РАДИОНУКЛИДНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

**Введение**

В конце 19 века сама мысль о возможности использования ядерно-физических феноменов для исследования больных могла показаться если не сумасбродной, то сказочной. Но именно такая идея родилась в опытах венгерского ученого Д. Хевеши, впоследствии лауреата Нобелевской премии. В один из осенних дней 1912 г. Э. Резерфорд показал ему груду хлористого свинца, валявшуюся в подвале лаборатории, и сказал: «Вот, займитесь этой кучей. Постарайтесь из соли свинца выделить радий D».

После долгих опытов, проведенных Д. Хевеши совместно с австрийским химиком А. Панетом, стало ясно, что химическим способом разделить свинец и радий D невозможно, так как это не отдельные элементы, а изотопы одного и того же элемента — свинца! Они отличаются только тем, что один из них радиоактивен. Распадаясь, он испускает ионизирующее излучение. Значит, радиоактивный изотоп — радионуклид — можно применять как метку при изучении поведения его нерадиоактивного близнеца.

Перед врачами открылись заманчивые перспективы: вводя в организм больного радионуклиды, наблюдать за их местонахождением с помощью радиометрических приборов. За сравнительно короткий срок радионуклидная диагностика превратилась в самостоятельную медицинскую дисциплину. Ее основным методом является радиометрия, или метод радиоактивной индикации.

**Радионуклидный метод** - это способ исследования функционального и морфологического состояния органов и систем с помощью радиоактивных нуклидов и меченных ими индикаторов. Эти индикаторы - их называют радиофармацевтическими препаратами (РФП) - вводят в организм больного, а затем посредством различных приборов определяют скорость и характер перемещения, фиксации и выведения их из органов и тканей. Кроме того, для радиометрии могут быть использованы кусочки тканей, кровь и выделения больного. Несмотря на введение лишь ничтожно малых количеств индикатора (сотые и тысячные доли микрограмма), не оказывающих влияния на нормальное течение жизненных процессов, метод обладает исключительной чувствительностью.

Типичная радионуклидная диагностическая система состоит из источника излучения (РФП), объекта исследования, приемника излучения и врача (радиолога-диагноста). Приемник излучения включает в себя детектор, электронный блок для преобразования электрических сигналов от детектора и блок индикации, т. е. систему представления данных исследования.

**1. Радиофармацевтические препараты**

**Радиофармацевтическим препаратом** называется химическое соединение, содержащее в своей молекуле радионуклид, которое разрешено для введения человеку с диагностической целью. Радионуклид должен обладать спектром излучения определенной энергии, обусловливать минимальную лучевую нагрузку и отражать состояние исследуемого органа. Поэтому выбор РФП осуществляют с учетом его фармакодинамических (поведение в организме) и ядерно-физических свойств. Фармакодинамику определяет то химическое соединение, на основе которого синтезирован РФП. Возможности же регистрации РФП зависят от типа распада радионуклида, которым помечен РФП. Выбирая РФП для исследования, врач, прежде всего, должен учесть его физиологическую направленность, его фармакодинамику. Рассмотрим это на примере введения РФП в кровь. После инъекции в вену РФП первоначально равномерно распределяется в крови и транспортируется по всем органам и тканям. Если врача интересует гемодинамика и кровенаполнение органов, то он выберет индикатор (например, альбумин человеческой сыворотки), который длительное время циркулирует в кровеносном русле, не выходя за пределы стенок сосудов в окружающие ткани. Если же врач наметил исследование печени, то он предпочтет химическое соединение, которое избирательно улавливается этим органом. Некоторые вещества захватываются из крови почками и выделяются с мочой - они служат для изучения почек и мочевых путей. Третьи РФП тропны к костной ткани - они незаменимы при исследовании костно-суставного аппарата.

Изучая сроки транспортировки и характер распределения и выведения РФП из организма, врачи судят о функциональном состоянии и структурно-топографических особенностях этих органов.

Но недостаточно учитывать только фармакодинамику РФП, надо обязательно принять во внимание ядерно-физические свойства входящего в него радионуклида. Прежде всего, он должен иметь определенный спектр излучения. Для получения изображения органов применяют только радионуклиды, испускающие гамма-излучение или характеристическое рентгеновское излучение, так как эти излучения можно регистрировать при наружной детекции. Чем больше образуется гамма-квантов или рентгеновских квантов при радиоактивном распаде, тем эффективнее данный РФП в диагностическом отношении. В то же время у радионуклида должно быть, по возможности, меньше корпускулярного излучения - электронов, которые поглощаются в теле пациента и не участвуют в изображении органов. С этих позиций предпочтительны радионуклиды с ядерным превращением.

Принято считать радионуклиды с физическим периодом полураспада в несколько десятков дней долгоживущими, в несколько дней - среднеживущими, в несколько часов - короткоживущими, в несколько минут - ультракороткоживущими. По понятным причинам стремятся использовать короткоживущие нуклиды.

Применение среднеживущих и тем более долгоживущих нуклидов связано с повышенной лучевой нагрузкой, использование ультракороткоживущих нуклидов затруднено по техническим причинам.

Существует несколько способов получения радионуклидов. Часть из них образуется в реакторах (йод 131 и 125, фосфор 32,кесенон 133), часть — в ускорителях (галлий 67, индий 111, йод 123, фтор 18, кислород 15, углерод 11, азот 13). Однако наиболее распространенным способом получения радионуклидов является теперь генераторный, т. е. изготовление радионуклидов непосредственно в лаборатории радионуклидной диагностики с помощью генераторов. Таким образом получают технеций 99 m, индий 113 m.

Очень важный физический фактор радионуклида - энергия квантов электромагнитного излучения. Кванты очень низких энергий задерживаются в тканях и, следовательно, не попадают на детектор радиометрического прибора. Кванты же очень высоких энергий частично пролетают детектор насквозь; эффективность их регистрации невысока. Поэтому для радионуклидной диагностики выбирают нуклиды с энергией квантов в диапазоне 70—200 кэВ.

Важным требованием к РФП является минимальная лучевая нагрузка при его введении. Известно, что активность примененного радионуклида уменьшается вследствие двух факторов: распада его атомов, т. е. физического процесса, и выведения его из организма — биологического процесса. Время распада половины атомов нуклида называется физическим периодом полураспада (Тфиз). Время, за которое активность препарата, введенного в организм, снижается наполовину за счет выведения, называется периодом биологического полувыведения (Тбиол). Время, в течение которого активность введенного в организм РФП уменьшается наполовину за счет физического распада и за счет выведения, называется эффективным периодом полувыведения (Т эфф).

Для радионуклидных диагностических исследований стремятся выбрать РФП с наименее продолжительным Тэфф. Это понятно: ведь от данного параметра зависит лучевая нагрузка на больного. Но очень короткий физический период полураспада также неудобен: нужно успеть доставить РФП в лабораторию, провести исследование. Общее же правило таково: Тэфф препарата должен приближаться к продолжительности диагностической процедуры.

Как уже указывалось, в лабораториях преобладает ныне генераторный способ получения радионуклидов. Но часть РФП доставляют в лабораторию в плановом порядке специальным транспортом и в специальной упаковке - в контейнерах разных типов. В прилагаемом паспорте должны быть указаны: название радионуклида (соединения), общий объем, общая активность, удельная активность, наличие примесей и количество стабильного элемента. Контейнеры заносят через специальную дверь или люк в специальное помещение - хранилище и помещают в защитные сейфы, разделенные на секции.

Все радионуклидные диагностические исследования разделяют на две большие группы: исследования, при которых РФП вводят в организм пациента (исследования in vivo), и исследования крови, кусочков ткани и выделений больного (исследования in vitro). Исследования in vitro в свою очередь бывают двух типов. Первый тип - регистрация радиоактивности крови, испражнений, мочи или кусочков ткани, взятых у больного, в организм которого был предварительно введен РФП. Второй тип — изучение реакции крови больного, не получавшего РФП, со стандартными радиофармацевтическими реактивами.

При любом радионуклидном исследовании требуется психологическая подготовка пациента. Ему необходимо разъяснить цель процедуры, ее значение для диагностики, порядок ее проведения. Особенно важно отметить безопасность исследования. Специальной подготовки, как правило, не нужно. Следует лишь предупредить пациента о режиме его поведения во время исследования, в частности при процедурах, связанных с повторным забором крови или выделений. При исследованиях in vivo применяют различные способы введения РФП в зависимости от задач процедуры. Большинство методик требует инъекции РФП преимущественно в вену, гораздо реже в артерию, в паренхиму органа, в другие ткани. РФП применяют путем вдыхания и перорально.

Показания к радионуклидному исследованию определяет лечащий врач после консультации с радиологом. Как правило, оно проводится после других клинических, лабораторных и неинвазивных лучевых процедур, когда становится ясной необходимость радионуклидных данных о функции и морфологии того или иного органа. Противопоказаний к радионуклидной диагностике нет, имеются лишь ограничения, предусмотренные инструкциями Министерства здравоохранения.

**2. Методы радионуклидного исследования**

Для выполнения радионуклидных исследований разработан целый класс разнообразных радиодиагностических приборов. Независимо от их конкретного назначения все эти приборы устроены по единому плану. Каждый из них состоит из трех основных узлов или блоков: 1) детектора, преобразующего ионизирующее излучение в электрические сигналы; 2) блока электроники, обеспечивающего необходимые манипуляции с электрическими сигналами; 3) блока индикации, или системы представления данных. Многие радиодиагностические приборы оснащены компьютером, в котором обрабатывается диагностическая информация.

Непосредственным приемником излучения во всех радиодиагностических приборах является датчик (детектор). В качестве детектора используют сцинтилляторы, или, редко - для измерения бета-излучения - газовые индикационные счетчики. Сцинтиллятор - это вещество, в котором под действием быстрых заряженных частиц или фотонов квантового излучения возникают световые вспышки - сцинтилляции. Сцинтиллятор служит приемной частью сцинтилляционного счетчика.

Сцинтилляционный детектор представляет собой устройство, состоящее из сцинтилляционного кристалла, помещенного в защитный металлический кожух. Со стороны исследуемого объекта кристалл прикрыт коллиматором, имеющим одно или несколько отверстий. Коллиматор предназначен для того, чтобы ограничить «поле видения» детектора - его рабочую поверхность - размерами исследуемого объекта (органа или его части). Обычно у радиодиагностического прибора имеется несколько сменных коллиматоров, которые подбираются врачом в соответствии с решаемой клинической задачей.

Коллиматоры сделаны из металла и защищают кристалл от радиоактивного фона лаборатории и естественного радиационного фона. Существует множество типов коллиматоров. В принципе, чем больше отверстие коллиматора, тем выше чувствительность детектора, т. е. его способность регистрировать ионизирующее излучение, но одновременно ниже его разрешающая способность, т. е. свойство раздельно различать мелкие источники излучения (мелкие анатомические структуры).

В приборах, предназначенных для определения радиоактивности биологических проб, применяют сцинтилляционные детекторы в виде так называемых колодезных счетчиков. Для измерения радиоактивности биологических жидкостей, содержащих радионуклиды с мягким бета-излучением, например, тритий, используют жидкие сцинтилляторы. В состав сцинтилляционной жидкости входят органические соединения, способные к свечению под воздействием ионизирующихйизлучений.

**3. Клиническая и лабораторная радиометрия**

Под клинической радиометрией понимают измерение радиоактивности всего тела или его части после введения в организм РФП.

Введенный радионуклид является постоянным источником излучения. Обычно в клинической практике используют гамма-излучающие нуклиды. Гамма-излучение частично поглощается в тканях, частично рассеивается, а частично регистрируется радиометром. В наиболее простом варианте радиометр снабжен одним детектором, с помощью которого измеряют интенсивность излучения над исследуемой частью тела. На шкале прибора появляются цифры соответственно числу зарегистрированных импульсов. Оценка результатов радиометрии осуществляется в относительных величинах, а именно в процентах от введенной радиоактивности.

Для некоторых специальных исследований в организм вводят бета-излучающие радионуклиды, например 32Р. Но бета-частицы отличаются малой проникающей способностью. Поэтому для их регистрации необходимо максимально приблизить рабочую поверхность детектора к исследуемому участку. Это осуществляют с помощью, так называемых, бета-зондов. В концевой части зонда укреплен кремниевый полупроводниковый детектор, который в процессе радиометрии непосредственно приближают к объекту, располагая его на коже, вводя в полости тела или прямо в патологически измененные ткани. Таким образом, удается измерять интенсивность бета-излучения из патологических образований, возникших в поверхностных тканях, грудной железе, на слизистой оболочке полости рта, пищевода, желудка, шейки матки, в глазном яблоке. Практически для бета-радиометрии используют только 32Р. Типичным примером является исследование накопления 32Р в пигментном образовании на коже. Резко повышенная концентрация фосфора указывает на злокачественный характер опухоли (злокачественная меланома).

Радиометрию всего тела проводят для определения величины активности и распределения в отдельных органах введенного в организм РФП. Для этой цели разработаны различные системы детекторов, укрепленных на значительном расстоянии от пациента и в совокупности обладающих большим «полем зрения». Это позволяет регистрировать излучение сразу над всем телом. В таких детекторах используют кристаллы больших размеров. Если во время радиометрии прикрыть свинцовой пластиной какую-либо часть тела (орган), то можно оценить вклад именно этой части тела в общую радиоактивность организма. Многократные повторные исследования дают возможность устанавливать эффективный период полувыведения радионуклида из организма и клиренс (срок очищения) отдельных тканей. Радиометрию всего тела в динамике производят при изучении метаболизма белков, витаминов, железа, для определения объема внеклеточной воды. Ее применяют также для измерения активности находящихся в организме радионуклидов, например 40К. В этом случае радиометр всего тела вместе с пациентом помещают в низкофоновой стальной камере, защищающей прибор от внешнего радиационного фона.

Для лабораторной радиометрии применяют автоматизированные радиометры (счетчики) проб. В них на конвейере располагаются пробы с радиоактивным материалом. Под управлением микропроцессора пробирки с радиоактивностью автоматически подают к окну колодезного счетчика; производят их радиометрию, после чего совершается автоматическая смена пробирок. Результаты измерения подсчитывают в микрокомпьютере и после соответствующей обработки выдают печатающим устройством в виде ленты. Современные радиометры позволяют производить в автоматизированном режиме сложные расчеты, представляя врачу готовую информацию, например концентрацию в крови гормонов, ферментов и т. д. с указанием точности произведенных измерений, отклонений от среднего значения и других статистических показателей. Если объем работы по лабораторной радиометрии невелик, применяют радиометры более простого типа с ручным перемещением пробирок и выполнением радиометрии в ручном, неавтоматическом режиме.

**4. Радиография**

Клиническая радиометрия предназначена для однократного или нескольких повторных измерений радиоактивности организма или его части. С ее помощью невозможно получить представление о быстро протекающих процессах, например о кровотоке в различных органах, о вентиляции легких, о функции почек и т. д. Для регистрации подобных функциональных параметров необходимо получить сведения о динамике транспорта радионуклида. Это осуществляют посредством радиографа.

**Радиография** — метод непрерывной или дискретной регистрации процессов накопления, перераспределения и выведения РФП из организма или отдельных органов. Для этих целей применяют радиографы — радиометры, в которых измеритель скорости счета соединен с самописцем, вычерчивающим кривую. В составе радиографа может быть один или несколько детекторов, причем каждый из них ведет измерение излучения независимо от другого.

Типичным примером радиографии является исследование накопления и выведения РФП из легких — так называемая радиопульмонография. Над разными отделами обоих легких устанавливают коллимированные сцинтилляционные детекторы. К вдыхаемой пациентом смеси добавляют радиоактивный ксенон (133Хе). Это инертный газ, который быстро выводится из организма и не создает в нем сколько-нибудь значительную дозу радиации. Динамику радиоактивности над каждым отделом легких радиограф регистрирует в виде кривой. Полученные кривые позволяют судить о поступлении и выведении газа, т. е. о вентиляции всех отделов легких.

Радиографический метод отличается простотой выполнения. Но он уступает по точности исследованию на гамме-камере. Главный его недостаток — неконтролируемая «геометрия счета», т. е. отсутствие возможности точно установить детектор над исследуемым органом, строго охватив его границы. Не дает радиограф и изображения органа. Трактовка результатов затруднена, если в состав радиографа не введен компьютер.

**5. Радионуклидная визуализация**

Термин «визуализация» образован от английского слова vision (зрение). Им обозначают получение изображения. **Радионуклидная визуализация** — создание картины пространственного распределения в органах РФП, введенного в организм (гамма-топография). Для визуализации распределенного в организме РФП в современных радиологических центрах и лабораториях применяют 4 радиодиагностических прибора: сканер, гамма-камеру, однофотонный эмиссионный томограф и двухфотонный (позитронный) эмиссионный томограф.

Соответственно различают 4 вида гамма-топографических исследований: сканирование, сцинтиграфию, однофотонную эмиссионную томографию и позитронную эмиссионную томографию.

**6. Радионуклидное сканирование и сцинтиграфия**

**Радионуклидное сканирование** - метод визуализации органов и тканей с помощью введения в организм РФП. Гамма-излучение распределенного в теле человека радионуклида регистрируют посредством движущегося над телом сцинтилляционного детектора. Прибор для радионуклидного сканирования называется сканер.

Сканер состоит из коллимированного сцинтилляционного детектора, приспособления для его перемещения над исследуемым, пересчетной схемы и маркера, жестко связанного с подвижным детектором и отмечающего на бумаге штрихами, цифрами или цветом зарегистрированную радиоактивность. Детектор построчно обходит исследуемую часть тела с заранее установленными скоростью и шагом. Когда детектор дошел до конца изучаемого участка, каретка сканера перемещается на заданное расстояние («шаг») и детектор вновь совершает движение по прямой, но уже к другому краю этого участка. Скорость движения устанавливают с учетом интенсивности излучения. Чем больше импульсов регистрирует прибор, тем быстрее можно перемещать детектор. Получаемое изображение называют сканограммой .

К сожалению, у сканирования есть определенные ограничения. Главное из них - большая продолжительность исследования. Она достигает порой нескольких десятков минут. Это обременительно для пациента, который должен лежать неподвижно. Кроме того, за такой срок меняется распределение РФП в ряде органов и нет возможности получать изображения органов с быстрым прохождением по ним РФП. Эти ограничения были сняты путем создания другого прибора для радионуклидной визуализации — гамма-камеры. Исследования на гамма-камере получили название сцинтиграфии.

**Сцинтиграфия** — получение изображения органов и тканей посредством регистрации на гамма-камере излучения инкорпорированных в теле человека радионуклидов. Сцинтиграфия — основной способ радионуклидной визуализации в современной клинике. Он позволяет изучать быстро протекающие процессы распределения вводимых в организм радиоактивных соединений.

В отличие от сканера гамма-камера имеет сцинтилляционный кристалл больших размеров — до 53 см в диаметре. Это обеспечивает регистрацию излучения одномоментно из всей исследуемой части тела. Исходящие из органа гамма-фотоны вызывают световые вспышки в кристалле. Эти вспышки регистрируются несколькими десятками фотоэлектронных умножителей, равномерно расположенных над поверхностью кристалла. Электрические импульсы из ФЭУ через усилитель и дискриминатор передаются в блок анализатора, который формирует сигнал на экране электронно-лучевой трубки. При этом координаты светящейся на экране точки точно соответствуют координатам световой вспышки в сцинтилляторе и, следовательно, расположению распавшегося ядра атома радионуклида в органе. Так создается радионуклидное изображение — сцинтиграмма.

Принято различать статическую и динамическую сцинтиграфию. Под статической визуализацией имеют в виду изготовление небольшого числа изображений органа с преимущественной задачей изучить его морфологию и выявить в нем участки с повышенным или пониженным накоплением радионуклида («горячие» и «холодные» очаги, зоны).

При динамической сцинтиграфии информацию записывают непрерывно или через короткие промежутки времени и отражают на целой серии кадров. Интервалы между кадрами выбирают с учетом скорости изучаемых процессов. РФП для динамического исследования обычно вводят в кровь в малом концентрированном объеме («болюсе»).

В принципе каждая сцинтиграмма в той или иной степени характеризует функцию органа - ведь РФП накапливается и выделяется преимущественно нормальными и активно функционирующими клетками. Поэтому сцинтиграмма — это функционально-анатомическое изображение. Этим оно отличается от рентгеновского и ультразвукового изображения. Но, тем не менее, когда врача интересуют главным образом морфологические и топографические параметры органа, он прибегает к статической сцинтиграфии. Когда же необходимо исследовать быстро протекающие процессы, используют динамическую регистрацию изображений.

Некоторые гамма-камеры снабжены движущимся столом. Находясь на нем во время исследования, пациент «просматривается» детектором камеры с головы до ног. Накапливающаяся в результате такой процедуры информация отражает распределение РФП во всем организме. Данный метод особенно эффективен при поиске скрытых метастазов в скелете или случайно инкорпорированных радиоактивных веществ.

Качественный скачок в радионуклидной визуализации был сделан в результате введения в структуру гамма-камеры специализированного компьютера. Стало возможным проводить компьютерную обработку изображений, переносить их на магнитные носители. При анализе сцинтиграмм начали широко применять математические методы, системный анализ, камерное моделирование физиологических и патологических процессов.

Все нарастающее значение приобретает сцинтиграфия в диагностике злокачественных опухолей. Первоначально эта диагностика основывалась на том, что опухолевая ткань утрачивает способность захватывать из крови РФП, который поглощают здоровые окружающие клетки. Например, раковый узел в печени не концентрирует 99mТс - коллоид, хотя окружающая его ткань по-прежнему улавливает РФП из крови. В подобных случаях опухоль может быть выявлена как очаг пониженной радиоактивности («холодный» узел). Но этот симптом неспецифичен, так как любой процесс, ведущий к замещению функционирующей паренхимы органа, тоже обусловливает участок пониженной радиоактивности. Скажем, в печени к этому ведет развитие абсцесса, кисты, очагового склероза.

Гораздо привлекательнее выглядит другая идея: вводить в организм туморотропный препарат, т. е. РФП, который включается главным образом в клетки с высокой степенью митотической и метаболической активности. Благодаря повышенной концентрации РФП опухоль будет вырисовываться на сцинтиграммах как очаг высокой радиоактивности («горячий» очаг). Такую методику выявления опухолей назвали **позитивной сцинтиграфией**. Подсчитано, что для уверенной диагностики необходимо, чтобы в опухоли накопилось не менее 30% введенной в организм активности. При этом соотношение радиоактивности опухоли и окружающей ткани должно быть не менее 3:1.

Позитивную сцинтиграфию производят для выявления первичных злокачественных опухолей, обнаружения метастазов и установления рецидивов после хирургическог или лучевого лечения.

Весьма заманчивой кажется новая идея позитивной сцинтиграфии - введение в организм больного химических соединений, меченных моноклональными антителами. Эта методика получила наименование **радиоиммуносцинтиграфии**. Первые публикации, касающиеся ее применения при колоректальном раке и опухолях молочных желез, обнадеживают. Развитию позитивной сцинтиграфии опухолей способствуют также новые способы визуализации органов - одно- и двухфотонная эмиссионная томография.

**7. Радионуклидная эмиссионная томография**

Радионуклидная эмиссионная томография принадлежит к относительно новым способам радионуклидного исследования. Как и при обычной сцинтиграфии, при эмиссионной томографии производят регистрацию гамма-излучения введенных в организм РФП, но сбор информации осуществляют с помощью многих детекторов, расположенных вокруг больного, или одного - двух вращающихся вокруг него детекторов. Как и при рентгеновской компьютерной томографии, исследуемый объект рассматривают как совокупность тонких параллельных слоев. По характеру излучения используемого радионуклида все эмиссионные томографы разделяют на однофотонные и позитронные (двухфотонные).

Выбор РФП осуществляют при однофотонной томографии таким же образом, как и при обычной сцинтиграфии. В ротационной томокамере детекторы укреплены на вращающейся вокруг пациента раме. Компьютерная обработка данных позволяет получать изображение распределения радионуклида в различных слоях тела и количественно проанализировать изменения этого распределения во времени. При наличии достаточного числа поперечных «срезов» можно с помощью алгоритмов реорганизации данных отобразить распределение радионуклида в виде набора продольных и косых томограмм. Эмиссионная томография предоставляет врачу более точную информацию о распределении РФП, чем обычная сцинтиграфия, и позволяет изучать нарушения физиологических, биохимических и транспортных процессов, что важно для ранней диагностики патологических состояний.

Для позитронной эмиссионной томографии (ПЭТ) в организм пациента вводят позитронизлучающий радионуклид. К позитронно-активным радионуклидам относятся короткоживущие изотопы углерода (период полураспада 20,4 мин), азота (10 мин), кислорода (2,03 мин), фтора (110 мин). Испускаемые этими нуклидами позитроны аннигилируют вблизи атомов с электронами. При аннигиляции пара позитрон — электрон исчезает, образуя два гамма-кванта, разлетающиеся в строго противоположном направлении. Каждый из этих квантов имеет энергию 511 кэВ. Эти два кванта регистрируются двумя противоположно расположенными детекторами. Одновременное появление в обоих детекторах сигналов приводит к срабатыванию схемы совпадений. Компьютерная обработка сигналов с большого числа детекторов, расположенных вокруг больного кольцом диаметром 45—65 см, или же с детекторов, совершающих движение вокруг больного, приводит к восстановлению изображения объекта. Чтобы представить себе сложность и красоту метода, достаточно указать, что для объекта диаметром 20 см необходимо получить 4000 проекций для компьютерной обработки. Но в этом случае возможно воссоздание объемного и цветного изображения объекта на дисплее.

Пространственное разрешение ПЭТ хуже, чем на компьютерных рентгеновских и магнитно-резонансных томографах, но чувствительность фантастическая. При ПЭТ удается констатировать изменение расхода глюкозы, меченной изотопом углерода, в «глазном центре» головного мозга при открывании глаз. Поэтому ПЭТ используют при исследовании тончайших метаболических процессов в мозге, вплоть до мыслительных. Но все позитронно-активные радионуклиды очень быстро распадаются. К тому же все они циклотронного происхождения. Следовательно, ПЭТ возможна только в радиологическом центре, связанном с циклотроном. В этом центре должны быть циклотрон, радиохимическая лаборатория, радиофармацевтическая лаборатория, позитронный томограф и компьютер для обработки информации.

Несмотря на все трудности технического порядка, ПЭТ представляется весьма перспективным методом для крупных научно-исследовательских и лечебных центров. С помощью ПЭТ изучают метаболизм глюкозы, жиров и белков в организме, кинетику переноса веществ через клеточные мембраны, динамику концентрации водородных ионов в клетках, усвояемость лекарственных препаратов. Большие надежды возлагают на ПЭТ в ранней диагностике заболеваний головного мозга, в том числе психических.

**8. Оценка результатов радионуклидного исследования**

Изучение сканограмм и сцинтиграмм проводится в соответствии с общей схемой анализа лучевых изображений.

Радиографические кривые должны быть проанализированы качественно и количественно. Наиболее простым способом является качественный анализ. Он заключается в сопоставлении формы и амплитуды кривых с соответствующими характеристиками эталонных кривых, записанных у здоровых людей. Такой анализ может быть выполнен как визуально, так и с помощью компьютера.

Количественный анализ кривых подразумевает использование различных параметров, которые характеризуют: 1) высоту ординаты кривых (т. е. их амплитуду); 2) временные интервалы между отдельными («характерными») точками кривых, например, началом исследования и максимальной высотой подъема, половиной спада кривой и т. д.; 3) величину площади под кривой или какой-то ее частью (например, на этапе подъема или, наоборот, спуска). Количественный анализ может быть выполнен либо ручным способом, либо с помощью ЭВМ. Естественно, что применение компьютера облегчает труд врача и обеспечивает большую точность измерений.

При всей привлекательности и кажущейся объективности оценки радиографических кривых на основе количественного анализа надо помнить, что все параметры кривых (временные, линейные, характеризующие площадь, абсолютные и относительные) являются характеристиками самих кривых, а не собственно функций органа. Используя любую, самую изощренную компьютерную обработку кривых, врач обязан вдумчиво и корректно оценить состояние органа, сопоставляя радионуклидные данные с результатами биохимических, радиохимических и других исследований и всегда имея в виду клиническую картину заболевания.

Наиболее точным и физиологически обоснованным способом анализа радиографических кривых является их интерпретация на основе математического моделирования транспорта РФП в соответствующих системах и органах. Для этой цели созданы специальные пакеты прикладных программ, которыми должны оснащаться лаборатории радионуклидной диагностики.

**9. Радиоизотопная диагностическая лаборатория**

Все радионуклидные диагностические исследования должны выполняться лишь в специальном подразделении - радиоизотопной диагностической лаборатории и обязательно специально обученным персоналом.

Согласно «Основным санитарным правилам работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений» (1980), все работы с радиоактивными веществами разделяются на 3 класса. Они установлены в зависимости от токсичности радионуклидов и величин радиоактивности, с которыми приходится иметь дело на рабочем месте. Класс работ определяют по специальным таблицам.

Подавляющее большинство лабораторий медицинского назначения относится к наиболее низкому III классу, т. е. к тем лабораториям, к которым предъявляют наименее жесткие требования.

Объясняется это характером работы: в клинической медицине используют малотоксичные радионуклиды с преимущественно коротким периодом полураспада. Юридическим основанием для работы лаборатории является санитарный паспорт, выдаваемый на определенный срок территориальным органом санитарного контроля - СЭС.

Каждая радиоизотопная диагностическая лаборатория должна располагать необходимым перечнем помещений, обеспечивающих работу с РФП.

В лаборатории должно быть хранилище с защитными сейфами, в которых содержатся РФП. Необходима фасовочная, предназначенная для подготовки и приготовления РФП. Фасовочная оборудуется защитными боксами для манипуляций с РФП. Введение РФП больному осуществляется в радиоманипуляционной камере. Здесь имеется инструментарий для перорального и парентерального введения РФП: шприцы, стерилизаторы, лабораторная посуда и т. д. Последнее помещение в так называемой горячей зоне - моечная. В ней проводится обработка использованных инструментов и лабораторной посуды.

Рабочие помещения лаборатории включают в себя кабинеты, предназначенные для обследования больных. Их количество и подбор зависят от наличия технических средств для радионуклидных исследований и объема этих исследований. Обычно в составе лабораторий имеются один или несколько кабинетов для сцинтиграфии (в зависимости от того, каким количеством гамма-камер располагает учреждение), кабинет сканирования, кабинеты для радиометрии и радиографии. Если в лаборатории производится большое число радиоиммунологических исследований, то предусматривают выделение особого помещения, так как для микроанализа требуется большое число специальных приборов: центрифуг, миксеров, шейкеров, холодильников и др.

Работа с радиоактивными веществами в лечебном учреждении должна вестись аккуратно и тщательно. Персонал обязан облачаться в индивидуальные халаты, перчатки, шапочки, фартуки. Эту одежду помещают в индивидуальные шкафчики и систематически строго контролируют их радиационную чистоту. Препараты, содержащие радионуклиды, и генераторы РФП поставляются в лечебное учреждение специальной службой в транспортных контейнерах.

Радиоактивные вещества получает в лаборатории ответственное лицо, которое назначается приказом руководителя лечебного учреждения. Для учета поступления, хранения и расхода радиоактивных веществ предусмотрена специальная документация, правильность ведения которой постоянно контролируется администрацией учреждений. Для предотвращения загрязнения лаборатории радионуклидами в ней осуществляется постоянный дозиметрический контроль чистоты помещений и рабочих мест. Все сотрудники проходят индивидуальный дозиметрический контроль.