрешиться и останется лишь проблема поиска и получения оптимальных РФП, которые сделают процесс диагностики финансово более доступным. Так же, следует учесть фактор подготовки медицинских работников не только в области радиологии, но и персонал, способный обслуживать сложнейшие технологические системы и комплексы [7-10].

Заключение и выводы

Лучевая диагностика является необходимой составной частью как клинического обследования пациентов, так и мониторинга эффективности лечения и контроля прогрессирования заболеваний. В настоящее время необходима разработка новых семейств радиофармацевтических препаратов, которые представляют собой уникальные средства, способные расшифровывать физиологические, фармакологические и/или биохимические процессы, происходящие в организме в нормальном и патологическом состояниях для различных органов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Корнеева, П. А. Физические основы радионуклидной диагностики / П. А. Корнеева, А. А. Кривушин // Естественнаучные основы медико-биологических знаний: Материалы III Всероссийской конференции студентов и молодых ученых с международным участием, Рязань, 29 апреля 2021 года / Редколлегия: Т.Г. Авачева [и др.]. – Рязань: Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова, 2021. – С. 55-56. – EDN EHJACT.
2. Кривушин, А. А. Использование достижений физики атомного ядра в медицине / А. А. Кривушин, Н. Н. Калинина // Материалы ежегодной научной конференции Рязанского государственного медицинского университета имени академика И.П. Павлова, посвященной 65-летию работы университета на Рязанской земле, Рязань, 18 декабря 2015 года. – Рязань: Рязанский государственный медицинский университет им. академика И.П. Павлова, 2015. – С. 284-285. – EDN VMISRX.
3. Гордеева, В. Н. Радиобиологические эффекты воздействия ионизирующего излучения на ткани организма человека / В. Н. Гордеева, А. А. Кривушин // Естественнаучные основы медико-биологических знаний : Сборник докладов IV Всероссийской конференции студентов и молодых ученых с международным участием, посвященной 80-летию РязГМУ, Рязань, 19–20 апреля 2023 года. – Рязань: Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова, 2023. – С. 113-116. – EDN LEVSYX.
4. Кривушин, А. А. Основные преимущества адронной терапии перед лучевой / А. А. Кривушин, Н. А. Ермакова // Естественнаучные основы медико-биологических знаний: Материалы всероссийской конференции студентов и молодых ученых с международным участием, Рязань, 09–10 ноября 2017 года. – Рязань: Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова, 2017. – С. 316-317. – EDN YRBZMM.
5. Алмазова, М. К. Физические аспекты и преимущества бор-нейтронозахватной терапии / М. К. Алмазова, А. А. Кривушин // Инновационные технологии в медицине: взгляд молодого специалиста: Сборник докладов VIII Всероссийской научной конференции молодых специалистов, аспирантов, ординаторов, Рязань, 21 октября 2022 года / Под редакцией Р.Е. Калинина, И.А. Сучкова. – Рязань: Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова, 2022. – С. 4-5. – EDN OBNUDH.
6. Alqahtani FF. SPECT/CT and PET/CT, related radiopharmaceuticals, and areas of application and comparison. Saudi Pharm J. 2023;31(2):312-328. doi: 10.1016/j.jsps.2022.12.013
7. Кривушин, А. А. Особенности преподавания дозиметрии ионизирующих излучений для студентов педиатрического факультета / А. А. Кривушин // Российский вестник перинатологии и педиатрии. – 2022. – Т. 67, № 4. – С. 325. – EDN GVAFVP.
8. Авачева, Т. Г. Особенности организации самостоятельной работы при изучении физики студентов медицинского университета / Т. Г. Авачева, О. А. Милованова, А. А. Кривушин // Физика в системе современного образования (ФССО-2023) : Материалы XVII Международной конференции, Санкт-Петербург, 27–30 июня 2023 года. – Санкт-Петербург: Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена, 2023. – С. 160-166. – EDN XIQXWG.
9. Авачева, Т. Г. Автоматизация расчетной части лабораторных работ по медицинской физике / Т. Г. Авачева, А. А. Кривушин // Школа будущего. – 2023. – № 3. – С. 128-137. – DOI 10.55090/19964552_2023_3_128_137. – EDN FFNILC.
10. Авачева, Т. Г. Изучение мотивации студентов медицинских специальностей и пути ее повышения при обучении физике, математике / Т. Г. Авачева, Е. В. Прохорова, М. А.

Шмонова, А. А. Кривушин // Школа будущего. – 2022. – № 3. – С. 42-53. – DOI 10.55090/19964552_2022_3_42_53. – EDN UUҮMBM.