

2012



Что такое ядерная медицина

Кузьмина Н.Б.



Центр ядерной медицины НИЯУ МИФИ

Содержание

Введение.....	2
Что такое ядерная медицина?.....	2
Однофотонная эмиссионная компьютерная томография	3
Позитронно-эмиссионная томография.....	5
ПЭТ для животных.....	6
Компьютерная томография	7
Магнитно-резонансная томография	9
Радионуклидная и лучевая терапия	11
Технологии	16
Производство радиофармпрепаратов.....	16
Ускорители заряженных частиц для производства изотопов и лучевой терапии	18
Информационные технологии в ядерной медицине.....	19
Перспективы.....	20
Ядерная медицина в НИЯУ МИФИ	22
Медицинская физика	22
Медицинские ускорители.....	22
Радиохимия	23
Компьютерные методы в медицине	23
Наши партнеры	24
Полезные ссылки	25
Рекомендуемая литература.....	26

Введение

Вот уже несколько десятков лет ядерная энергия служит человечеству. Многие люди до сих пор думают, что ядерная индустрия – это только атомные электростанции, добыча урана и ядерное оружие. На самом деле всё это лишь верхушка огромного айсберга. Современную жизнь практически невозможно представить без ядерных технологий. Это и гигантские ускорители частиц, где учёные со всего мира решают загадку происхождения Вселенной, и атомные ледоколы исследующие Арктику, и сотни тысяч спасенных от рака жизней. Именно в медицине ядерные технологии нашли своё наиболее изящное применение. С их помощью появились совершенно новые методы диагностики и лечения различных заболеваний, что привело к появлению нового направления – ядерной медицины. Ядерная медицина – область массового использования радионуклидов – ядер атомов, распадающихся с испусканием элементарных частиц. На ее нужды расходуется более 50% годового производства радионуклидов во всем мире. В настоящее время трудно представить клинику в России или за рубежом, в которой при постановке диагноза заболевания не использовались бы различные радиоактивные препараты и меченные ими соединения. Учитывая большие перспективы использования радионуклидной диагностики, растет и расширяется число методов исследования, как давно зарекомендовавшие себя, так и совершенно новые технологии и радиоактивные соединения, ранее не встречавшиеся в клинической практике.

НИЯУ МИФИ многие годы успешно готовит специалистов для ядерной медицины, а недавно существенно увеличил набор абитуриентов и расширил спектр программ по ядерной медицине. Мы расскажем Вам об основных разделах ядерной медицины, её состоянии и перспективах развития в России и мире, познакомим с образовательными программами по этому направлению в НИЯУ МИФИ. Коллектив Центра ядерной медицины НИЯУ МИФИ надеется, что нам удастся заинтересовать Вас ядерной медициной, и Вы продолжите свое обучение в нашем университете.

Что такое ядерная медицина?

В этой брошюре под термином «ядерная медицина» понимают раздел высокотехнологичной медицины, в котором используются радионуклиды для лечения и диагностики заболеваний, включая:

- 1) радиоизотопные методы диагностики, в том числе: однофотонная эмиссионная компьютерная томография (ОФЭКТ), позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ); томографические методы, не использующие радионуклиды: компьютерная томография (КТ), магнитно-резонансная томография (МРТ);
- 2) радионуклидная и лучевая терапия (ЛТ);
- 3) технологии производства радиофармпрепаратов;
- 4) использование ускорителей заряженных частиц для производства изотопов и лучевой терапии;
- 5) компьютерные технологии для получения и хранения изображений в томографии, для планирования лучевой терапии и прочих расчетов.

Однофотонная эмиссионная компьютерная томография

В общем смысле томография - это метод неразрушающего объемного исследования внутренней структуры объекта. В однофотонной эмиссионной компьютерной томографии (ОФЭКТ) для получения изображения используется радионуклид, испускающий (эмиттирующий) гамма-кванты. Радионуклид входит в состав радиофармпрепарата (см. раздел «Технологии производства радиофармпрепаратов»), который накапливается в различных органах и тканях пациента по-разному, в зависимости от биологических свойств объектов и особенностей обмена веществ (метаболизма).

В подавляющем большинстве случаев радиофармпрепараты для диагностики вводят внутривенно, после чего сразу или спустя определенное время, в зависимости от метаболизма исследуемой области, производят ОФЭКТ обследование.

Радиофармпрепараты для ОФЭКТ готовят преимущественно на ядерных реакторах, что обеспечивает относительную дешевизну исследования. К наиболее широко используемым изотопам для ОФЭКТ относятся ^{99m}Tc , ^{201}Tl , ^{123}I , ^{131}I , ^{111}In и ^{67}Ga .

История ОФЭКТ началась в 1958 году, когда Х. Ангер – ученый из калифорнийского университета в Беркли изобрел гамма-камеру – прибор для создания двумерного изображения распределения гамма-источников в исследуемом объекте.

Внешний вид ОФЭКТ сегодня претерпел сильные изменения (см. Рисунок 2). Он состоит из двух подвижных блоков. Первый блок – детектирующая система, которая состоит из одной, двух, трех или более гамма-камер, которые вращаются вокруг пациента для получения томографического изображения. Второй блок – стол, перемещающийся в горизонтальной плоскости. Детекторы могут менять взаимное расположение для удобства снятия информации разных локализаций объекта. Структура гамма камеры показана на Рисунок 1. Такая детектирующая система позволяет использовать для реконструкции изображения только гамма-кванты выделенного направления, что в свою очередь позволяет определить положение источника излучения в пространстве.

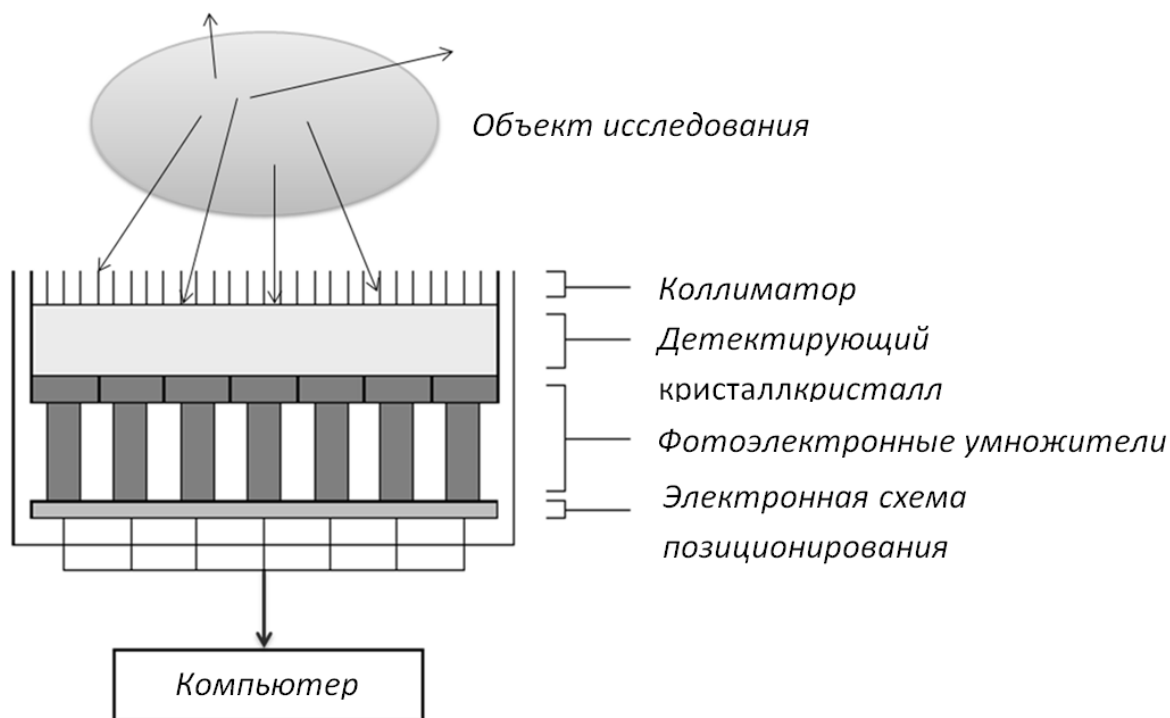


Рисунок 1. Структура гамма-камеры



Рисунок 2. Однофотонный эмиссионный компьютерный томограф

Сегодня ОФЭКТ является одним из лучших радиоизотопных методов исследования. Он находит свое применение в диагностике самых разных заболеваний: болезни Альцгеймера, травматического повреждения мозга, в диагностике онкологических заболеваний, а также широко используется для обследования пациентов после инфаркта, исследований кровотока в сердце и сосудистой системе.

Позитронно-эмиссионная томография

Позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ), также как ОФЭКТ, является методом радиоизотопной диагностики, позволяющим получать информацию о функционировании выбранного органа или всего тела путём исследования протекающих в нём метаболических процессов. Однако для ПЭТ используют изотопы, испускающие не гамма-кванты, как для ОФЭКТ, а позитроны – элементарные частицы, равные по массе электрону и заряженные положительно.

Позитронно-эмиссионный томограф состоит из неподвижного кольца детекторов и подвижного стола, на котором размещается пациент. Как правило, внешне томографы очень похожи друг на друга. Это в большей степени относится к ПЭТ, КТ и МРТ. Внешний вид таких томографов показан на Рисунке 3.



Рисунок 3. Внешний вид томографа (ПЭТ, КТ, МРТ)

В процессе ПЭТ исследования позитрон-излучающий (эмиттирующий) радиоизотоп в составе радиофармпрепарата вводится пациенту внутривенно или путем ингаляции. После этого изотоп циркулирует в кровяном русле и достигает исследуемого органа, например ткани головного мозга или сердечной мышцы. Когда испущенный позитрон встречается с электроном среды, в которой он находится, происходит аннигиляция, то есть превращение этих частиц в два гамма-кванта, которые разлетаются в строго противоположных направлениях. Так как эти гамма-кванты достигают детекторов одновременно, можно определить линию, на которой произошла аннигиляция (схема совпадений), а поскольку этих линий образуется много, можно выявить, где накапливается данный радиоизотоп.

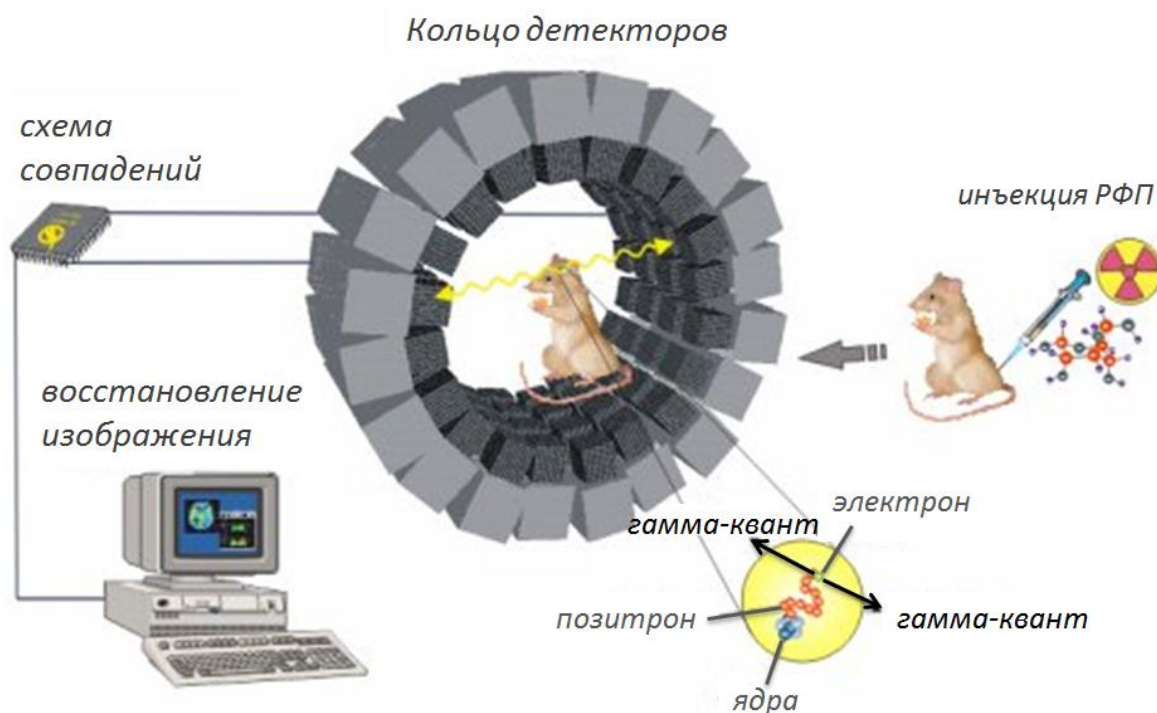


Рисунок 4. Получение изображения в ПЭТ

Для ПЭТ используются короткоживущие изотопы, получаемые на циклотронах. Поскольку такие изотопы быстро распадаются, необходимо устанавливать ПЭТ неподалеку от циклотрона. Как правило, строят целые ПЭТ центры, которые включают в себя циклотрон для производства изотопов, радиохимическую лабораторию для приготовления радиофармпрепаратов и собственно ПЭТ установки. К наиболее широко применяемым позитронным изотопам относятся ^{18}F , ^{82}Rb , ^{11}C , ^{15}O и ^{13}N .

ПЭТ активно используется в клинической онкологии для визуализации опухолей и метастазов, для клинической диагностики некоторых заболеваний мозга. ПЭТ также является важным исследовательским инструментом для отображения человеческого сердца.

ПЭТ для животных

Позитронно-эмиссионная томография является важным инструментом в экспериментальной медицине. Она используется для исследования мелких лабораторных животных, таких как крысы и мыши. Для этого создаются специальные миниатюрные томографы. ПЭТ-исследования мелких лабораторных животных дают ценную информацию о биохимических, физиологических, патологических и фармакологических процессах в живом организме, что позволяет разрабатывать и проводить исследования новых лекарственных препаратов.

В большинстве случаев подобную информацию получают при помощи моделирования заболеваний человека на животных. Для этой цели лучше всего подходят мыши, поскольку они физиологически и генетически сходны с человеком, поэтому на них можно имитировать большинство заболеваний человека.

В некоторых областях биологии, таких как неврология, предпочтение отдается крысам. Это обусловлено историческими причинами: до того, как мышинный геном был изучен, большинство экспериментов ставилось на крысах. Кроме того мозг крысы примерно в 7 раз больше мозга мыши, что облегчает хирургические манипуляции.

Компьютерная томография

В КТ для получения изображения используется рентгеновское излучение. Надо сказать, что раньше компьютерная томография называлась рентгеновской компьютерной томографией или РКТ, но первая буква в аббревиатуре не прижилась и сегодня такой вид томографии называется просто КТ.

Первый рентгеновский компьютерный томограф был сконструирован в 1969 году английским инженером-физиком Г. Хаунсфилдом и носил название «ЭМИ-сканер» (EMI-scanner). В 1972 году прошли его клинические испытания, а в 1979 году «за разработку компьютерной томографии» Г. Хаунсфилд и А. Кормак, решивший проблему томографического восстановления изображения, были удостоены Нобелевской премии по физиологии и медицине.

Современный компьютерный томограф выглядит, как показано на Рисунок. Неподвижный блок включает в себя кольцевую детектирующую систему и источник рентгеновского излучения – рентгеновскую трубку, перемещающуюся по окружности вокруг пациента для получения одного томографического среза, как показано на Рисунок 3. В состав томографа входит также стол, на котором размещается пациент. Стол перемещается перпендикулярно относительно детектирующей системы, за счет чего получают необходимое число срезов исследуемой области для получения объемного изображения. Полученная в результате сканирования информация поступает в компьютер, где происходит восстановление изображения и строится трехмерная картина исследуемой области.



Рисунок 3. Получение изображения в КТ

Компьютерная томография применяется при исследовании практически всех областей тела человека. С ее помощью также получают информацию о кровеносных сосудах (КТ ангиография) и о работе сердечной мышцы в режиме «реального времени» (КТ ангиография сердца – быстрое получение изображения в сочетании с большим количеством срезов исследуемой области). В целом, компьютерная томография дает возможность точно установить локализацию и распространенность патологического процесса, оценить результаты лечения, а также использовать результаты сканирования для планирования лучевой терапии.

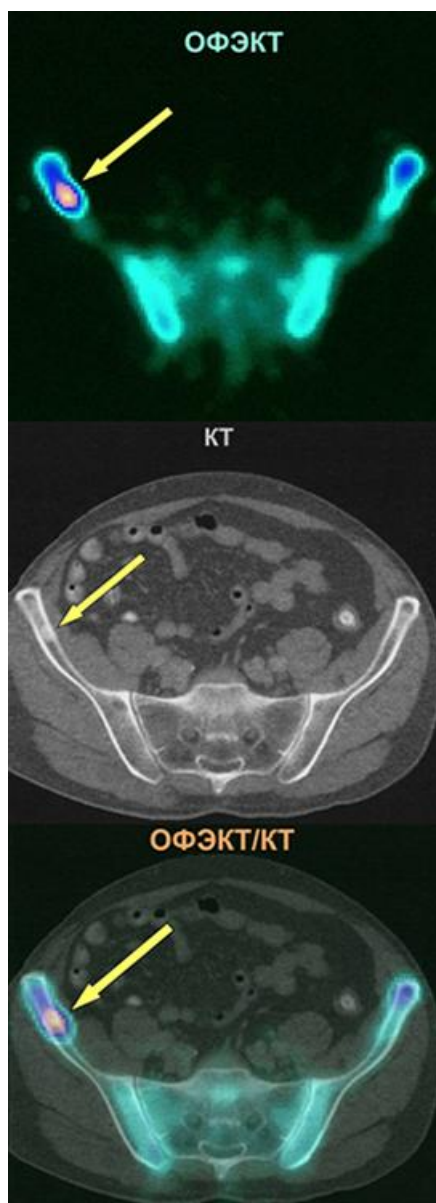


Рисунок 4. Сравнение ОФЭКТ и КТ изображений и совместное ОФЭКТ/КТ изображение

В современной медицине все чаще используются комбинированные ОФЭКТ/КТ и ПЭТ/КТ системы. Это связано с тем, что ОФЭКТ и ПЭТ дают скудную анатомическую информацию. Для восполнения этого пробела используют КТ. В таких системах сначала получают ОФЭКТ (ПЭТ) изображение, а затем продвигают стол в блок КТ и получают КТ-снимки. Преимущество комбинированной системы заключается в том, что за одну процедуру получают и анатомическую картину, и информацию о характере распространения патологического процесса.

Магнитно-резонансная томография

В 1946 году Ф. Блох и Э. Парселл независимо открыли явление ядерного магнитного резонанса (ЯМР), за что в 1952 году оба были удостоены Нобелевской премии. Суть этого явления состоит в том, что ядра некоторых атомов при помещении их в магнитное поле способны поглощать энергию в радиочастотном (РЧ) диапазоне и излучать ее после прекращения воздействия РЧ импульса. При этом напряженность постоянного магнитного поля и частота радиочастотного магнитного поля должны строго соответствовать друг другу, что и называется ядерным магнитным резонансом: ядерным—поскольку взаимодействие происходит только с магнитными моментами атомных ядер, магнитным—так как эти моменты ориентированы постоянным магнитным полем, а изменение их ориентации вызывается радиочастотным магнитным полем, резонансом—поскольку параметры этих полей строго связаны между собой. Наиболее интересными для медицины являются ядра водорода (^1H), углерода (^{13}C), натрия (^{23}Na) и фосфора (^{31}P), так как все они присутствуют в теле человека. Современные МР-томографы (МРТ) чаще всего «настроены» на ядра водорода, то есть позволяют получить трехмерную карту распределения ядер водорода в теле пациента. После включения ЯМР в число методов медицинской томографии прилагательное «ядерный» было опущено из соображений маркетинга, поскольку в массовом сознании оно связано с ядерным оружием или авариями на атомных электростанциях, с которыми ЯМР не имеет ничего общего. Поэтому в наши дни используется термин «магнитно-резонансная томография».

МРТ является конкурентом компьютерной томографии. В отличие от КТ, МРТ хорошо отображает мягкие ткани, тогда как КТ лучше визуализирует костные структуры. Кроме того магнитно-резонансный метод незаменим при обследовании головного и спинного мозга. Современные методики МРТ делают возможным без хирургического вмешательства исследовать функцию органов — измерять скорость кровотока, тока спинномозговой жидкости, видеть активацию коры головного мозга при функционировании органов, за которые отвечает данный участок коры.

Внешне магнитно-резонансный томограф, как правило, очень похож на КТ или ПЭТ (см. Рисунок), однако «начинка» его сильно отличается.

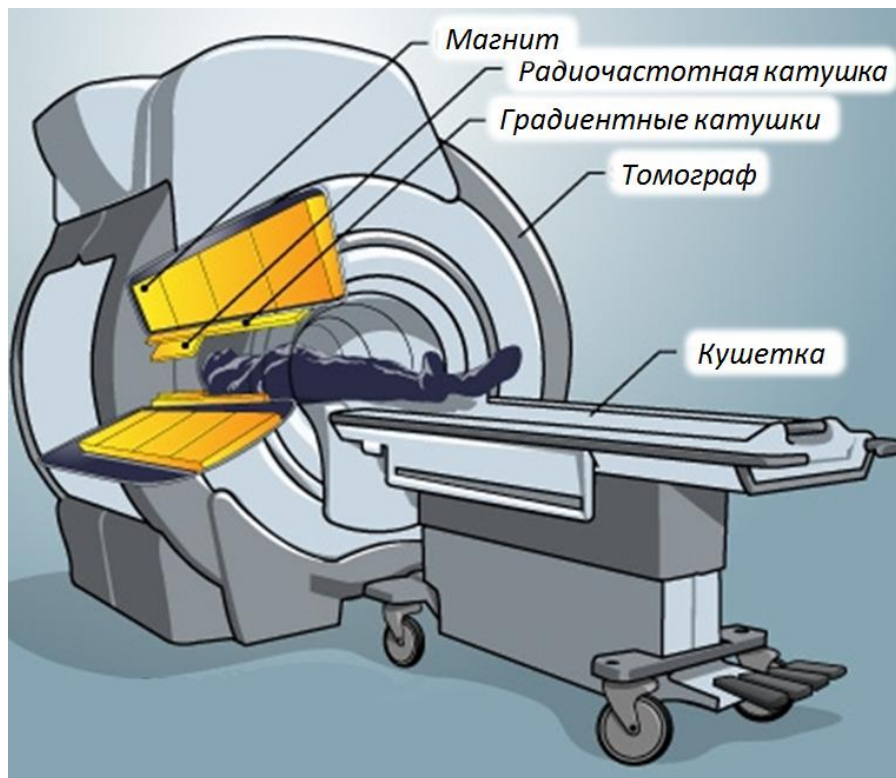


Рисунок 5. Схема устройства магнитно-резонансного томографа

Устройство магнитно-резонансного томографа иллюстрирует Рисунок 5. Магнитное поле, необходимое для процесса сканирования, создается магнитом. Для того чтобы получить трехмерную информацию об объекте, используют градиентные катушки (они как бы делают магнитное поле трехмерным). Внутри градиентных катушек находится радиочастотная катушка. Она испускает и принимает радиочастотные импульсы от ядер исследуемого объекта. Пациент располагается на управляемом компьютером столе.

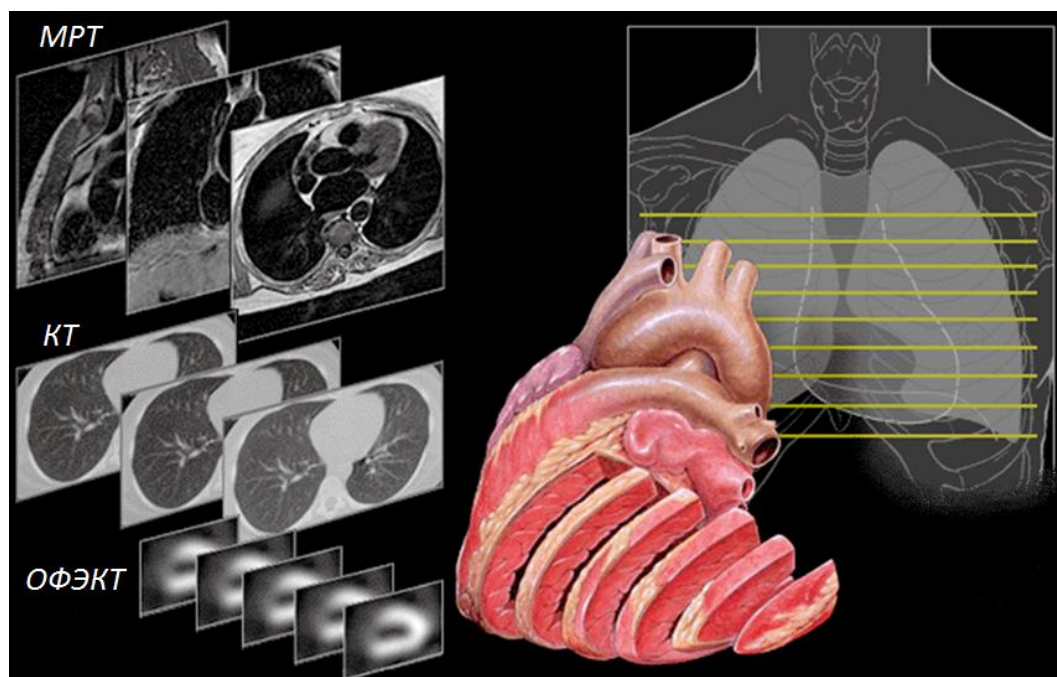


Рисунок 6. Сравнение МРТ, КТ и ОФЭКТ изображений

Радионуклидная и лучевая терапия

Лучевая терапия (ЛТ) является одним из ведущих методов лечения пациентов со злокачественными новообразованиями, некоторыми системными и неопухолевыми заболеваниями. Как самостоятельный метод или в сочетании с хирургическим, или с химиотерапией лучевая терапия показана более чем 80% пациентов со злокачественными новообразованиями.

Впервые рентгеновское излучение было применено для лечения злокачественных новообразований кожи вскоре после открытия его немецким физиком В.К. Рентгеном в 1895 г. В самом начале XX века некоторые крупные лечебные учреждения уже работали с рентгеновскими установками, специально созданными для облучения. Однако примитивная дозиметрия приводила к сильному разбросу результатов вплоть до 1928 г., когда Второй Международный конгресс радиологов ввел единицу экспозиционной дозы *рентген*. При правильном выборе различных видов излучения, направления и размеров пучков, модуляции интенсивности к опухоли удастся подвести более высокую дозу облучения, чем это удавалось прежде, и в то же время значительно снизить дозу излучения в окружающих опухоль тканях.

Широкие показания к лучевой терапии объясняются возможностью применения ее как при операбельных, так и при неоперабельных формах опухоли, а также неуклонно возрастающей эффективностью различных методов лучевой терапии. Успех лучевой терапии связан с развитием диагностической и терапевтической техники, с появлением новых конструкций аппаратов, с развитием клинической дозиметрии, с многочисленными радиобиологическими исследованиями, раскрывающими механизм регрессии опухоли под влиянием облучения.

Лучевую терапию различают по виду излучения:

- ЛТ рентгеновским излучением высокой энергии
- Гамма-терапия
- Облучение быстрыми электронами
- Облучение протонами
- Облучение нейтронами
- Контактная (радионуклидная) ЛТ

Облучение рентгеновским излучением высокой энергии - наиболее распространенный метод лучевой терапии. Источниками этого излучения, как правило, являются линейные ускорители электронов (ЛУЭ), в которых электроны, разгоняясь до высоких энергий, тормозятся с испусканием рентгеновского излучения. Излучающая головка ускорителя перемещается вокруг пациента, за счет чего облучение можно проводить под разными углами и, как следствие, опухоль получает максимум дозы при минимальной лучевой нагрузке на нормальные ткани. Такая ЛТ используется для облучения глубоко расположенных опухолей (центральной нервной системы, мочевого пузыря, легкого и др.).



Рисунок 7. Установка для облучения рентгеновским излучением

Одна из установок такого типа – роботизированная радиохирургическая система «Кибер-Нож» (см. Рисунок 8). Термин «радиохирургия» подразумевает, что рентгеновское высокой мощности собирается в узкий пучок и используется для уничтожения патологических тканей. В этом случае рентгеновский луч можно сравнить со скальпелем хирурга, отсюда и название «Кибер-Нож». Такая установка используется преимущественно для лечения головного и спинного мозга, а в ряде случаев даже является альтернативой для хирургии.



Рисунок 8. Радиохирургическая система «Кибер-Нож»

Гамма-терапия в качестве источника использует радионуклид, распадающийся с испусканием гамма-излучения. При гамма-терапии источник перемещается вокруг пациента, как в ЛТ рентгеновским излучением.

Гамма-терапия применяется для лечения как опухолей внутренних органов, так и поверхностно расположенных опухолей. Также гамма-терапию используют для лечения неопухолевых заболеваний.



Рисунок 9. Установка для гамма-терапии

Облучение электронами. В качестве источника электронов здесь применяют линейный ускоритель электронов или бетатрон. Как правило, для медицинского назначения используют ЛУЭ, которые работают в двух режимах: облучения фотонами или электронами. В основном этот метод используется для повторной ЛТ.



Рисунок 10. Установка для облучения фотонами и электронами

Облучение протонами. Протоны - тяжелые заряженные частицы, которые ускоряются с помощью синхротрона, фазотрона и циклотрона. Облучение протонами имеет принципиальные преимущества по сравнению с лучевой терапией электронами и фотонами. Связано это со свойством протонов выделять большую часть энергии в конечной точке пробега. При этом удастся повысить дозу на патологические ткани и снизить дозу на нормальные. На этом же принципе основано облучение тяжелыми ионами, которое вместе с облучением протонами входит в понятие «**адронная терапия**».

Облучение протонами применяется для ЛТ внутричерепных новообразований различного размера, а также для лечения радиорезистентных опухолей с малым диаметром.



Рисунок 11. Установка для облучения протонами

Облучение нейтронами осуществляется на реакторах и генераторах нейтронов. При облучении нейтронами в клетке возникает двойной разрыв ДНК, что приводит к ее гибели. Так как гибнут не только опухолевые, но и здоровые клетки, для нейтронов характерен высокий процент лучевых повреждений.

Облучение нейтронами применяется для ЛТ радиорезистентных опухолей, саркомы костей, мягких тканей.



Рисунок 12. Установка для облучения нейтронами

Нейтрон-захватная терапия. При лечении этим методом злокачественные новообразования облучаются потоком нейтронов низких энергий от ядерного реактора или нейтронного генератора. Для облучения с максимальным эффектом в опухоли и минимальным в нормальных тканях необходимо насыщение опухоли элементами, характеризующимися большим поперечным сечением захвата медленных нейтронов. Такими элементами являются бор (^{10}B) и литий (^6Li). Эти элементы медленно переходят из крови в головной мозг, а в опухолевую ткань поступают значительно быстрее. Установлено, что через 30 минут после внутривенного введения соединений бора его концентрация в опухоли мозга в 4-5 раз выше, чем в нормальной ткани. И именно в это время должно проводиться облучение. Концентрация бора и лития в мышечной ткани очень велика, и поэтому нейтронозахватную терапию нельзя применять при опухолях туловища и конечностей. Этот метод применим только при опухолях мозга.

В России пока этим методом лечат только собак и только на реакторе НИЯУ МИФИ. В облучательном блоке МИФИ прошли лечение уже 27 домашних собак. Но впервые в мире нашим специалистам из МИФИ, Института биофизики (ФМБЦ) и Онкологического центра удалось в июне 2004 года вылечить этим методом рак кости у собаки-добермана. Сейчас технология совершенствуется и планируется перейти на человеческих пациентов.



Рисунок 13. Исследовательский реактор НИЯУ МИФИ

Контактная лучевая терапия - метод облучения, при котором источник излучения находится на расстоянии менее 30 см от облучаемого объекта. Различают следующие виды контактной ЛТ:

- ✓ аппликационная ЛТ;
- ✓ внутриполостное облучение;
- ✓ внутритканевая ЛТ.

При *аппликационной ЛТ* источники ИИ помещаются непосредственно на поверхности тела больного без нарушения целостности тканей. Источник излучения представляет собой излучающую поверхность, имеющую различные формы, размеры и кривизну.

Внутриполостное облучение производят путем введения источника излучения в естественные (полость рта, матки; пищевод, прямая кишка) или искусственно образованные (послеоперационная рана и др.) полости. Первоначально на практике больному накладывали аппликатор, обычно уже заряженный радиоактивными источниками. Это приводило к облучению персонала во время выполнения этой процедуры; торопясь, источники располагали хуже, чем следовало. В настоящее время эту методику заменили способом последовательного введения, по которому сначала в тело больного вводят пустой держатель или направляющий канал для источников, затем проверяют их положение, делая рентген-снимок или проводя ультразвуковое обследование. Лишь убедившись в том, что это положение правильное, больного переводят в изолированное или имеющее необходимую защиту помещение и вводят ему радиоактивные источники.

Внутритканевая ЛТ. Помимо введения закрытых радиоактивных источников в полости тела больного можно вводить непосредственно в опухоли или размещать на поверхностях опухолей иглы, гранулы, проволоки, содержащие радиоактивные источники. Их располагают по геометрическим схемам, рассчитанным так, чтобы объем мишени облучался сравнительно равномерно. При внутритканевой ЛТ источник излучения находится в опухоли или в тканях организма больного в течение всего процесса лечения.

Технологии

Производство радиофармпрепаратов

Созданием радиофармпрепаратов занимается большое количество специалистов. В-первых, это радиохимики - люди, которые получают радионуклиды. Впрочем, произвести изотоп - только полдела. Необходимо создать на его основе лекарственный препарат, а этим занимаются радиофармацевтические химики. Прежде, чем радиофармпрепарат попадет в клинику, его обязательно исследуют на животных, проводят доклинические испытания, этим занимаются радиобиологи.

Становление радиохимии как самостоятельной области химии началось в конце 19 века. Основополагающими были работы М. Склодовской-Кюри и П. Кюри, открывших и выделивших в 1898 году радий (Ra) и полоний (Po). Интересный факт, что в результате работ П. Кюри, М. Склодовской-Кюри и Э. Резерфорда оказалось, что «греческий неделимый» атом делим. Ф. Содди даже предложил поменять термин АТОМ (от греч. atomos — неделимый) на ТОМ. Тогда на русском языке ядерная энергия обозначалась бы как томная энергия. Открытие и изучение практически всех химических элементов, начиная с № 84 (полоний) заслуга радиохимиков. В 1910 году В.И. Вернадский первый оценил новые энергетические возможности: «Перед нами открылись источники энергии, перед которыми по силе и значению бледнеют сила пара, сила электричества, сила взрывчатых химических процессов... С надеждой и опасением всматриваемся мы в нового союзника».

1 H Hydrogen 1.0079		
3 Li Lithium 6.941	4 Be Beryllium 9.0122	
11 Na Sodium 22.9897	12 Mg Magnesium 24.305	
19 K Potassium 39.098	20 Ca Calcium 40.078	21 Sc Scandium 44.9559
37 Rb Rubidium 85.4678	38 Sr Strontium 87.62	39 Y Yttrium 88.9059
55 Cs Cesium 132.9055	56 Ba Barium 137.327	72 Hf Hafnium 178.49
87 Fr Francium (223)	88 Ra Radium (226)	104 Rf Rutherfordium (261)

В настоящее время известно 118 химических элементов, в общей сложности доказано существование около 2000 нуклидов. Из этих нуклидов только 283 нуклид стабилен, остальные радиоактивные. Около 300 из них находят или могут найти практическое применение в различных сферах человеческой деятельности.

В ядерной медицине радионуклиды применяются в основном в виде радиофармпрепаратов как для ранней диагностики заболеваний различных органов человека, так и для лечения. Радиофармпрепараты — это соединения радиоактивных изотопов с различными неорганическими или органическими веществами, предназначенные для медико-биологических исследований, радиоизотопной диагностики и лечения различных заболеваний, главным образом для лучевой терапии злокачественных опухолей. Радиофармпрепарат может представлять собой радиоактивный элемент, например, ^{133}Xe , а также радиоактивное соединение, как, например, белок, меченный иодом-131. В последнем случае радиофармпрепарат имеет две составляющие — радионуклид и фармацевтический препарат («транспортное средство» для радионуклида), определяющие его использование.

При разработке нового радиофармпрепарата сначала выбирается «транспортное средство» с его преимущественным накоплением в необходимом органе, а потом его «метят» подходящим изотопом, так, чтобы после введения радиофармпрепарата в организм излучение от изотопа можно было фиксировать радиометрической аппаратурой и получить изображение требуемого органа. Таким образом можно оценить структуру или функцию органа или ткани для выявления патологии.

Для диагностических целей применяются радиофармпрепараты, которые при введении в организм участвуют в исследуемых видах обмена веществ или изучаемой деятельности органов и систем. Отличительной особенностью диагностического радиофармпрепарата при этом является отсутствие химического воздействия на организм. Используемые в радиофармпрепаратах изотопы, как правило, имеют короткий эффективный период полураспада, чтобы обеспечить незначительную лучевую нагрузку на организм обследуемого.

Благодаря разнообразию радионуклидов и большому количеству «транспортных средств», доставляющих изотоп к органу-мишени, сегодня можно изучать любую систему организма. Например, в клинических исследованиях с использованием ПЭТ-технологии распространен такой радиофармпрепарат, как ^{18}F ФДГ. Он представляет собой молекулу фтордезоксиглюкозы, в которую искусственно встроена радиоактивная метка, в данном случае фтор-18, которая позволяет фиксировать молекулу ФДГ. Такой радиофармпрепарат применяется для диагностики онкологических, кардиологических и неврологических заболеваний.

Диагностика с использованием радиофармпрепаратов позволяет обнаружить нарушения деятельности органов намного раньше анатомических изменений, выявляемых другими диагностическими тестами (рентген, компьютерная и магнитно-резонансная томография, УЗИ). Такая ранняя диагностика позволяет осуществить раннее лечение, когда оно

наиболее эффективно и возможен благоприятный прогноз, что особенно важно при онкологических, кардиологических и неврологических заболеваниях.

Основные источники производства радионуклидов для ядерной медицины следующие: ядерные реакторы, ускорители заряженных частиц и радионуклидные генераторы. В мировом объеме производства радионуклидов громадная его часть получается на ускорителях заряженных частиц, которые в большинстве своем являются циклотронами различных типов и уровней.



Рисунок 14. Радиохимическая лаборатория

Ускорители заряженных частиц для производства изотопов и лучевой терапии

Ускорители – это приборы сравнительно небольшого размера и колоссальные сооружения, с помощью которых получают заряженные частицы высоких энергий.

Исторически ускорители заряженных частиц создавались для проведения фундаментальных исследований в области физики атомного ядра и элементарных частиц, как, например, Большой адронный коллайдер. Процесс углубления знаний в физике высоких энергий продолжается, и ускорители с большими энергиями, составляющие ускорительные накопительные кольца и коллайдеры, остаются необходимыми элементами прогресса. Однако параллельно с процессом создания ускорителей для фундаментальных исследований интенсивно развивались и отрасли, связанные с применением ускорителей в промышленности и, прежде всего, в медицине.

Наиболее широко в медицине применяются циклотроны и линейные. Циклотроны применяются как для производства радиофармпрепаратов, так для протонной и нейтронной терапии. Линейные же ускорители широко используются для проведения лучевой терапии фотонами и электронами. Для лучевой терапии электронами также применяют бетатрон.

Информационные технологии в ядерной медицине

Информационные технологии прочно поселились во всех сферах нашей жизни, не стала исключением и ядерная медицина.

Прежде всего, что же такое “информационные технологии”? Вообще говоря, под этим термином следует понимать любую совокупность методов получения, обработки, преобразования, передачи и предоставления информации. На практике этот термин употребляют в более узком смысле, подразумевая использование некоторой компьютерной системы для решения указанных задач. В настоящее время такая компьютерная система, как правило, включает в себя собственно компьютер, программу, осуществляющую регистрацию, обработку и предоставление информации врачу и медицинскому физики, базу данных, хранящую информацию о проведенных обследованиях, средства приема и передачи накопленной информации другому пользователю.

Сердцем любой системы, будь то диагностическая или терапевтическая аппаратура, является программное обеспечение. В томографии для получения изображения используют сложные программные комплексы, которые активно совершенствуются. Они получают информацию с томографа, производят восстановление изображения и выдают его на компьютер, они также позволяют преобразовывать изображения, делая их более ясными для врача.

Для лучевой терапии перед программистами ставится гораздо более сложная задача. Программное обеспечение обязано не только контролировать весь процесс облучения, включая контроль укладки пациента, но и с помощью специальных программ врачи совместно с медицинскими физиками создают дозиметрический план облучения пациента.

Перспективы

Состояние здоровья населения страны является вопросом национальной безопасности, при этом проблемы демографии, продолжительности и качества жизни человека имеют первостепенное значение. В этой связи особое значение приобретает ранняя диагностика заболеваний и своевременное лечение. Методы ядерной медицины и лучевой терапии во всей полноте отвечают этим задачам. Исследования, проведенные в США, Японии, странах Западной Европы и Австралии показывают, что применительно к системам здравоохранения этих стран вложения 1 доллара США в национальную ядерную медицину и лучевую терапию позволяют сэкономить от 1,5 до 2,5 долларов других расходов на здравоохранение (амбулаторное и стационарное лечение). После включения услуг по ядерной медицине в программы госстрахования наблюдается взрывообразный рост услуг в ядерной медицине, который в 2005-2010 годах растет со скоростью 35% в год.

Несмотря на высокоразвитые методы инструментальной диагностики и терапии, доля использования лучевой диагностики и терапии на Западе имеет тенденцию интенсивного роста. Это связано с появлением диагностической аппаратуры нового поколения. То, что методы ядерной медицины позволяют диагностировать функциональные отклонения жизнедеятельности органов на ранних стадиях болезни, когда человек может еще не чувствовать симптомы поразившего его заболевания, делает возможным существенно экономить средства, требуемые для лечения. Например, в США, где пятилетняя выживаемость обеспечивается у 64% онкологических больных (в Российской Федерации – около 50%), у 70% этих больных злокачественные опухоли были выявлены на самых ранних стадиях болезни, что и определило высокую эффективность лечения.

Ядерные медицинские технологии, как диагностические, так и терапевтические, широко применяются во всех экономически развитых странах мира при диагностике и лечении наиболее значимых онкологических и сердечно-сосудистых заболеваний. По статистическим данным, в США диагностические радионуклидные исследования проводятся в среднем 40 больным на одну тысячу человек в год, в Японии – 25 больным, в Австрии – 19, в России, к сожалению, только семи.



В России разрабатывается федеральная целевая программа по созданию сети высокотехнологических радиологических центров. Она ставит перед собой задачу модернизации страны и перехода российской экономики от экспортно-сырьевого к инновационному социально ориентированному типу развития. Кадровое обеспечение конкурентоспособными специалистами – важный компонент этой программы.

В ближайшем будущем планируется создать 4 центра ядерной медицины в Димитровграде, Обнинске, Томске и Протвино. Новые медицинские центры планируется оснастить полным спектром диагностической и терапевтической аппаратуры, включая комплексы для изготовления радиофармпрепаратов для нужд клиник. Планируется создать на базе этих учреждений протонные центры, а в перспективе – нейтронные установки. Это позволит удовлетворить потребность населения страны в высококвалифицированной радиологической помощи.

Также по всей России планируется открыть не менее 14 центров позитронно-эмиссионной томографии, 90 радионуклидных лабораторий и 7 отделений радионуклидной терапии. Для выхода на уровень лучших мировых стандартов этот парк, несомненно, будет и дальше наращиваться.

В рамках развития ядерной медицины планируется формирование научно-производственных кластеров, обеспечивающих разработку и производство медицинского оборудования на территории РФ.

Все это позволит выйти России на существенно новый уровень развития.

Ядерная медицина в НИЯУ МИФИ

НИЯУ МИФИ был основан в конце 40-х годов 20-го столетия как «кузница» кадров для фундаментальных и прикладных областей ядерной науки и техники. Его яркое прошлое связано с именами 6 нобелевских лауреатов и более чем 90 академиков и член-корреспондентов Российской академии наук, участвовавших в становлении университета. В начале 21-го века НИЯУ МИФИ придает особое значение подготовке специалистов, способных применить выдающиеся достижения отечественной науки для повышения жизненного уровня народов России.

НИЯУ МИФИ является головным университетом России по подготовке технических кадров для ядерной медицины. Университет выпускает специалистов по медицинской физике, планированию лучевой терапии и медицинским ускорителям.

В НИЯУ МИФИ обучают по следующим профилям:

Медицинская физика

Медицинская физика – это предмет, представляющий собой синтез прикладной части физики, изучающей методы медицинской диагностики, терапии и прикладной биофизики, объектом изучения которой являются физические законы функционирования органов и тканей человека.

Перед медицинской физикой стоит цель изучения систем профилактики, диагностики и терапии заболеваний, а также лечения больных с помощью методов и средств физики, математики и техники.

Медицинский физик – это специалист широкого профиля, объединяющий в себе фундаментальные знания в области физики, программирования, медицины и биологии. Он изучает физические процессы в организме человека и воздействие на него различных полей и излучений, использует достижения современной физики при разработке средств и методов для диагностики и терапии. Такие специалисты нужны в университетах, в медицинских и физических научно-исследовательских организациях, в частных компаниях, разрабатывающих и внедряющих медицинскую технику и, самое важное, в специализированных клинических центрах, где они непосредственно участвуют в лечебно-диагностическом процессе, разделяя с врачом ответственность за пациента.

Так как ядерная медицина в России в настоящее время набирает обороты, потребность в таких специалистах неуклонно растет. Медицинских физиков высокого класса готовят на Московской, Обнинской и Димитровградской площадках НИЯУ МИФИ.

Медицинские ускорители

Потребность в специалистах по медицинским ускорителям продиктована широким их использованием в медицинских учреждениях для диагностических и терапевтических целей. В НИЯУ МИФИ готовят кадры для эксплуатации оборудования в центрах протонно-лучевой терапии, позитронно-эмиссионной томографии и лучевой терапии.

Обслуживание ускорительных комплексов медицинского назначения требует специальной подготовки. Такие специалисты изучают принципы работы, физические

основы, теорию и основные элементы конструкции ускорителей заряженных частиц. Студенты подробно знакомятся с последними достижениями в области ускорительной техники, а также получают навыки работы на действующих установках.

Специалистов по данному профилю готовят на Московской площадке НИЯУ МИФИ.

Радиохимия

Специалисты в области радиохимии требовались всегда, но эта специальность не пользовалась особой популярностью. Однако в результате событий последних лет (закрытие реакторов в Европе, принятие целевой программы «Развитие ядерной медицины») стало ясно, что за радиохимией в России стоит большое будущее.

Основной целью образовательных программ по радиохимии является подготовка высококвалифицированных специалистов, которые владеют глубокими знаниями химических, физических, механических и фармацевтических свойств веществ, что позволит выпускникам эффективно решать задачу создания новых фармацевтических и радиофармацевтических препаратов, наноматериалов для биологии и медицины и современных оригинальных лекарственных средств.

Привлекательность указанных направлений подготовки состоит в междисциплинарном подходе, в освоении современных методов синтеза и диагностики материалов для биологии и медицины (в том числе традиционных и нанолекарственных средств), в освоении международных правил надлежащей производственной практики и стандартов, что позволит выпускникам эффективно решать задачи современного фармацевтического и радиофармацевтического материаловедения.

Все расширяющееся применение в медицине радиоизотопных методов диагностики и лечения больных требует подготовки значительного числа специалистов-химиков, хорошо подготовленных в области радиохимии и радиофармацевтической химии. Таких специалистов сейчас готовят на Димитровградской, Обнинской площадках НИЯУ МИФИ и планируется на Московской.

Компьютерные методы в медицине

Компьютерные медицинские системы в НИЯУ МИФИ вбирают в себя целый круг задач. Это разработка и применение систем клинической диагностики, такой как рентгенология, компьютерная томография, радиоизотопная диагностика, разработка и применение сетей для дистанционных врачебных консультаций с удалёнными лечебными учреждениями России. Также это направление включает в себя разработку обучающих медицинских систем. Данное направление охватывает разработку методов и средств обучения врачей применению современных информационных технологий в медицине (работа с ЭВМ, с компьютерной медицинской системой, с локальными и глобальными сетями, включая Интернет, с экспертными системами, с базами данных, создание электронных учебных пособий, медицинских атласов, справочников, методы дистанционного обучения).

Специалистов по компьютерным медицинским системам готовят на Московской площадке НИЯУ МИФИ.

Наши партнеры

Обучение студентов идет в тесном сотрудничестве с ФМБА России, Минсоцздравом, РАМН. Наши студенты и аспиранты проходят практику и остаются работать в РОНЦ им. Блохина, институте нейрохирургии им. Бурденко, Федеральный научно-клинический центр детской гематологии, онкологии и иммунологии, ФМБЦ им. А.И. Бурназяна, МРНЦ РАМН (г. Обнинск), а также в научных центрах, где развиваются ядерно-медицинские технологии: НИЦ «Курчатовский институт», ИТЭФ, ОИЯИ, ИФВЭ, ФЭИ, а также за рубежом.

Полезные ссылки

НИЯУ МИФИ: www.mephi.ru

Центр Ядерной Медицины НИЯУ МИФИ: mephi-dev.dyndns.org

Госкорпорация Росатом: www.rosatom.ru

Рекомендуемая литература

1. Арнсвальд Д., Верник М. Эмиссионная томография: основы ПЭТ и ОФЭКТ. Москва: Техносфера, 2009.
2. Климанов В.А. Физика ядерной медицины. Часть 1. Москва: НИЯУ МИФИ, 2012.
3. Климанов В.А., Крылова Т.А. Дозиметрическое планирование лучевой терапии. Часть 1. Дистанционная лучевая терапия пучками тормозного и гамма-излучения. Москва: МИФИ, 2007.
4. Климанов В.А. Дозиметрическое планирование лучевой терапии. Часть 2. Дистанционная лучевая терапия пучками заряженных частиц и нейтронов. Брахитерапия и радионуклидная терапия. Москва: МИФИ, 2007.
5. Климанов В.А. Дозиметрическое планирование лучевой терапии. Часть 3. Лучевая терапия пучками с модулированной интенсивностью. Оптимизация облучения. Москва: МИФИ, 2008.
6. Никитаев В.Г. Шальнов Ф.И. Щедрин И. С. Медицина и ускорители. Москва: Диалог-МИФИ, 2007.
7. Улин С.Е., Михайлов В.Н., Никитаев В.Г., Алексеев А.Н., Кириллов-Угрюмов В.Г., Сергеев Ф.М. Физические методы медицинской интроскопии. Москва: МИФИ, 2009.
8. Наркевич Б.Я. Физические основы ядерной медицины.
9. Лишманова Ю.Б., Чернова В.И. Национальное руководство по радионуклидной диагностике. Томск STT: 2010
10. Линденбратен Л.Д., Королюк И.П. Медицинская радиология(Основы лучевой диагностики и терапии)-М, Медицина,2000 -672 стр.
11. Цыб А.Ф., Королюк И.П., Капишников А.В. Беседы о ядерной медицине, М., Медицина, 2009
12. Богородская М.А., Кодина Г.Е. Химическая технология радиофармацевтических препаратов,курс лекций: учеб.пособие, Москва: ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2010