

Лекция 7. Тема 3 Методы структурной диагностики. Ультразвуковая диагностика

1. Общая характеристика метода УЗИ

2. Физические основы УЗИ

3. Методы ультразвуковой диагностики

4. Устройство УЗИ-аппарата.

5. Ультразвуковые датчики

6. УЗИ-изображения

7. Достоинства и недостатки ультразвукового исследования

1. Общая характеристика метода УЗИ

В целях диагностики заболеваний органов и тканей в клинической медицине пользуются методом эхографии (ультрасонографии).

Ультразвуковая диагностика (УЗД, УЗИ, сонография, ультрасонография) – метод лучевой диагностики, при котором используются высокочастотные звуковые (ультразвуковые) волны для получения изображения внутренних органов человеческого тела.

Поскольку УЗИ позволяет получить изображения в режиме реального времени, процедура помогает оценить структуру и движения внутренних органов, а также кровотоков в кровеносных сосудах.

УЗИ представляет собой неинвазивное исследование, которое помогает врачам ставить диагноз заболеваний и проводить их лечение.

Ультразвук был открыт еще в XVIII веке итальянским естествоиспытателем Ладзаро Спалланцани. Он обнаружил, что если летучей мыши заткнуть уши, то она не сможет ориентироваться в пространстве. В конце XIX в. был открыт пьезоэлектрический эффект, на котором основаны приемники УЗ-волн. В 40-х годах XX в. ультразвук начали применять в медицине. Первый современный УЗИ-аппарат, в котором сканер и приемник ультразвука находились в руке врача, появился в 1963 году в США. С тех пор началась эпоха современного УЗИ.

Ультразвук применяется в медицине благодаря следующим свойствам:

1. Ультразвук, так же, как и рентгеновские лучи, обладает **проникающей способностью**, и он может распространяться в любой среде – жидкой, твердой или газообразной. Ультразвуковые волны – это продольные волны, т.е. распространяются в результате сжатия и разрежения. Частота колебаний УЗ-волн выше 20 кГц, и человек не воспринимает их на слух. Проникая в организм человека, ультразвук взаимодействует с биотканью. Благодаря этому ультразвук используется для визуализации в медицинской диагностике.

2. Ультразвуковые волны распространяются прямолинейно – поэтому имеется возможность получать изображения исследуемых органов практически без искажений, при сохранении их линейных размеров и формы.

3. Ультразвуковые волны по-разному отражаются от границ различных плотностей как наружных контуров биологических тканей, так их внутренней

структуры – способны нести определенную информацию о внутреннем строении и функции органов.

2. Физические основы УЗИ

Любая среда, в том числе и ткани организма, препятствуют распространению УЗ, т.е. обладают различным *акустическим сопротивлением*, величина которого зависит от плотности ткани и скорости распространения звуковых волн.

В биотканях (за исключением костной ткани) УЗ-волны распространяются также, как в жидкостях, их скорость приблизительно равна:

$$c=(K/\rho_0)^{1/2},$$

где ρ_0 – среднее значение плотности ткани,

K – адиабатический объемный модуль упругости (характеризует способность вещества сопротивляться всестороннему сжатию).

Таким образом, скорость распространения ультразвука определяется *свойствами среды (ткани), главным образом, плотностью и упругостью (эластичностью)*.

Для мягких тканей средняя скорость составляет приблизительно **1540 м/с**. На эту скорость запрограммировано большинство ультразвуковых диагностических приборов.

При распространении ультразвуковой волны происходит передача энергии. Интенсивность передаваемого ультразвука постепенно уменьшается с прохождением через ткани тела. Общая потеря интенсивности (или мощности) называется ослаблением и происходит за счет затухания, поглощения и рассеяния.

Непоглощенная часть ультразвука может быть рассеяна или отражена тканями назад к датчику в виде эха.

Ультразвук в газах, и в частности в воздухе, распространяется с большим затуханием. Жидкости и твёрдые тела (особенно монокристаллы) представляют собой, как правило, хорошие проводники ультразвука, затухание в них значительно меньше.

Достигнув границы двух сред с различным акустическим сопротивлением, пучок УЗ-волн частично отражается от этой границы. Коэффициент отражения и амплитуда сигнала будет тем больше, чем больше разность величин акустического сопротивления граничащих друг с другом тканей. Чем больше разница акустических сопротивлений, тем больше отражение ультразвука. Крайне большое различие в акустическом сопротивлении существует на границе мягкая ткань – газ, и почти весь ультразвук от нее отражается. Этим объясняется применение геля (в качестве прослойки между кожей пациента и преобразователем) - для устранения воздуха, который может полностью задержать ультразвуковую волну. Поэтому ультрасонография не может отобразить скрытые кишечным газом области или заполненную воздухом легочную ткань.

Костные структуры создают помехи или полностью исключают возможность проведения ультразвукового исследования (ребра - при исследовании сердца,

правой доли печени, селезенки, почек, кости черепа не дают возможность исследовать головной мозг у взрослых и т.д.).

При этом, чем выше частота (соответственно меньше длина волны), тем выше разрешающая способность ультразвукового аппарата, т.е. способность увидеть более мелкие детали на изображении. С другой стороны – чем выше частота, тем меньше проникающая способность или глубина сканирования. В ультразвуковой диагностике используют диапазон 2-15 МГц. Данный диапазон обусловлен физическими особенностями ультразвука (зависимостью глубины сканирования от частоты) и диагностическими задачами УЗД (получением изображения по возможности с бóльшим разрешением).

Соотношения частоты и глубины проникновения ультразвука в мягких тканях организма приблизительно составляют:

- 1 МГц – до 50 см
- 3,5 МГц – 30 см
- 5 МГц – 15 см
- 7,5 МГц – 7 см
- 10 МГц – 5 см

В основе УЗИ лежит явление - **пьезоэлектрический эффект**. Для генерации УЗ используется *обратный пьезоэффект*, а для приема УЗ – *прямой пьезоэффект*. Рассмотрим схемы этих процессов.

Излучатель. Обратный пьезоэффект заключается в *механической деформации тел под действием электрического поля*.

Основной частью излучателя является пластина или стержень из вещества с пьезоэлектрическими свойствами (чаще пьезокерамика на основе титаната бария или цирконата-титаната свинца). На поверхность пластины нанесены электроды. Если к электродам приложить переменное электрическое напряжение от генератора, то пластина начнет деформироваться и вибрировать, излучая УЗ-волны. Так работает излучатель.

Приемник. Под действием УЗ-волны возникает деформация кристалла, которая приводит к генерации переменного электрического поля. Соответствующее электрическое напряжение может быть измерено.

Основным элементом аппарата УЗИ является ультразвуковой датчик. Датчик является одновременно и излучателем УЗ-волн, и приемником отраженных эхосигналов.

Весь процесс ультразвукового сканирования можно разделить на следующие этапы:

- генерация ультразвуковых волн (обратный пьезоэлектрический эффект);
- проникновение ультразвуковых волн в ткани;
- взаимодействие ультразвука с тканями, отражение от границ раздела сред в виде различной силы «эха»;
- преобразование отраженных сигналов в электрический сигнал (прямой пьезоэлектрический эффект);

– регистрация электрического сигнала с помощью различных видов регистрации отраженных сигналов или различных видов развертки изображения.

3. Методы ультразвуковой диагностики

Отраженный эхосигнал может быть представлен на экране в следующих режимах:

- А – режим;
- М – режим;
- В – режим;
- доплеровские режимы;
- комбинированные режимы (одновременное использование двух и более режимов)
- режимы с построением объемного изображения (3D и 4D)

3.1 Одномерные методы А- и М-методы

А-метод (амплитудный режим от англ. amplitude — амплитуда), заключается в регистрации отраженного сигнала в виде пика на прямой линии (изолинии) развертки электронного луча на экране осциллографа.

При одномерном методе исследования датчик устанавливают в определенном положении, и эхосигналы позволяют определить расстояние до отражающих ультразвуков объектов в одном заданном направлении зондирования. В настоящее время редко используется для диагностики, так как точность метода невысока.

М-метод широко используется в настоящее время. На таком изображении ось глубины на мониторе ориентируется вертикально, а временная развертка – в горизонтальном направлении. Таким образом получают кривые, которые дают детальную информацию о перемещениях расположенных вдоль ультразвукового луча отражающих структур. Широко применяется данный режим при исследовании сердца, когда можно проследить перемещение створок клапанов сердца, оценить изменение размеров полостей сердца при его сокращениях, изучать особенности сокращения крупных сосудов и др.

3.2 Двухмерный метод, или В-метод (от англ. bright — яркость), основан на принципе сканирования объекта ультразвуковым лучом (ультразвуковая томография, эхотомография), во время которого ультразвуковой луч движется по поверхности исследуемой области тела. Отраженные от неоднородных акустических структур ультразвуковые волны формируют пространственное двухмерное изображение на дисплее. Термин В-метод означает, что эхо изображается на экране в виде ярких точек, и яркость определяется силой эха.

Двухмерная эхография (2D-УЗИ) используется как основной эхографический метод.

3.3 Режимы с построением объемного изображения (3D и 4D)

Усовершенствование УЗИ-датчиков привело к созданию 3D-УЗИ, позволяющие получать трехмерные изображения, полученные методом преобразования двухмерных данных, а также 4D-УЗИ, где добавляется еще и 4

измерение - время. Для создания такой визуализации требуются специальные компьютерные программы и УЗ-датчик, который вращается внутри колпака. Методы широко применяются в акушерстве.

3.3 Допплерография

Это неинвазивный метод исследования кровотока. Методика основана на использовании эффекта Доплера. Сущность эффекта состоит в том, что от движущихся объектов ультразвуковые волны отражаются с измененной частотой. Этот сдвиг частоты пропорционален скорости движения исследуемых структур — если движение направлено в сторону датчика, то частота увеличивается, если от датчика — уменьшается. Использование эффекта Доплера позволяет вычислить скорость кровотока, определить его нарушение в отдельных сосудах.

3.4 Эластография (соноэластография) – метод ультразвуковых исследований, в основе которого лежит дифференциальная диагностика злокачественных новообразований на основании изменения их плотности и жесткости.

Соноэластография позволяет проводить оценку тканевой жесткости в режиме реального времени при помощи мягкого давления, осуществляемого стандартным ультразвуковым датчиком. Эластичность ткани определяется и отображается определенными цветами на экране В-режима.

4. Устройство УЗИ-аппарата.

Рассмотрим основные блоки УЗИ-аппарата.

1. Монитор УЗИ аппарата должен обладать хорошей разрешающей способностью и иметь удобную для пользователя диагональ для полноценного вывода исследуемого объекта. Обычно мониторы покрываются матовым защитным покрытием, снабжаются хорошей подсветкой,

2. Панель управления, как правило состоит из кнопочной части/клавиатуры и трекбола, а современные модели узи аппарата оснащены сенсорными дисплеями. Необходимо бережно относиться к клавиатуре и исключить попадание жидкости на нее, т.к. в этом случае будет необходима замена клавиатуры. Для полноценной работы трекбол нуждается в своевременной и периодической чистке.

3. Принтер УЗИ сканера необходим для распечатки исследований. Как правило, применяют термопринтеры, поскольку они дают хорошую цветопередачу в оттенках серого. Аппараты класса премиум комплектуются также цветным принтером

4. Периферийные устройства. В качестве периферийных устройств для специальных режимов исследований используются кардиографы и эндоскопы.

5. Компьютерная часть. Сюда входит системный блок, который включает в себя материнскую плату, свой блок питания, Жесткий диск

6. УЗ-часть включает в себя модули, которые отвечают за подключение датчиков, обработку и управление лучом ультразвука, а также имеются отдельные платы, которые отвечают за доплер, 3D и 4D.

7. Блок, отвечающий за обработку УЗ, состоит из нескольких плат. Данный блок отвечает за преобразование ультразвукового луча в картинку, корректную работу всех функций, подключение УЗИ датчиков, формирование расчетов и множество других функций. Это сердце УЗИ аппарата.

8. Ультразвуковые датчики.

Данная часть ультразвукового аппарата называется акустическим преобразователем или трансдьюссером (англ. transducer – преобразователь), наиболее частое название – ультразвуковой датчик. Преобразователь переводит одну форму энергии в другую – электрическую энергию в энергию ультразвуковых колебаний и наоборот.

9. Блок питания состоит из двух блоков - основного, который генерирует напряжение на все элементы УЗИ - аппарата, а также компьютерного, который питает компьютерную часть. Ключевая особенность блока питания УЗИ-аппарата заключается в том, что он напрямую связан с программным обеспечением и датчиками УЗ-датчиками.

5. Ультразвуковые датчики

В современных ультразвуковых аппаратах существует несколько основных типов ультразвуковых датчиков, отличающихся рабочей частотой (соответственно глубиной сканирования и качеством получаемого изображения или разрешением), а также величиной и формой сканирующей поверхности. Основными типами ультразвуковых датчиков являются:

1. *Линейный датчик* (рис. А) – высокочастотный датчик с частотой 5-15 МГц, чаще 7,5 МГц, используется, главным образом, для исследования поверхностно расположенных органов (щитовидной железы, молочной железы, лимфатических узлов, поверхностных сосудов и т.д.). Обладает минимальным искажением получаемого изображения, поскольку положение самого трансдьюссера на поверхности тела полностью соответствует размерам исследуемого органа. Линейные датчики за счет большей частоты позволяют получать изображение исследуемой зоны с высоким разрешением, но ограничены небольшой глубиной сканирования (не более 8-10 см). Кроме того, недостатком линейных датчиков является сложность обеспечения равномерного прилегания поверхности трансдьюссера к коже пациента, что часто приводит к появлению воздушных прослоек между кожей и датчиком и, соответственно, помех на получаемом изображении.

2. *Конвексный датчик* (англ. convex – выпуклый) (рис. В) – обладает выпуклой рабочей поверхностью, что обеспечивает лучший контакта с кожей в исследуемой области. частота 1,8-7,5 МГц, чаще – 3,5 МГц. Однако при использовании конвексных датчиков получаемое изображение несколько больше по ширине и может быть искажена форма исследуемого объекта. Для уточнения анатомических ориентиров врач обязан учитывать это несоответствие. За счет меньшей частоты глубина сканирования достигает 25-30 см, используется для исследования глубоко расположенных органов брюшной полости, забрюшинного пространства, малого таза и др.

3. *Секторный датчик* (рис. С) – обладает небольшой рабочей поверхностью, генерируемые ультразвуковые волны имеют форму сектора, имеется еще большее несоответствие между размерами трансдьюссера и получаемым изображением. Работает на частоте 2-5 МГц. Применяется в тех случаях, когда необходимо с небольшого участка поверхности тела получить в несколько раз больше обзор на

глубине, например, когда через межреберные промежутки проводят исследование сердца при эхокардиографии. Кроме того, он применяется при исследовании головного мозга у детей до года – доступ через большой и малый роднички.

6. УЗ-изображения

Рассмотрим принцип получения УЗ-изображений в В-режиме.

Поглощение и отражение звуковых волн (с различной степенью интенсивности) определяют такие свойства биологических тканей, как *эхоплотность*, или *эхогенность*. В наименьшей степени эхогенны жидкие среды, благодаря чему они используются для создания ультразвукового «окна», через которое лучше видны другие органы. Заполненные воздухом полости, напротив - чрезмерно эхогенны, а потому их исследование с помощью УЗ затруднено. Примеры простейших изображений рассмотрим на основе В-режима.

Если УЗ-волна свободно проходит через ткань, не отражаясь от нее, на экране это место будет черным, «эхопрозрачным» (рис. А).

Если ткань умеренно поглощает УЗ-волны, а часть их отражает, то эта ткань «средней эхогенности», на экране она выглядит серой (рис. В).

Если же ткань полностью отражает УЗ-волны, то на экране визуализируется только граница такого объекта в виде линии «высокой эхогенности» белого цвета, глубже лежащие органы и ткани рассмотреть нельзя (рис. С).

Визуализация костной ткани, например, камни в почках пациента, и других твердых образований представляет из себя светлые участки (в основном - именно белого цвета).

Визуализация жидкости или пустот выглядят черными участками на снимке, поскольку, не встречая преград, звук проходит дальше в тело пациента, и отклик сигнала отсутствует.

Мягкие ткани, как например, структура самой почки будут представлены областями с различной градацией серого цвета.

Именно от качества визуализации таких объектов и будет во многом зависеть точность диагноза пациента.

7. Достоинства и недостатки ультразвукового исследования

Перечислим основные достоинства и недостатки ультразвукового исследования.

Достоинства ультразвукового исследования:

- безопасность (отсутствие лучевой нагрузки);
- относительная дешевизна;
- кратковременность исследования;
- отсутствие инвазивного вмешательства;
- возможность получения информации (о движении крови по сосудам, шевелении плода, скорости кровотока) в реальном времени;

- возможность получения объемного изображения (3D) и кадров видеосъемки в режиме 4D.
- цветные изображения ультразвуковой сонографии позволяют определить четкие границы разнородных сред.
- снимки и видеозаписи УЗИ относятся к объективным методам исследования, так как подлежат оценке докторами всего мира, независимо от их родного языка.

Недостатки ультразвукового исследования:

- ограничение четкости изображения площадью датчика;
- более низкое разрешение, чем при МРТ и КТГ;
- необходимость специальной подготовки перед исследованием органов брюшной полости и забрюшинного пространства (соблюдение специальной диеты, прием ветрогонных лекарственных средств);
- большое количество помех при исследовании за счет неоднородности внутренней среды организма.
- размеры исследуемых опухолевых образований подаются на срезе, диаметр которого зависит от угла приложения датчика.
- возможные диагностические ошибки при оценке опухолевого роста: при прямом проникновении ультразвуковых волн определяется один размер, а при отклонении на несколько градусов размер среза увеличивается.