

# Физические основы ультразвука.

Он-лайн учебник регионарной анестезии.

Глава 2.

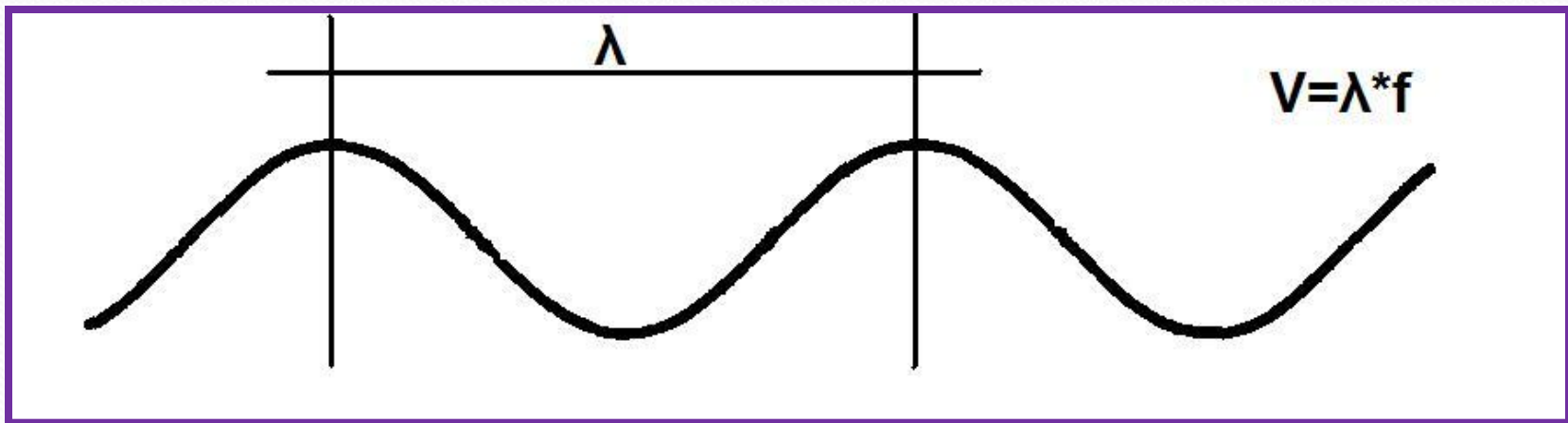
Интерактивный учебный центр “Nerveblocks.ru”

# Что есть звук?

- Звук – это механическое колебание среды, то есть последовательность зон сжатия и растяжения.
- Основная характеристика – частота, измеряется в Герцах ( $\text{Гц} = 1/\text{Сек}$ ).
- Звук в окружающем мире подчиняется волновым законам.
- Человеческое ухо способно воспринимать звук с частотой от 20 до 20000 Гц.



# Частота, скорость, длина волны.



- Звуковая волна рождается с определенной, постоянной частотой (frequency =  $f$ ), и распространяется симметрично от источника звука с постоянной для данной среды скоростью (speed =  $V$ ).
- Скорость звука в воздухе – 300 м/с, для более плотных сред – скорость распространения звуковой волны больше.
- Расстояние между двумя ближайшими точками, колеблющимися в одинаковых фазах называется длиной волны ( $\lambda$ ).

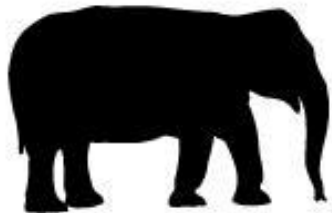
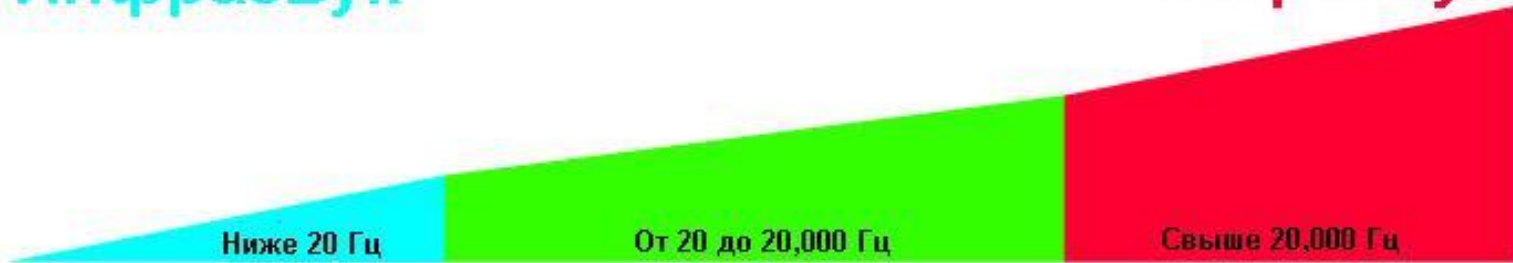


# Что такое ультразвук?

- Звуковой спектр по частотным характеристикам можно разделить на три сегмента.

Инфразвук

Ультразвук



- Соответственно, ультразвук – это звуковая волна с частотой свыше 20000 Гц
- Диапазон медицинского ультразвука 2,5-15 МГц

# Как рождается ультразвуковая картинка?

Пьезоэлектрические кристаллы внутри датчика излучают ультразвук импульсами.



Импульс проходит сквозь тело пациента, отражаясь от поверхности тканей с различной плотностью.



Отраженный ультразвук (эхо) возвращается к датчику, где трансформируется в электрический сигнал.



Этот сигнал обрабатывается процессором и на экран выводится готовое изображение.





# Как рождается ультразвуковая картинка?

- Таким образом, датчик имеет двойную функцию: излучать (1%) и принимать (99%).
- Сила (амплитуда) каждой отраженной волны соответствует яркости отображенной точки.
- Положение точки на экране зависит от глубины отражения эхо-сигнала.
- Множество таких точек формируют целостную картинку.

# Распространение звуковой волны



## Скорость

Чем ближе молекулы вещества (выше плотность), тем лучше вещество проводит звук.

Скорость распространения ультразвуковой волны необходимо знать для вычисления расстояний между объектами, а также нахождения глубины их залегания. Средняя скорость распространения УЗ в мягких тканях 1540 м/с.



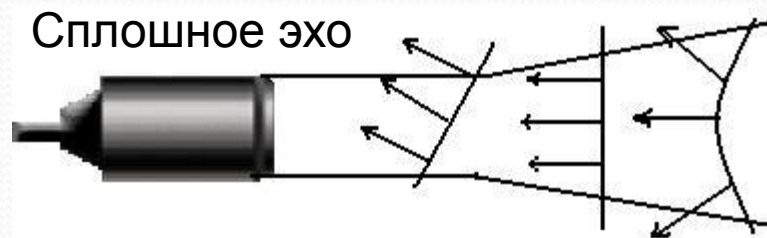
# Отражение

- Фундаментальный принцип ультразвуковой визуализации – это отражение УЗ луча от поверхностей тканей с различной плотностью. Эти отражения воспринимаются датчиком и формируют картинку на дисплее прибора.
- Процент отраженной УЗ-энергии прямо пропорционален разнице акустических импендансов ( $Z$ ) на границе тканей.
- Области вещества со сходными акустическими характеристиками эхо-сигнала не формируют.

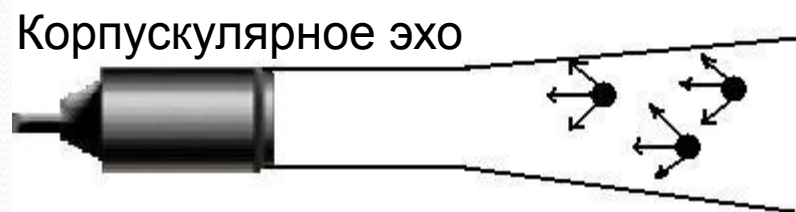


# Отражение звука

- **Сплошные объекты (диафрагма)**
  - отражение «единым фронтом» - выше процент вернувшейся УЗ-энергии - лучше изображение.
  - если поверхность перпендикулярна оси УЗ-луча – качество изображения возрастет.
- **Корпускулярные объекты (эритроциты)**



**Сильнее**



**Слабее**

# Взаимодействие волн

## Интерференция

- Зависит от плотности и однородности среды.
- Сплошное эхо-отражение может быть получено только при условии, что ширина объекта больше, чем четверть длины волны сканирующего луча.

Для визуализации мелких объектов – уменьшить длину волны!

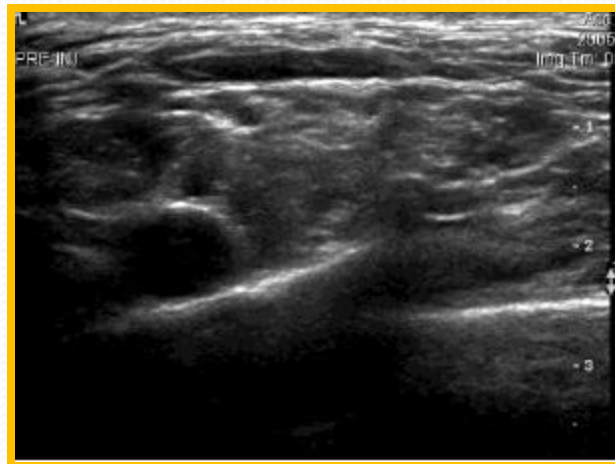
- Уменьшить длину волны удобно, увеличив частоту ультразвукового излучения

$$V=f*\lambda$$



# Как появляется картинка на экране?

- Сильное отражение (высокая плотность ткани): гиперэхогенные структуры (белые) – кости, диафрагма, конкременты.
- Отражение слабее – эхогенные структуры (серые) – большинство плотных органов, мышцы.
- Слабое отражение – гипоэхогенные структуры (темные) – кровь, жидкость внутри мочевого и желчного пузырей.





# Ультразвуковой луч

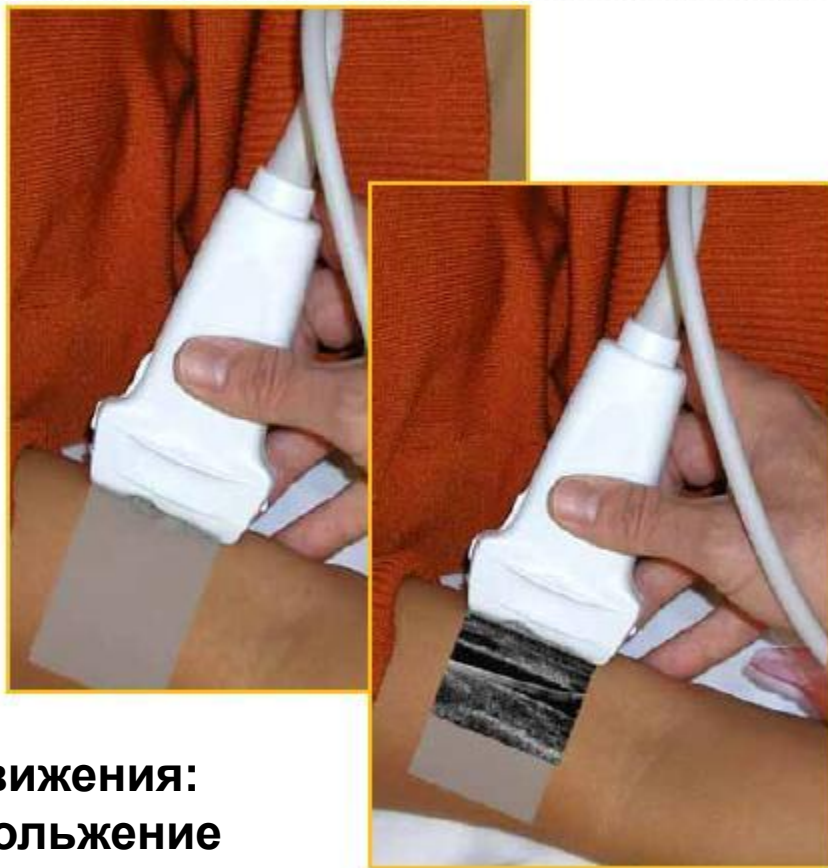
- Луч, исходящий из датчика похож на тонкое лезвие
  - толщина – приблизительно 1 мм.
  - отображаемая глубина настраивается пользователем
- Двухмерное изображение:
  - томографическое сечение
  - нет информации о толщине объекта
- Вы контролируете положение луча, соответственно вашим целям.



# Контроль положения датчика

Продольное положение

Поперечное положение



**Движения:**

- Скольжение
- Вращение
- Покачивание
- Давление



# Частота излучения

- Герц (Гц, Hz) – единица измерения частоты, соответствует одному циклу в секунду.
- Мегагерц (МГц, MHz) – один миллион колебаний в секунду.
- Увеличивая частоту УЗ излучения:
  - Увеличиваем разрешение (осевое и периферическое)
  - Уменьшаем глубину проникновения

Высокочастотные датчики используются для качественной визуализации поверхностных структур, когда глубина проникновения луча – не главное.



# Частота датчика и разрешение



↓ частоты = ↑ глубины проникновения.  
3МГц-датчик проникнет глубоко в тело, однако разрешение полученной картинке хуже, чем при использовании 12 МГц.



↑ частоты = ↑ разрешения  
12 МГц – датчик: высокое разрешение, но минимальная глубина.

**Удобен на шее и в подмышечной области.**

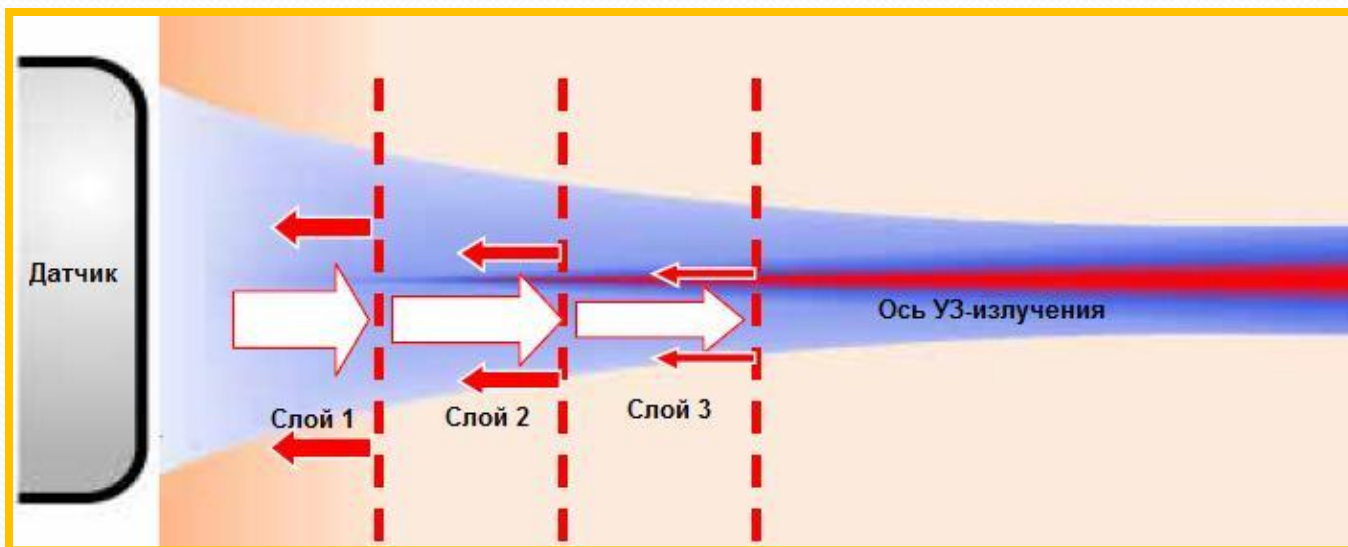
# Частота датчика и разрешение

Частота	Осевое разрешение
5 МГц	0,6 мм
7,5 МГц	0,4 мм
12 МГц	0,25 мм
20 МГц	0,15 мм
30 МГц	0,1 мм

- Низкочастотные датчики (3-5 МГц) – сканировать глубокие органы (печень, желчный пузырь, почки).
- Высокочастотные датчики (10-15 МГц) – позволяют сканировать поверхностные структуры, например, плечевое сплетение. Но глубина ограничена 3-4 см.
- Среднечастотные датчики (4-7 МГц) – более глубокие структуры, например, плечевое сплетение в подключичной области или седалищный нерв у взрослых.

# Акустический импеданс

- Акустический импеданс (АИ) вещества определяется исходя из плотности этого вещества, а также скорости распространения звука в нем. Чем больше плотность, тем выше АИ.
- УЗ отражается от границы разделения тканей с различными значениями АИ и чем существенней эти различия, тем больше отражается сигнал.
- Пары ткань/газ, ткань/кость и кость/газ отражают почти 100% УЗ-энергии на границе разделения.





# Акустический импеданс

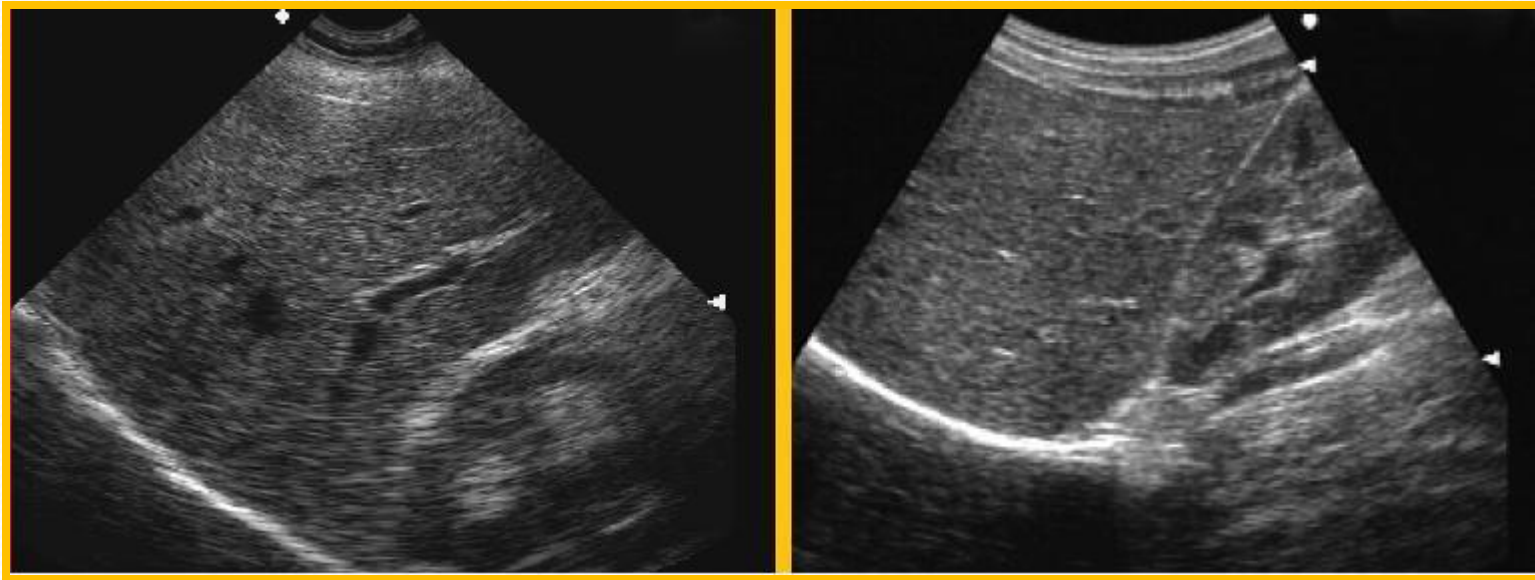
- Самая большая разница АИ между мягкими тканями и газом.
- Второе по величине различие – между тканями со средней плотностью и очень плотными тканями (например, кость – мышца).



- Не следует пытаться сканировать через ребра, грудину или газовый пузырь.

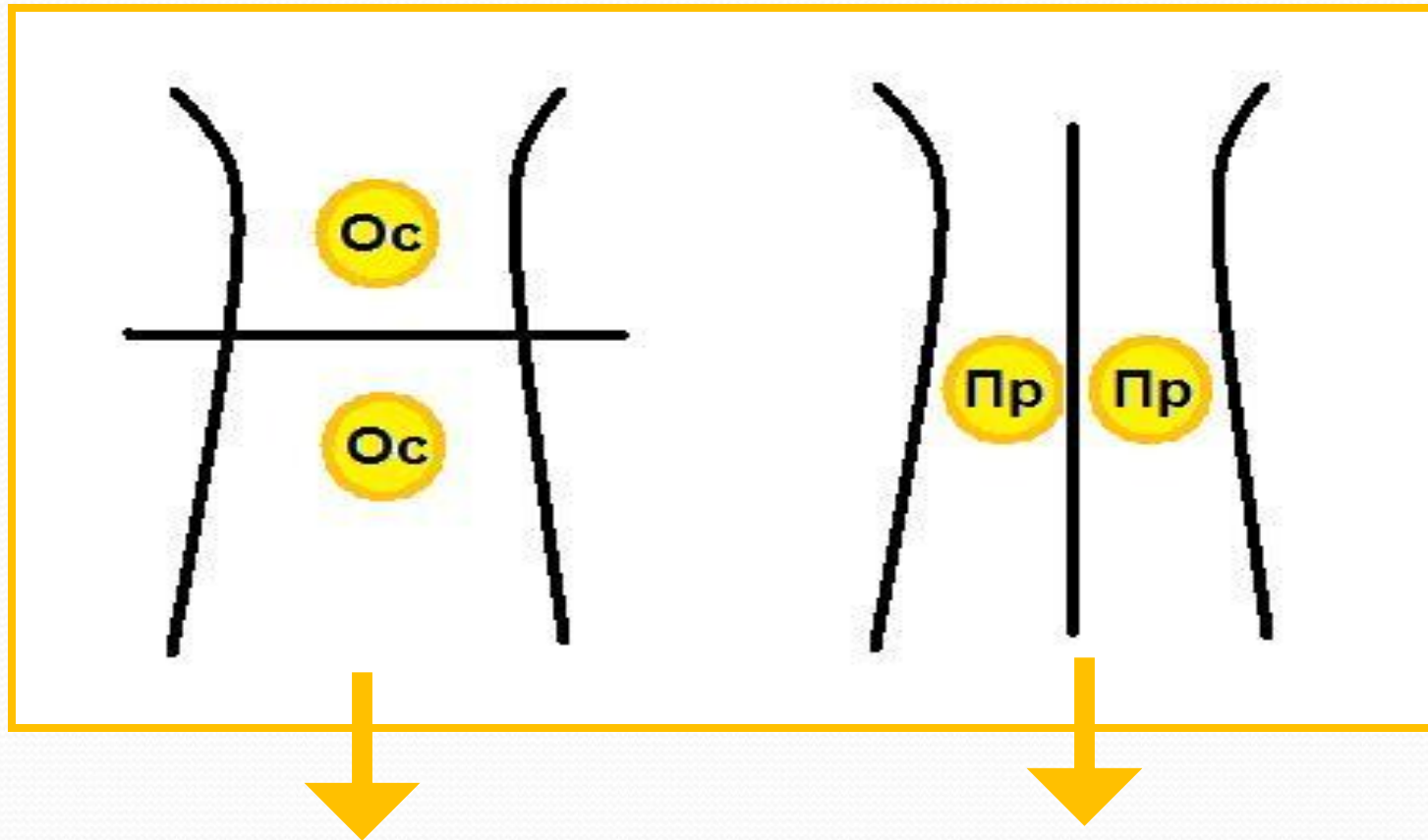
# Контрастность изображения

- Контрастность – это способность аппарата различать различные градации серого, основываясь на силе эхо-сигнала.



- Для того, чтобы оптимизировать контрастность – надо оптимизировать осевое и периферическое разрешение.

# Разрешение



**Осевое разрешение:**  
способность отображать  
раздельно два объекта  
вдоль оси УЗ-луча.

**Периферическое разрешение:**  
способность отображать  
раздельно два объекта  
перпендикулярно оси УЗ-луча