

Физические основы ультразвука.

Он-лайн учебник регионарной анестезии.

Глава 2.

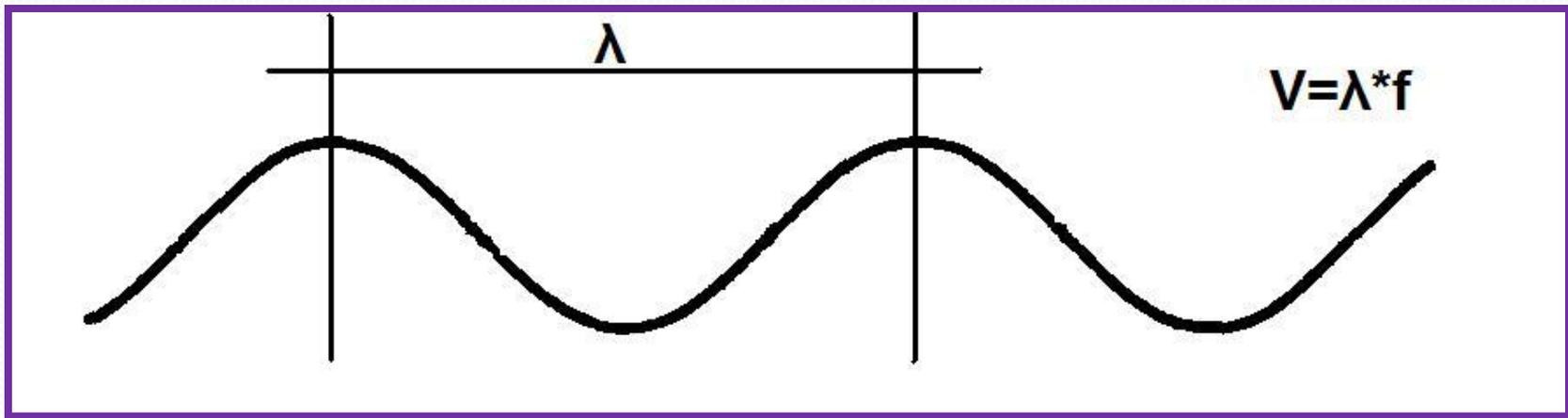
Интерактивный учебный центр “Nerveblocks.ru”

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.



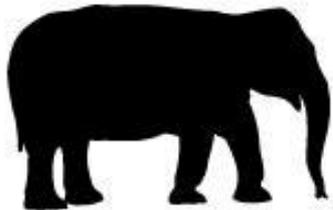
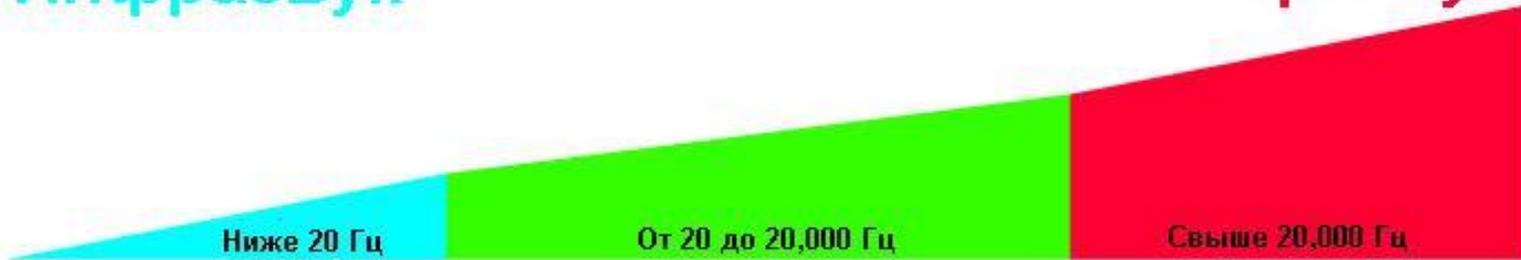
- Звуковая волна рождается с определенной, постоянной частотой (frequency = f), и распространяется симметрично от источника звука с постоянной для данной среды скоростью (speed = V).
- Скорость звука в воздухе – 300 м/с, для более плотных сред – скорость распространения звуковой волны больше.
- Расстояние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

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.



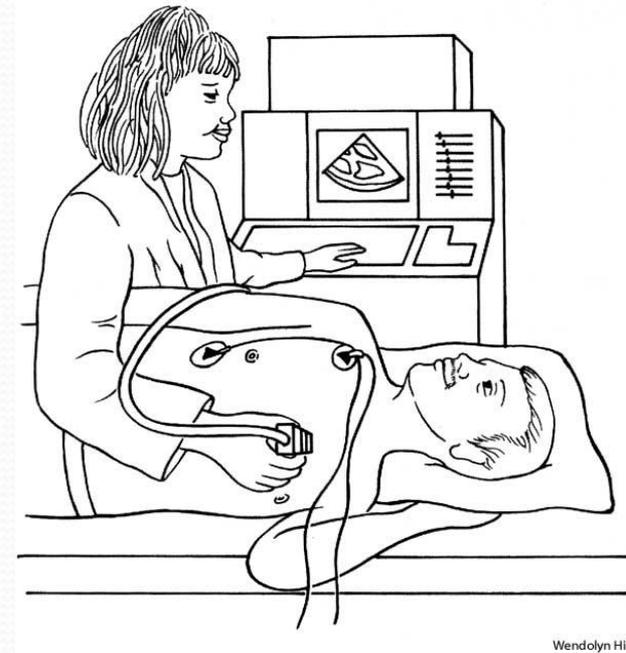
Импульс проходит сквозь тело пациента, отражаясь от поверхности тканей с различной плотностью.



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



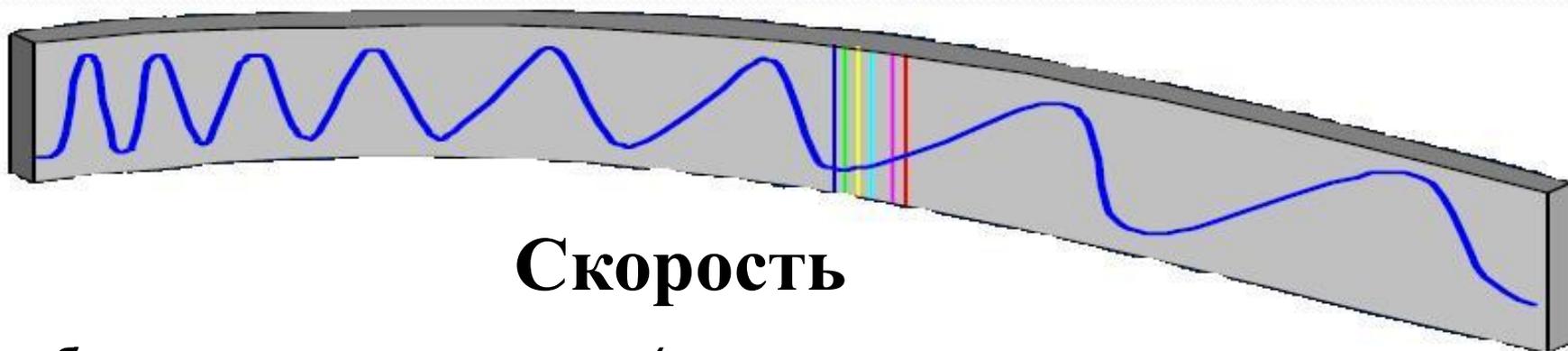
Этот сигнал обрабатывается процессором и на экран выводится готовое изображение.



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



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

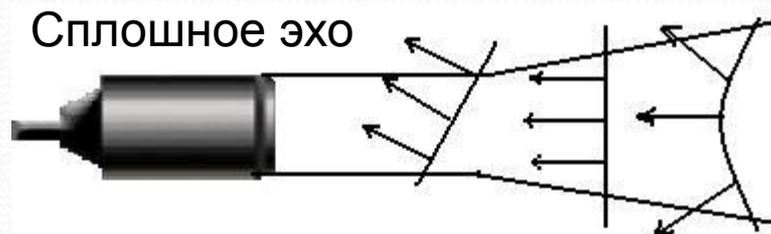
Скорость распространения ультразвуковой волны необходимо знать для вычисления расстояний между объектами, а также нахождения глубины их залегания. Средняя скорость распространения УЗ в мягких тканях 1540 м/с.

Отражение

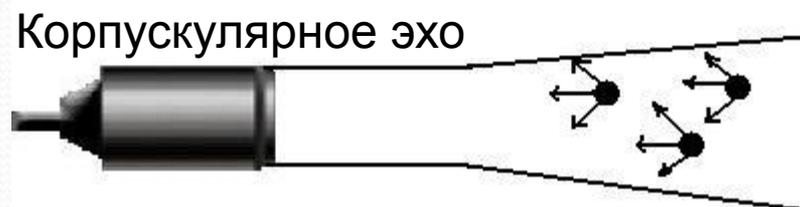
- Фундаментальный принцип ультразвуковой визуализации – это отражение УЗ луча от поверхностей тканей с различной плотностью. Эти отражения воспринимаются датчиком и формируют картинку на дисплее прибора.
- Процент отраженной УЗ-энергии прямо пропорционален разнице акустических импедансов (Z) на границе 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.

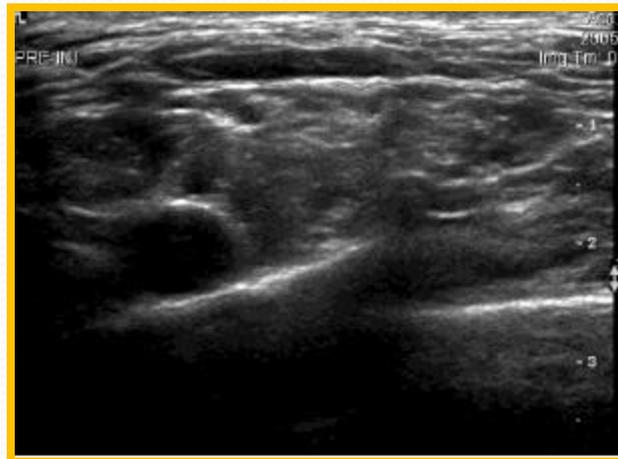
Для визуализации мелких объектов – уменьшить длину волны!

- 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

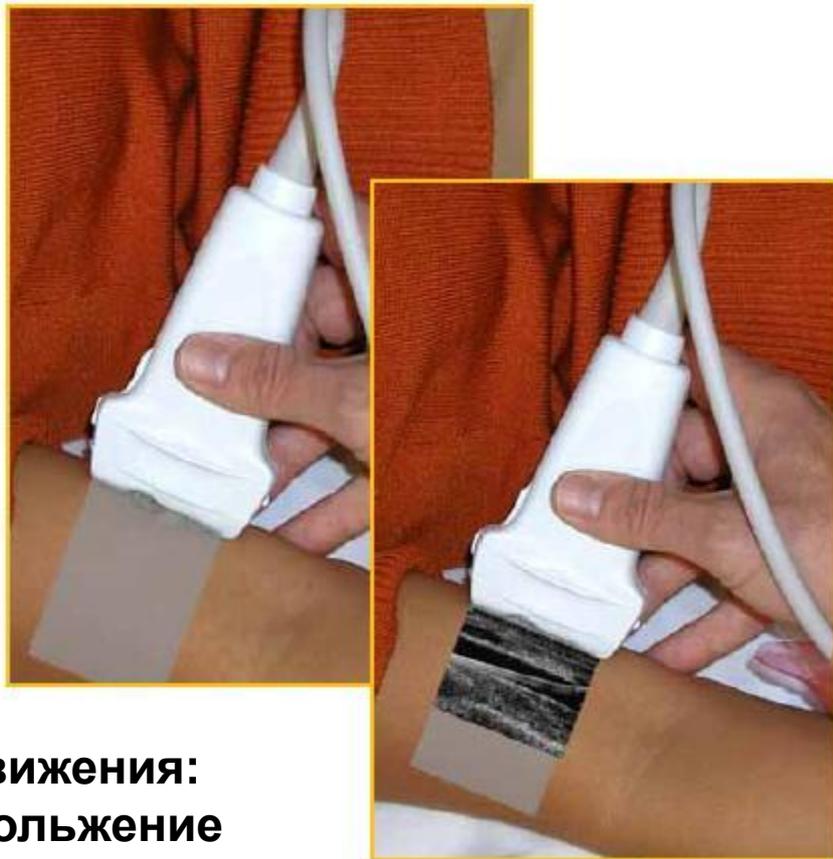
- Луч, исходящий из датчика похож на тонкое лезвие
 - толщина – приблизительно 1 мм.
 - отображаемая глубина настраивается пользователем
- Двухмерное изображение:
 - томографическое сечение
 - нет информации о толщине объекта
- Вы контролируете положение луча, соответственно вашим целям.



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.
3 МГц-датчик проникнет глубоко в тело, однако разрешение полученной картинки хуже, чем при использовании 12 МГц.



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

Удобен на шее и в подмышечной области.

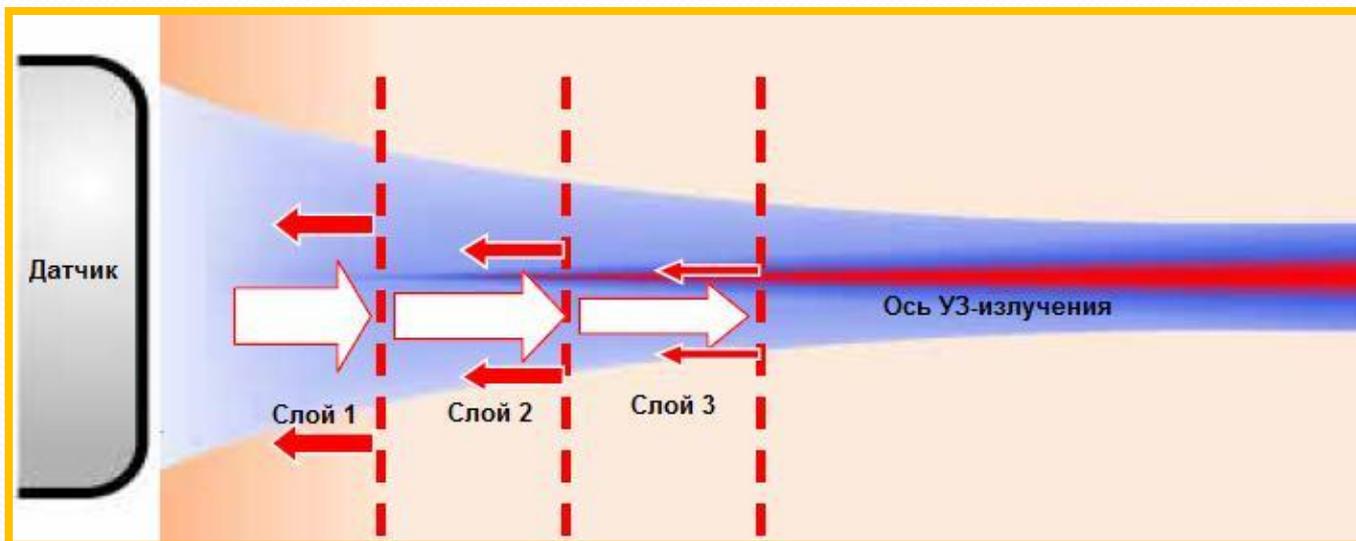
Частота датчика и разрешение

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

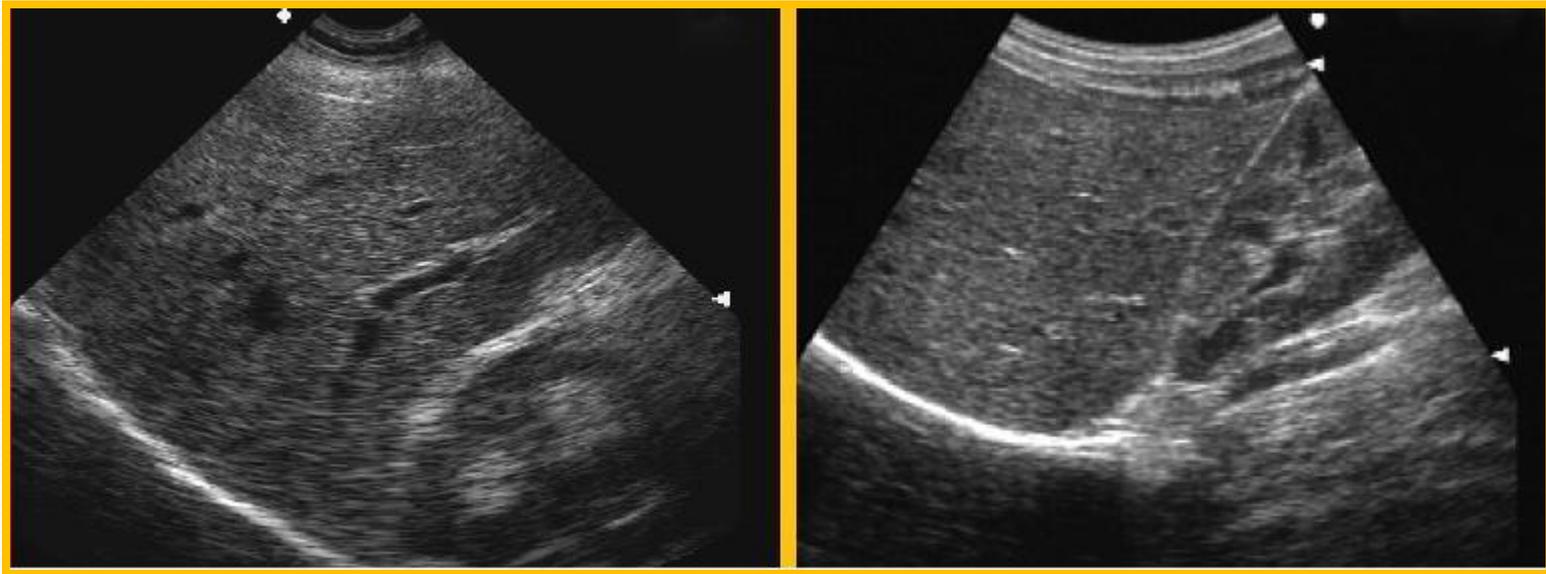
- Самая большая разница АИ между мягкими тканями и газом.
- Второе по величине различие – между тканями со средней плотностью и очень плотными тканями (например, кость – мышца).



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

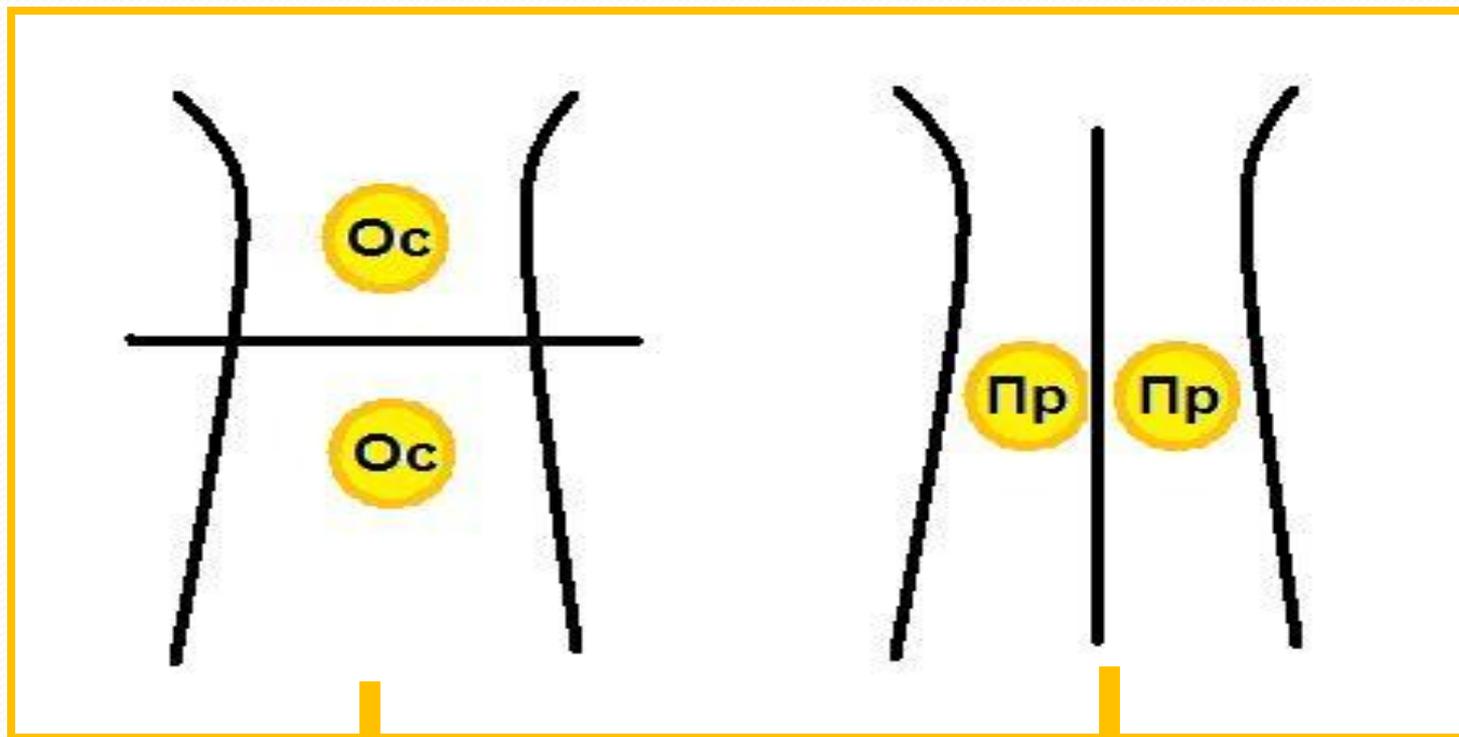
Контрастность изображения

- 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