

Звук. Ультразвук.



Лекция 3

План лекции

- **Звуковые волны**
- **Физические основы биологической акустики**
- **Логарифмическая шкала для измерения интенсивности и громкости звука**
- **Звуковые методы исследования в клинике**
- **Ультразвуковые колебания. Воздействия ультразвука на биологические ткани**
- **Эффект Доплера и его применение в медицине**

Физические основы биологической акустики

Звук – это колебания частиц среды, распространяющиеся в виде продольных механических волн с частотой от 16 Гц до 20000 Гц (20 кГц).

Энергетическая характеристика звука

Интенсивностью волны I называют величину, численно равную средней по времени энергии E , переносимой волной в единицу времени через единицу площади поверхности, расположенную перпендикулярно направлению распространения волны:

$$I = \frac{E}{St} \quad \text{Дж}/(\text{м}^2 \text{ с}) = \text{Вт}/\text{м}^2$$

Звуковое или акустическое давление

Звуковым или акустическим давлением называют добавочное давление (избыточное над средним давлением окружающей среды, например над атмосферным давлением), образующееся в участках сгущения частиц в акустической волне

$$\delta_A = \dot{A} \omega \rho v$$

где A – амплитуда волны ω – циклическая частота волны, ρ – плотность вещества, v – скорость распространения волны в веществе

Связь интенсивности и акустического давления

$$I = \frac{p_A^2}{2\rho v}$$

$$I = \left(\rho A^2 \frac{\omega^2}{2}\right)v$$

Природа звука

Виды звуков:

Тон – это звук, являющийся периодическим процессом

Шум - это звук, отличающийся сложной не повторяющейся временной зависимостью

Звуковой удар – кратковременное звуковое воздействие

Объективные характеристики звука

Частота – количество колебаний в
единицу времени

Интенсивность

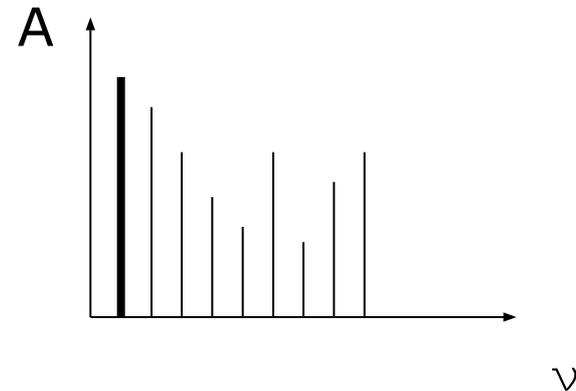
Звуковое давление

**Акустический или гармонический
спектр**

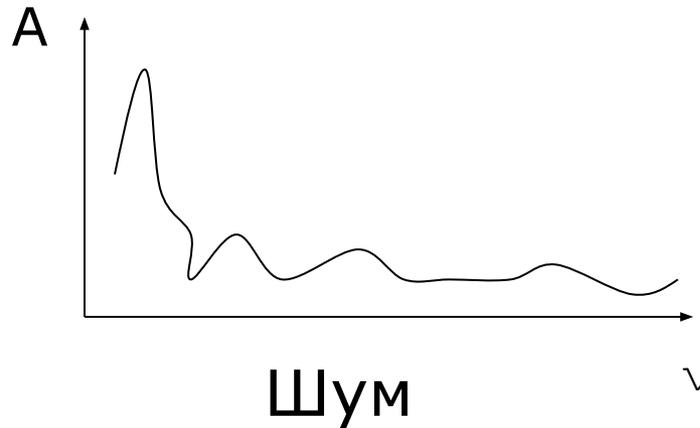
Акустические спектры



Простой тон



Сложный тон



Шум

Звук как психофизическое явление

Субъективные характеристики звука:

высота – обусловленная частотой основного тона,

тембр – определяется спектральным составом звука,

громкость - уровень слухового ощущения; определяется интенсивностью и частотой звука

Уровень интенсивности

$$L = \lg \frac{I}{I_0} \text{ Б(бел)}$$

$$L = 10 \lg \frac{I}{I_0} \text{ дБ(децибел)}$$

$I_0 = 10^{-12} \text{ Вт/м}^2$ интенсивность на пороге слышимости на частоте 1 кГц

Уровень интенсивности

$$L_B = 2 \lg \frac{p}{p_0}$$

$$L_{\partial B} = 20 \lg \frac{p}{p_0}$$

$p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Па}$ - Порог слышимости

Закон Вебера – Фехнера

Если интенсивность звука увеличивается в геометрической прогрессии, то ощущение громкости этого звука возрастает в арифметической прогрессии

$$E = \kappa \lg \frac{I}{I_0}$$

κ – коэффициент пропорциональности, зависящий от частоты и интенсивности

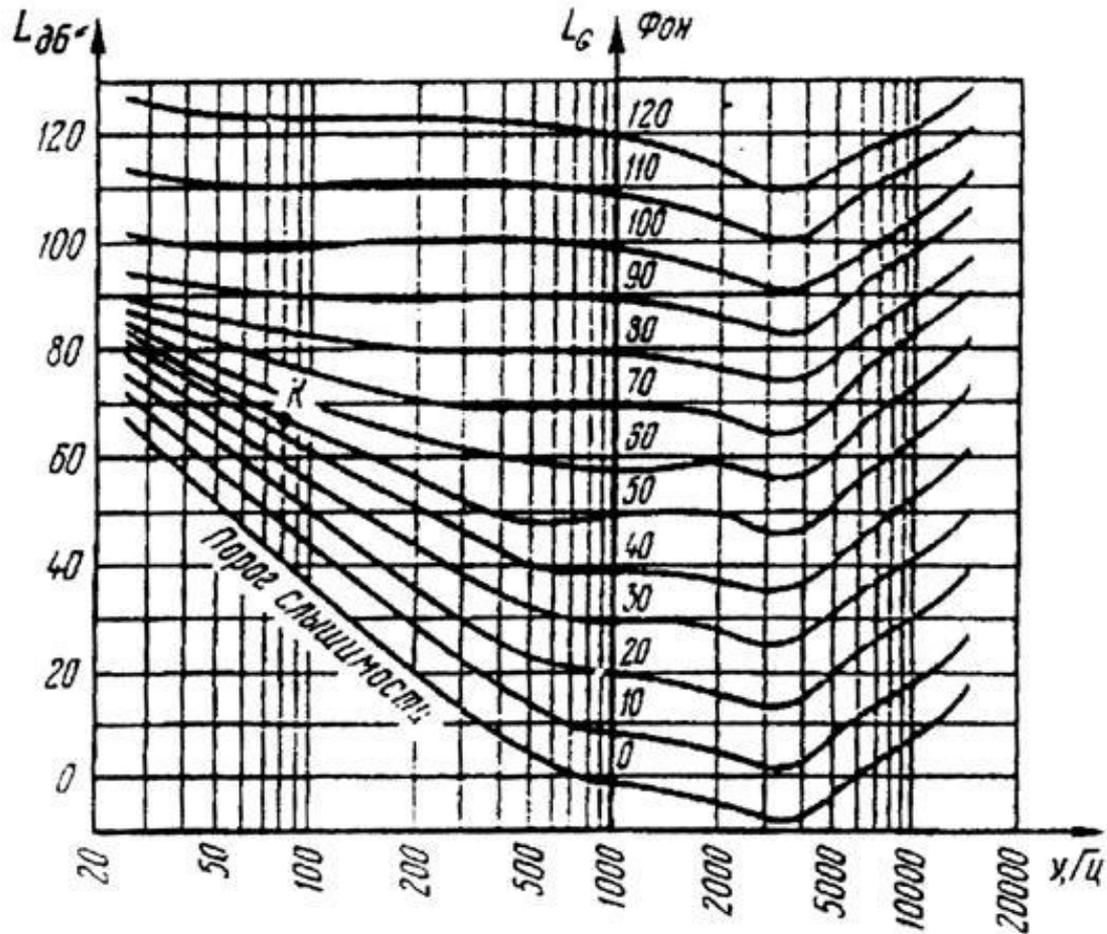
Громкость звука E

Громкость звука измеряется в фонах

На частоте 1кГц $K=1$

$$E = 10 * \lg \frac{I}{I_0} \quad \Phi(\text{фон})$$

Кривые равной громкости



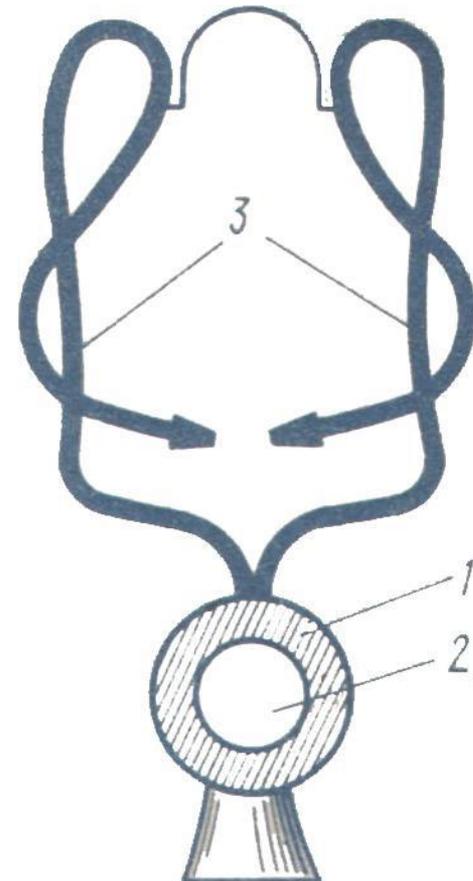
Примеры

Примерный характер звука	Интенсивность звука (Вт/м ²)	Звуковое давление (Па)	Уровень интенсивности звука (Дб)
Порог слышимости	10^{-12}	0,00002	0
Шепот	10^{-10}	0,0002	20
Разговор нормальным голосом	10^{-7}	0,0064	50
Разговор громким голосом	10^{-6}	0,02	60
Шум на оживленной улице	10^{-5}	0,64	80
Крик	10^{-4}	0,2	80
Порог болевого ощущения	10	64	130

Звуковые методы в медицине

Аускультация (выслушивание) – с помощью стетоскопа или фонендоскопа

- 1 – полая капсула
- 2 – передающая звук мембрана
- 3 – резиновые трубки



Звуковые методы в медицине

Перкуссия – выслушивание звучания отдельных частей тела при простукивании их

Фонокардиография (ФКГ) – графическая регистрация тонов и шумов сердца

Диагностика органов слуха

Метод измерения остроты слуха называется **аудиометрией**.

На специальном приборе (**аудиометре**) определяют порог слухового ощущения на разных частотах; полученная кривая называется **аудиограмма**

Биофизика ультразвука

Ультразвуком (УЗ) называют механические колебания и волны, частоты которых более 20 кГц

Скорость УЗ и звука определяется плотностью среды. Зависимость прямая.

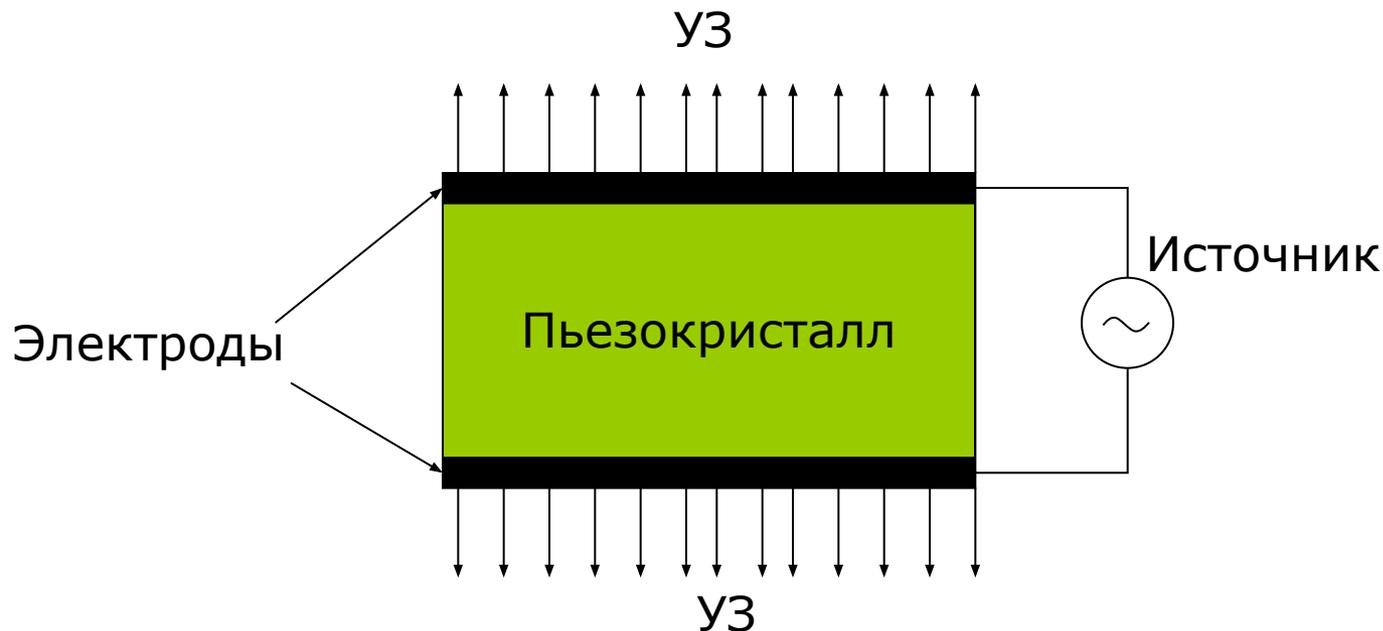
Получение ультразвуковых колебаний

Электромеханические излучатели:

1. Основанные на явлении обратного пьезоэлектрического эффекта (высокочастотный УЗ)
2. Основанные на явлении магнитострикции (низкочастотный УЗ)

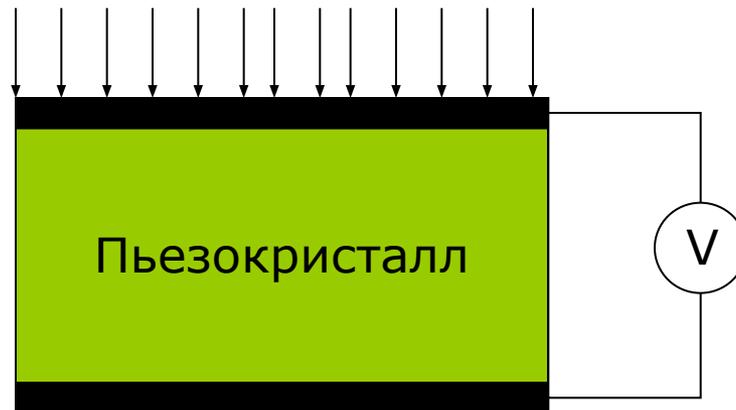
Обратный пьезоэффект

Под действием электрического поля происходит механическая деформация пьезокристалла



Прямой пьезоэффект

Под действием механических деформаций пьезокристалла возникает электрическое напряжение на гранях



Особенности распространения УЗ

- Малая длина волны. Направленность. (Применимы законы геометрической оптики)
- Поглощение (ослабление интенсивности при прохождении через вещество)

$$I = I_0 e^{-\mu d}$$

-
- Глубина полупоглощения – глубина, на которой интенсивность УЗ уменьшается вдвое.

Ткань	Глубина полупоглощения, см
Мышечная	2,1
Жировая	3,3
Костная	0,23
Кровь	35

Особенности распространения УЗ

- Преломление и отражение
Так как волновое сопротивление биологических сред в 3000 раз больше волнового сопротивления воздуха, то отражение УЗ на границе воздух-кожа составляет 99,99%.
- Деформация, кавитация (возникает при интенсивностях, больших $0,8 \cdot 10^4$ Вт/м²)
- Выделение тепла
- Химические реакции

Физические процессы, обусловленные воздействием УЗ

- микровибрация на клеточном и субклеточном уровне,
- разрушение биомакромолекул,
- перестройка и повреждение биологических мембран, изменение проницаемости мембран,
- тепловое действие,
- разрушение клеток и микроорганизмов

Эффект Доплера

Эффектом Доплера называют изменение частоты волн, воспринимаемых наблюдателем (приемником волн), вследствие относительного движения источника волн и наблюдателя.

наблюдатель приближается со
скоростью U_H к неподвижному
относительно среды источнику
ВОЛН

$$v' = \frac{U + U_H}{U} v \quad v - \text{скорость волны}$$

**Источник волн движется со
скоростью v_H к неподвижному
относительно среды наблюдателю**

$$v'' = \left[\frac{v}{v - v_H} \right] v$$

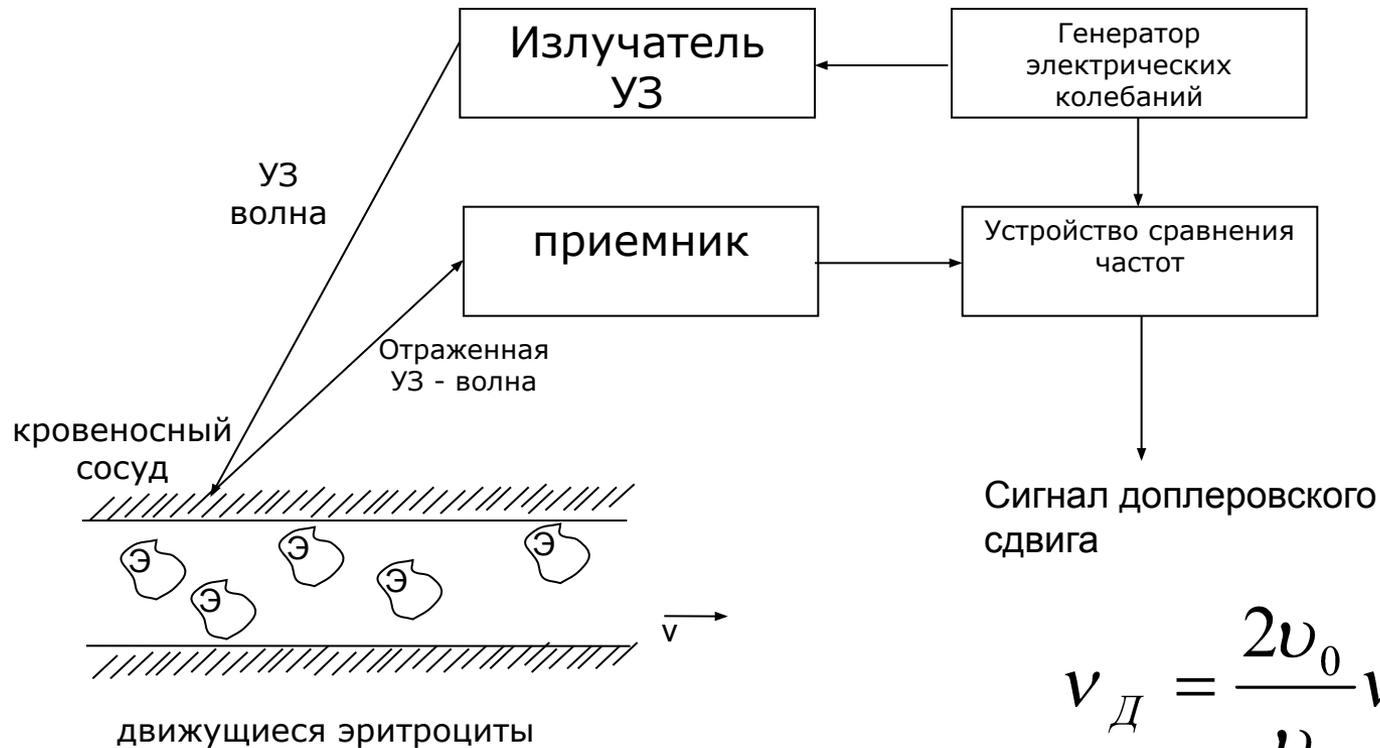
Одновременное движение друг к другу наблюдателя и источника

$$v''' = \frac{v + v_H}{v - v_u} v$$

Удаление источника волн и наблюдателя

$$\nu''' = \frac{U - U_H}{U + U_u} \nu$$

Диагностика на основе эффекта Доплера



$$V_D = \frac{2v_0}{u} V_G$$

u_0 – скорость движения эритроцитов

u – скорость УЗ

V_G – частота генератора

V_D – доплеровский сдвиг частот

Ультразвуковая диагностика – ЛОКАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ

Эхоэнцефалография – определение опухолей и отека головного мозга

Ультразвуковая кардиография – измерение размеров сердца в динамике

Ультразвуковая локация для определения размеров глазных сред

Ультразвуковая диагностика

Ультразвуковой Доплер эффект – изучают характер движения сердечных клапанов; определяют скорость кровотока

По скорости ультразвука определяют место повреждения кости

Ультразвуковая голография

Ультразвуковая физиотерапия

Терапевтическое действие ультразвука обусловлено механическим, тепловым и физико-химическим факторами

Фонофорез - введение с помощью ультразвука в ткани через поры кожи некоторых лекарственных веществ (гидрокортизона, тетрациклина и др.).

Ультразвуковая хирургия

Ультразвуковой скальпель –
рассечение тканей

Ультразвуковой остеосинтез –
«сваривания» тканей

Удаление опухолей в мозговой ткани
без вскрытия черепной коробки

Дробление почечных камней

Практическое применение УЗ

В фармацевтической промышленности – создание эмульсий, лекарств, аэрозолей

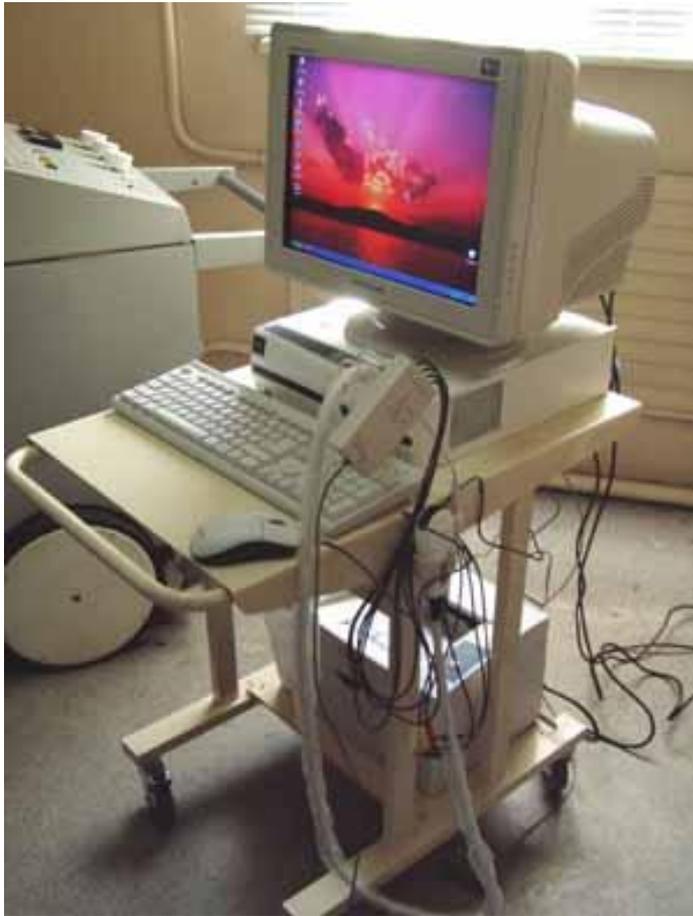
В хирургии - стерилизация медицинских инструментов

Для ориентировки слепых в пространстве

Применение УЗ в стоматологии

- удаление наддесневых, поддесневых и межзубных камней,
- удаление легких отложений с лингвальной поверхности зуба,
- обработка лабиальных, внутриротовых, небных и лингвальных десневых карманов,
- полировка поверхности зуба.

Аппарат Sono-Ace-PICO



Позволяет проводить диагностику при:

- повреждении мышц
- повреждении мышц ротаторных манжет плечевых суставов
- повреждении мениско-связочного комплекса коленных суставов
- повреждении сухожильно-связочного аппарата всех суставов
- наличии дисковых патологий (грыжи, протрузии, стеноз позвоночного канала)
- наличии остеофитов, хондромных тел в суставах
- заболеваниях сосудов верхних и нижних конечностей, сосудов шейного отдела
- заболеваниях внутренних органов

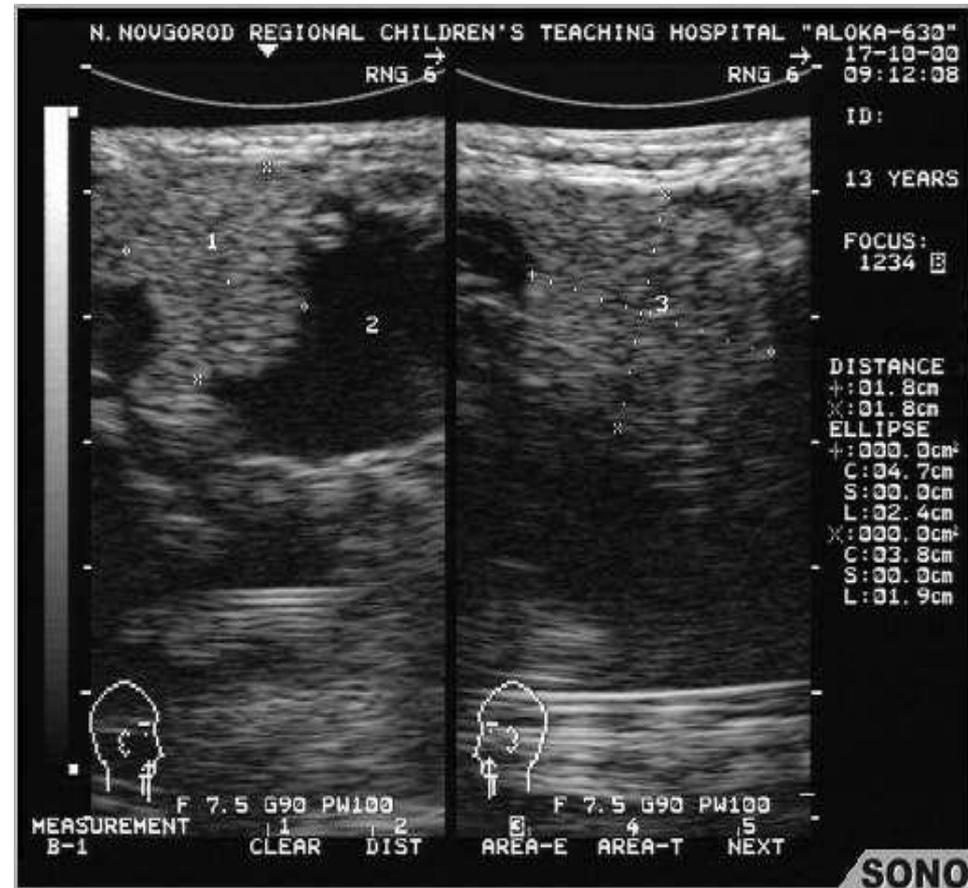
Эхографическая картина абсцесса левой миндалины у пациента 14 лет.



На снимке представлены взаимоперпендикулярные сечения образования левой миндалины, которое характеризуется нечеткими контурами и гипоэхогенным внутренним содержимым с "плавающими" эхогенными включениями. За образованием слабое акустическое усиление.

Эхографическая картина кисты правой подчелюстной слюнной железы у пациента 13 лет

На левой половине снимка представлен участок неизменной ткани правой подчелюстной железы (1), анэхогенное образование (2) с четкими контурами и эффектом дистального псевдоусиления. На правой половине снимка - неизменная левая подчелюстная слюнная железа (3).



Инфразвук и его воздействие на человека

Инфразвук – механическая волна с частотой менее 16 Гц

Действие на человека: раздражение, угнетающее настроение, головная боль, усталость.

Положение тела	Частоты собственных колебаний для человека (Гц)
Лежа	3 – 4
Грудная клетка	5 – 8
Брюшная полость	3 – 4



**БЛАГОДАРЮ
ЗА ВНИМАНИЕ**

Уважаемые старосты!

Вы сдали списки
отсутствующих?