

# Biofizika II.

## Ultrahang

**Orosz Ádám**

Semmelweis Egyetem

Biofizikai és Sugárbiológiai Intézet

# **A hang terjedése közegekben**

**összenyomhatóság, sűrűség, terjedési sebesség**

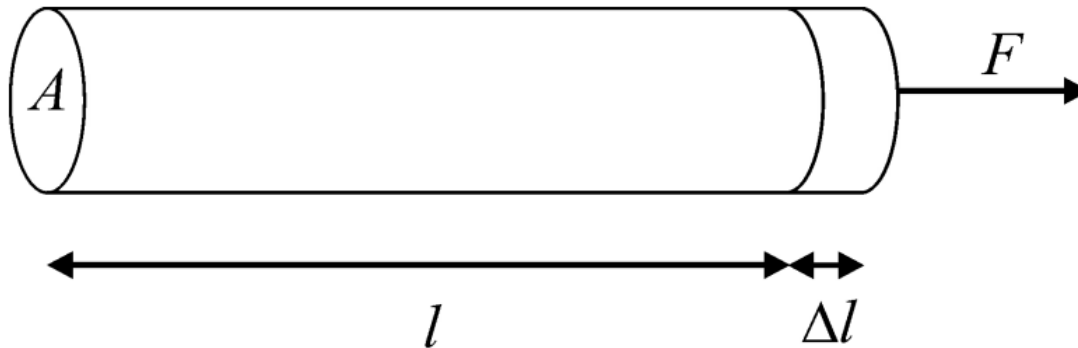
**részecskesebesség és nyomás, akusztikai keménység**

# Ismétlés: alakváltozás

Az **erő** alakváltozást (deformációt) is eredményezhet.

A legegyszerűbb alakváltozás a **megnyúlás**.

relatív megnyúlás:  $\Delta l/l$



Hooke-törvény

$$F = AE \frac{\Delta l}{l}$$

$$\frac{F}{A} = E \frac{\Delta l}{l}$$

$F/A$  a **mechanikai feszültség** vagy **húzófeszültség** ( $\sigma$  [Pa]),  
de lehet **nyomófeszültség** vagy **nyomás** ( $p$  [Pa])

Az együttható: **rugalmassági**, vagy **Young modulus** ( $E$ [Pa])

Pl.: **Kollagén rost** 0,3–2,5 GPa, **csont** 10–20 GPa

Általánosabban - **összenyomás**:

$$\Delta p = -K \frac{\Delta V}{V}$$

$K$  a **kompresziómodulus**,

$1/K = \kappa$  a **kompreszibilitási együttható** (pl.  $\kappa_{\text{acél}} = 0,006 \text{ GPa}^{-1}$ )

# A hang terjedése közegekben

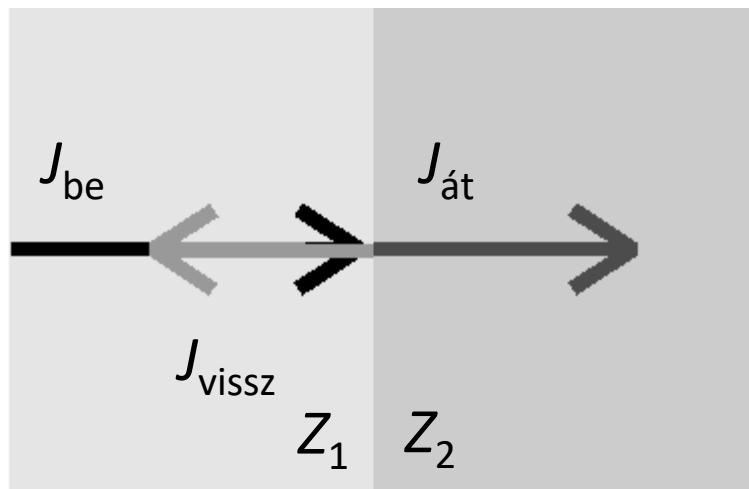
példák - sűrűség, kompresszibilitás, terjedési sebesség, akusztikus impedancia

$$\kappa = \frac{-\Delta V / V}{\Delta p} \quad c = \frac{1}{\sqrt{\rho \kappa}} \quad Z = \rho c = \sqrt{\frac{\rho}{\kappa}}$$

anyag	$\rho$	$\kappa$	$c$	$Z$
	[kg/m <sup>3</sup> ]	[1/GPa]	[m/s]	[kg/(m <sup>2</sup> ·s)]
levegő	1,3	7650	331	0,00043·10 <sup>6</sup>
víz, 20°C	998	0,45	1492	1,49·10 <sup>6</sup>
lágyszövet	1060	0,40	1540	1,63·10 <sup>6</sup>
tömör csont	1700	0,050	3600	6,12·10 <sup>6</sup>
kvarc	2650	0,011	5736	15,2·10 <sup>6</sup>

# Közegek határán lejátszódó jelenségek

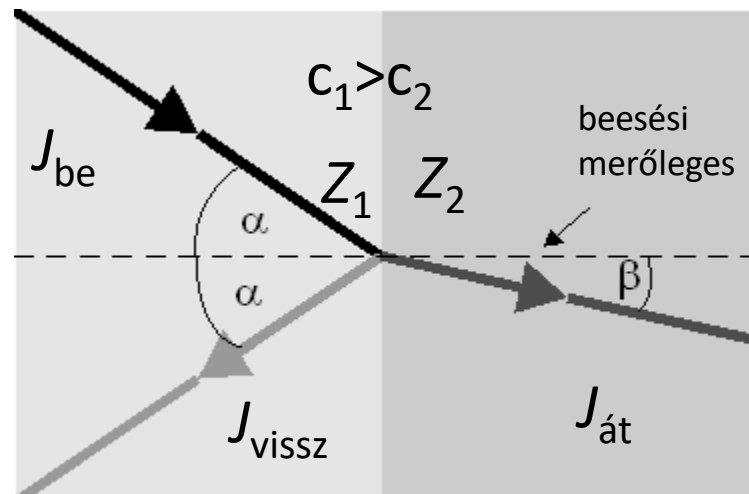
merőleges beesés, ferde beesés, visszaverődés, áthaladás, reflexióképesség



$$J_{\text{be}} = J_{\text{át}} + J_{\text{vissz}}$$

reflexió és transzmisszió

$$R = \frac{J_{\text{R}}}{J_0} = \left( \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \right)^2$$



$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c_1}{c_2}$$

Snellius-Descartes

# **Ultrahang az orvostudományban**

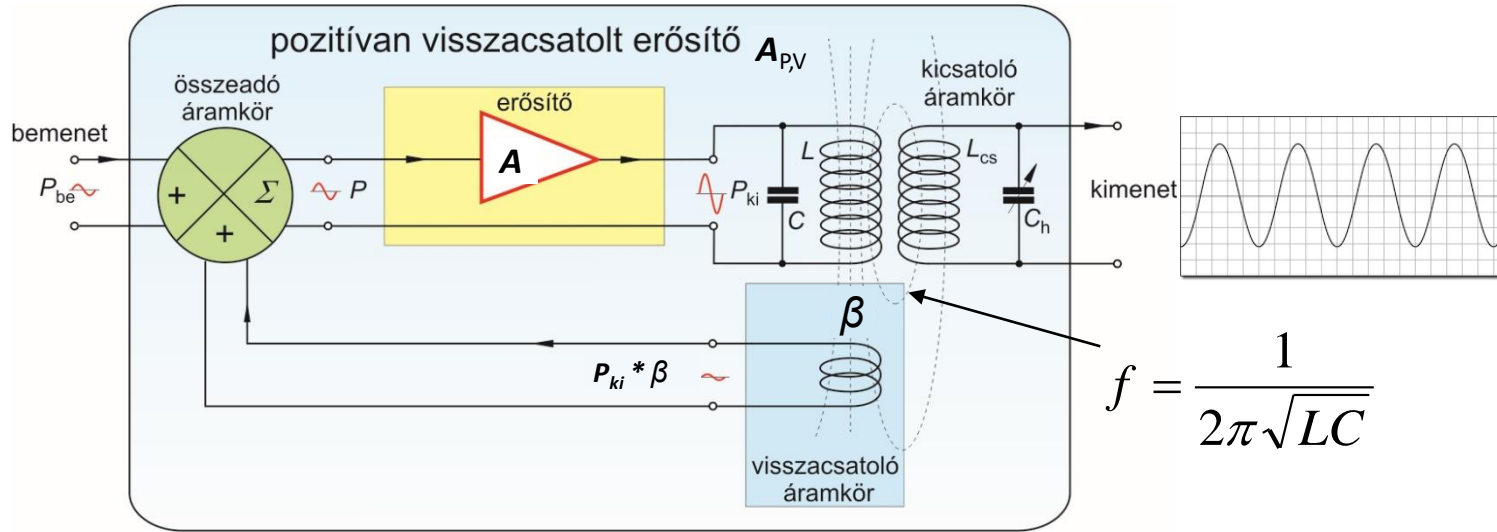
## **A. Diagnosztika – UH reflexió**

- 1. UH előállítás**
- 2. impulzus-echo elv**
- 3. képtípusok**
- 4. áramlásmérés**

## **B. Terápiás alkalmazások – UH abszorpció**

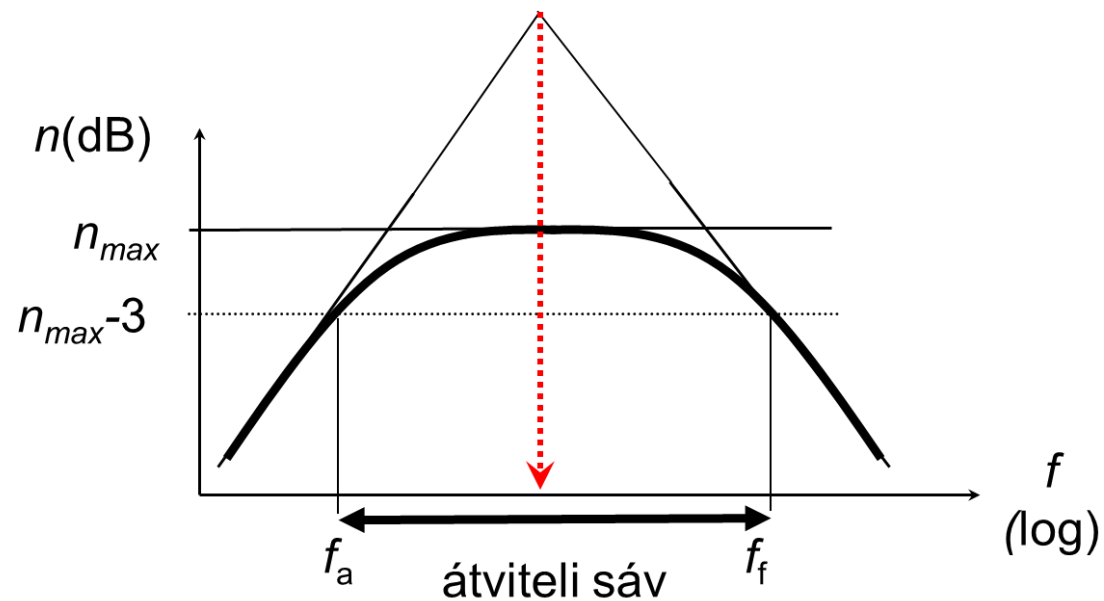
# UH előállítás

## elektromos jelforrás - szinuszoszcillátor



$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

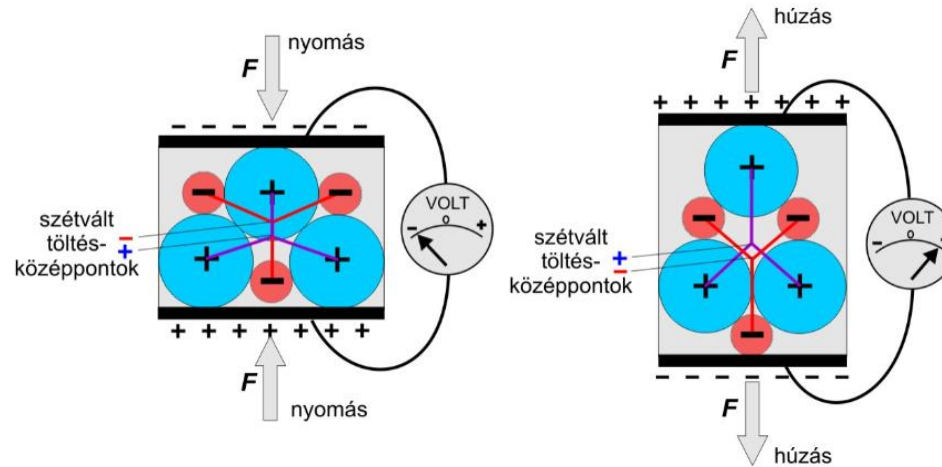
$$A_{U, \text{visszacsatolt}} = \frac{A_U}{1 - \beta A_U}$$



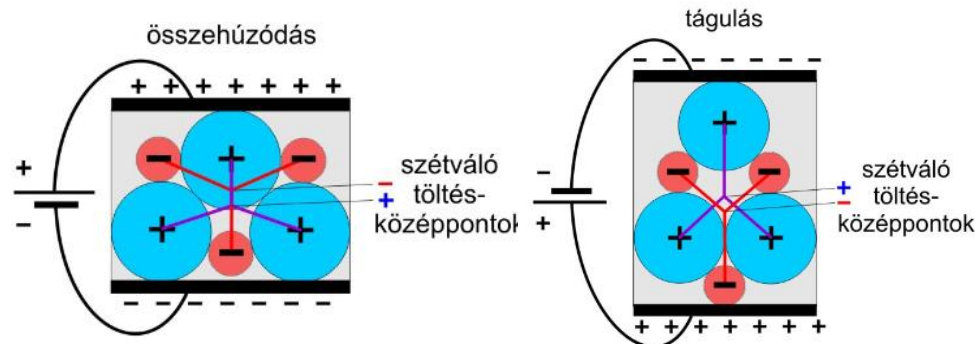
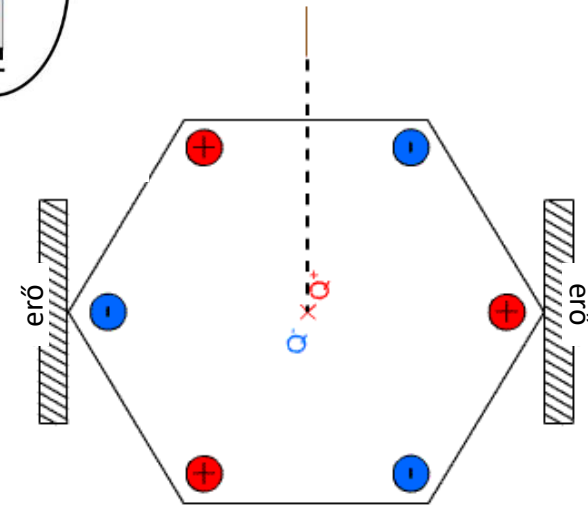
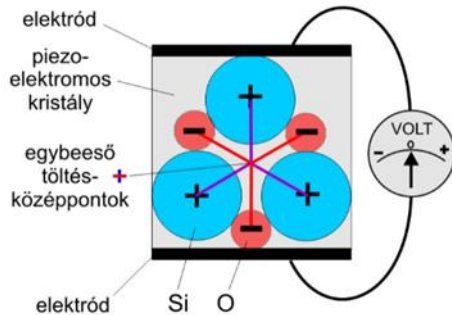


# UH előállítása

## piezoelektromos kristály, transzducer



U feszültség



**Diagnosztika:**  $f = 1 - 10 \text{ MHz}$ ,  $J \sim \text{mW/cm}^2$

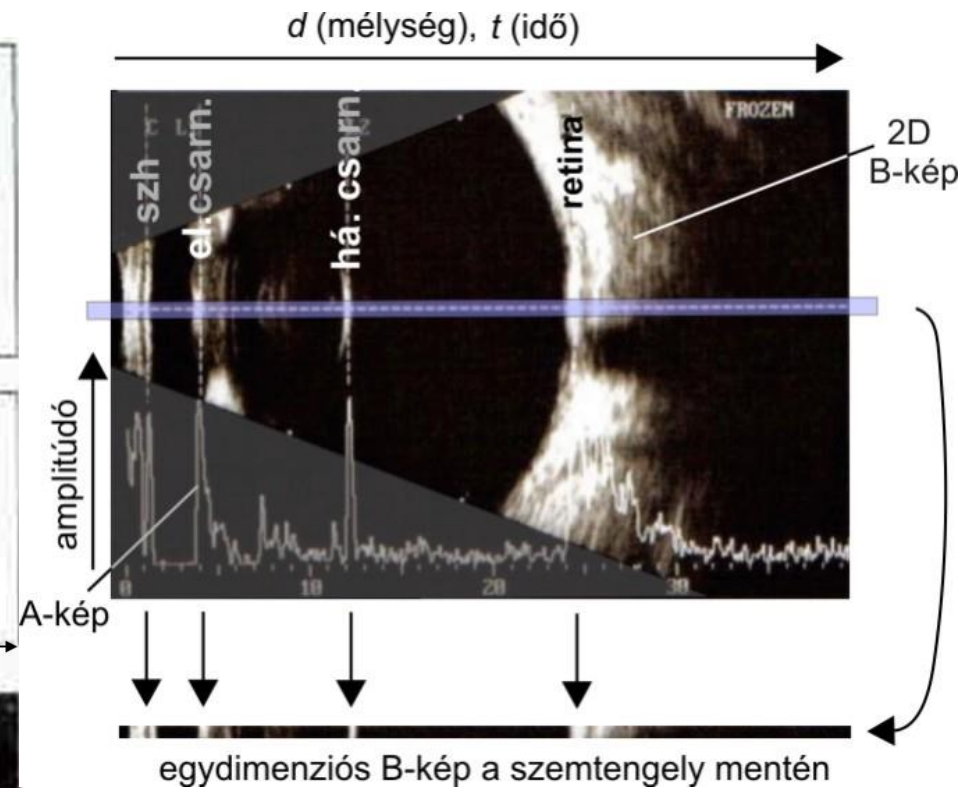
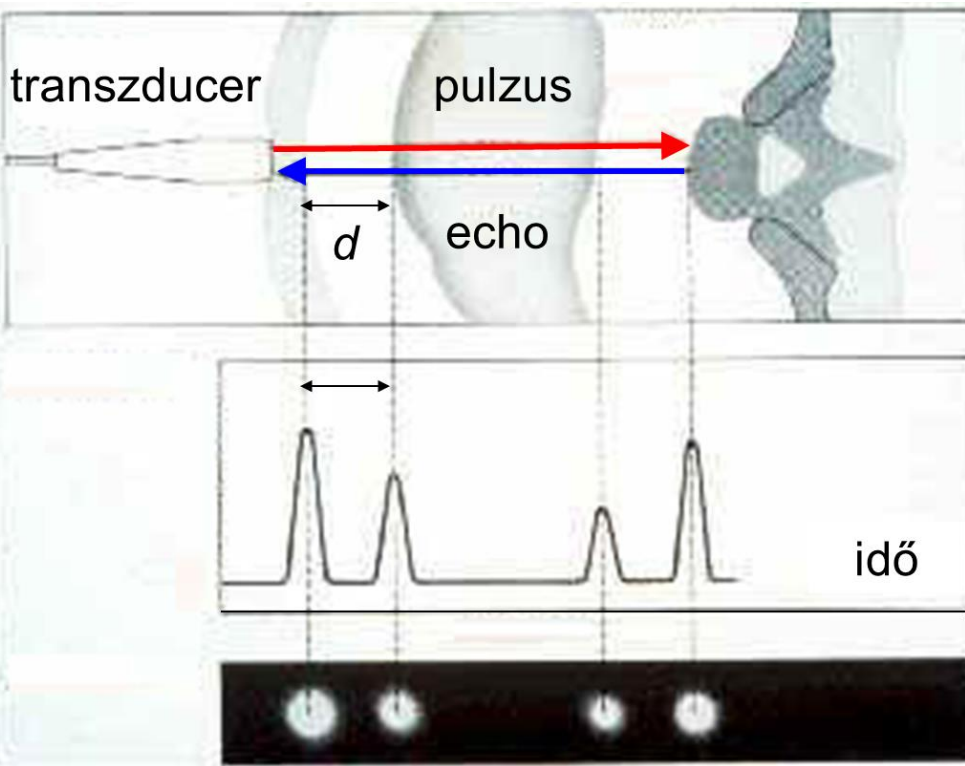
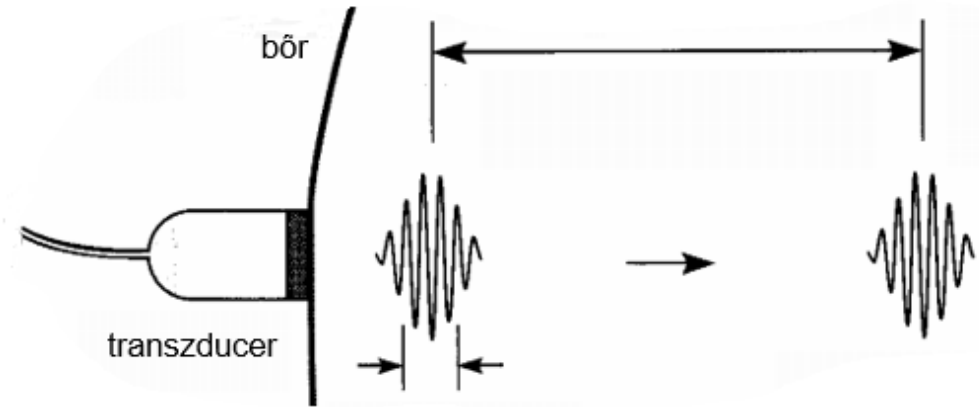
**Terápia:**  $f = 0,8 - 1,2 \text{ MHz}$ ,  $J \sim \text{W/cm}^2$





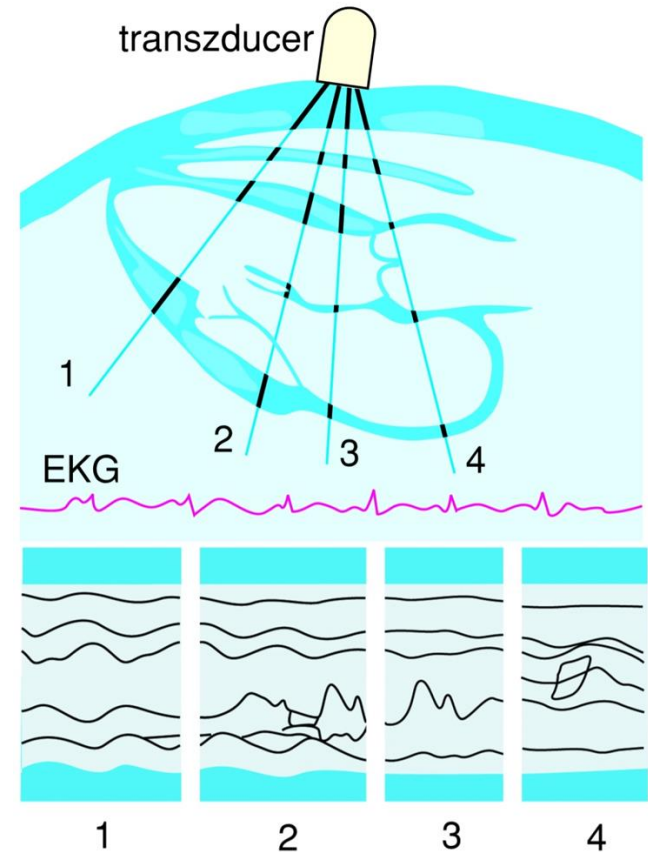
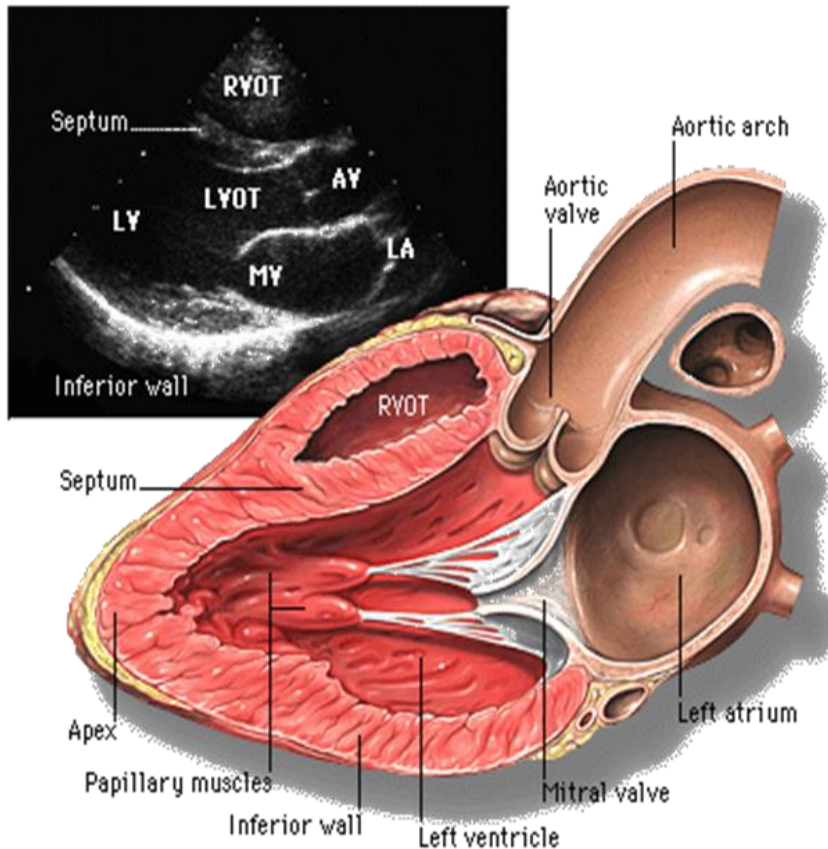
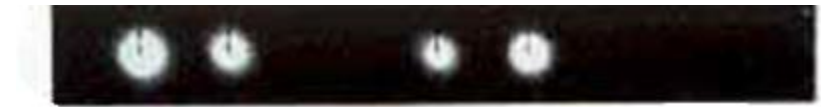
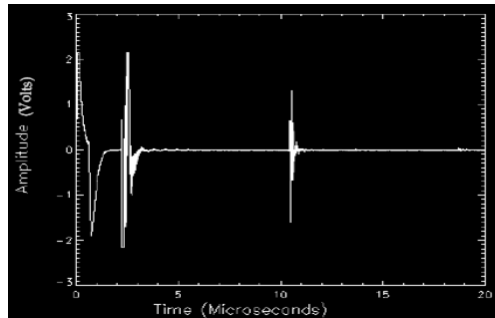
# UH képképzés – impulzus-echo-elv

csatoló gél, impulzus-visszhang, távolságmérés, képtípusok



# UH képtípusok

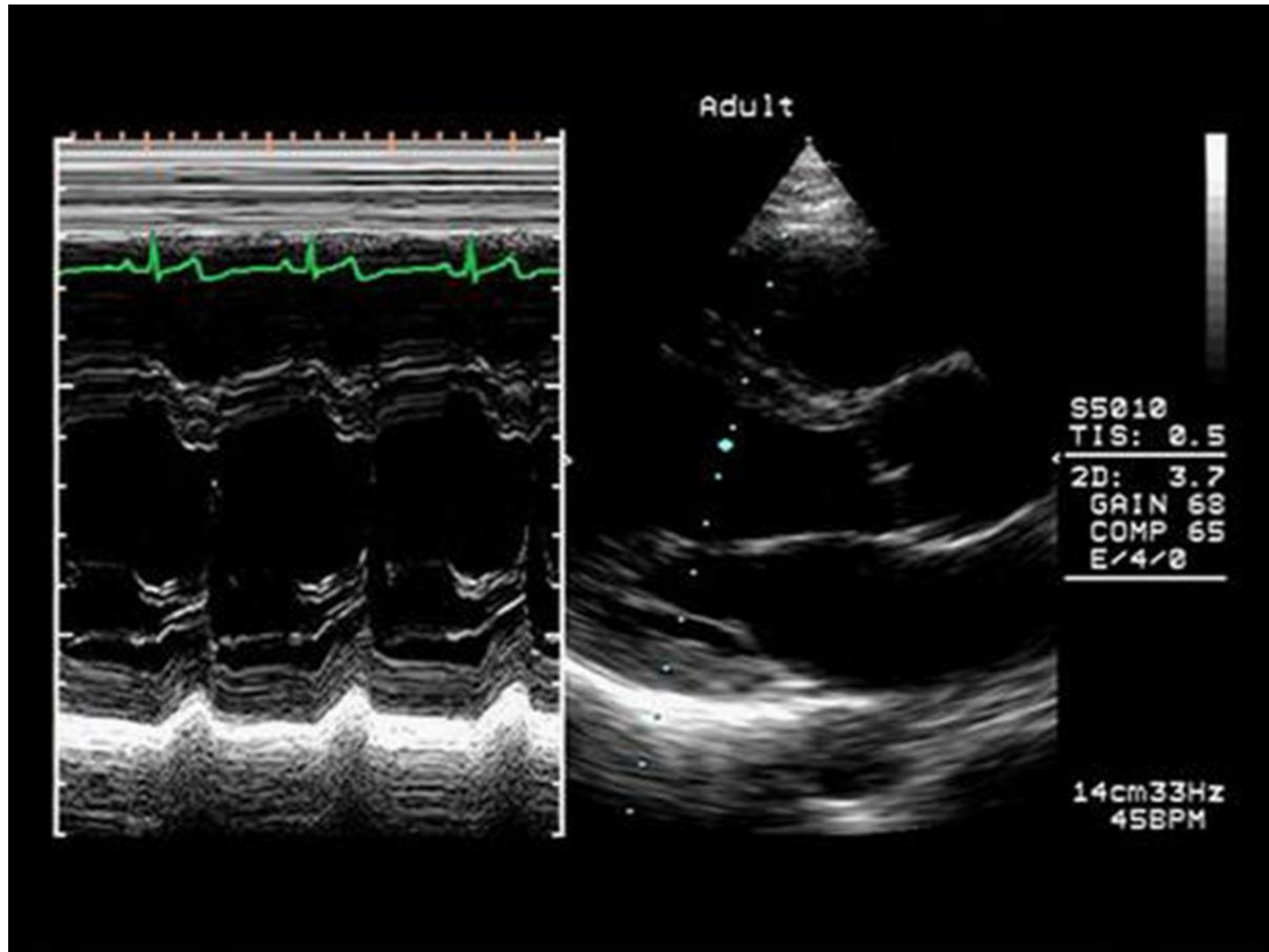
A-kép, 1D B-kép, 2D B-kép, TM-kép



# UH képtípusok

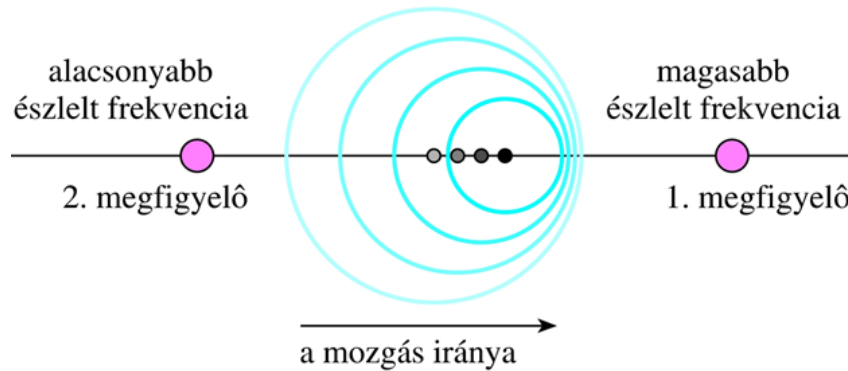
TM-kép

B-kép

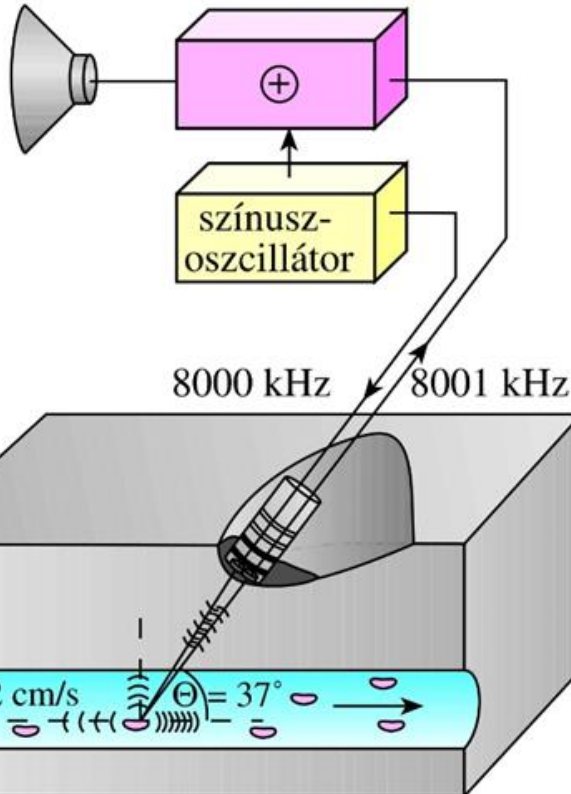


# UH reflexiója mozgó felületről – Doppler effektus

véráramlás vizsgálata, vér áramlási sebességének mérése



különbségi jel  
1 kHz



mozgó megfigyelő:

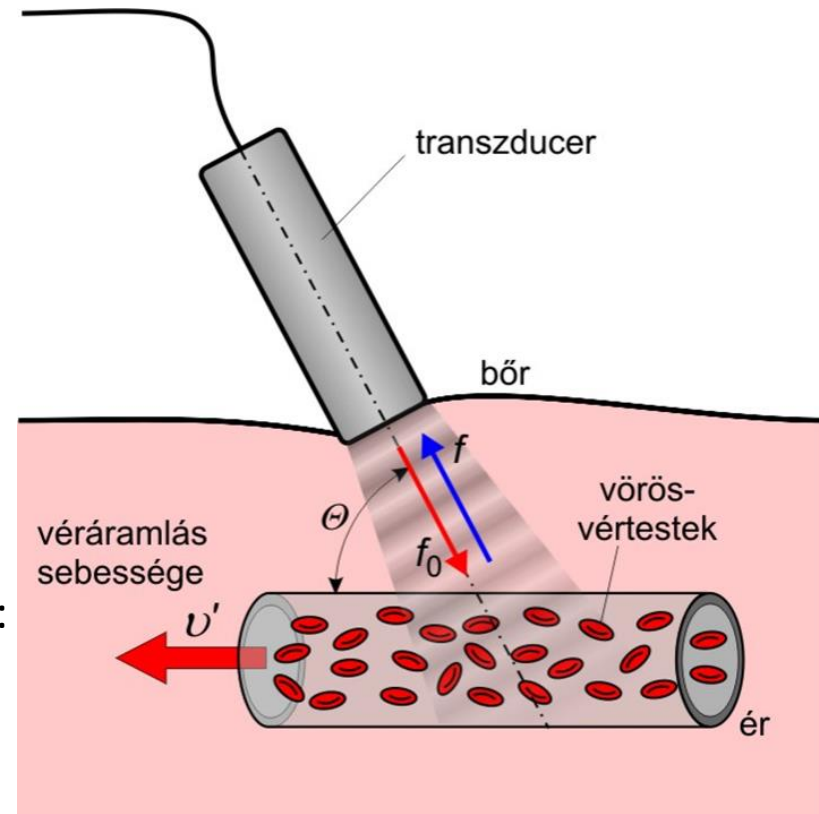
$$f = f_0 \left( 1 \pm \frac{v}{c} \right)$$

mozgó reflektáló  
felület esetén:

$$f = f_0 \left( 1 \pm 2 \frac{v}{c} \right)$$

áramlási sebesség:

$$v' = \frac{c(f - f_0)}{2f_0 \cos \Theta}$$





# UH terápia

## mechanikai és/vagy hőhatás

**A. kis intenzitás:** mikromassázs – ízületi kopások kezelése, izomlazító, fájdalomcsillapító és értágító hatás

**B. nagy intenzitás:** roncsoló hatás  
sejtállományt fenntartó kötőerők legyőzése  
(szabad gyökök,  $H_2O_2$ , DNS lánc törések)

1. hipertermiás kezelés  
abszorpció – hővé alakul az energia

2. kavitáció (üregesedés) – HIFU - terápia (High Intensity Focused Ultrasound)

3. fogászat: fogköeltávolítás (20-40 kHz)  
rezgő fémcsúcs közvetlenül adja át a rezgési energiát a fogkönek

4. fonoforézis, szonoforézis: hidrokortizon, dexametazon, lidokain  
topikálisan + UH – felszívódás fokozása

