

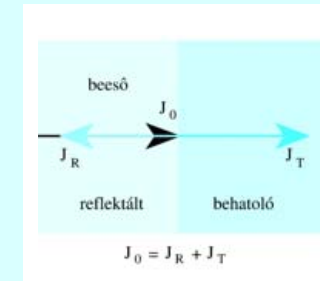
## Az ultrahang orvosi alkalmazásainak alapjai

*Terápia* – alapja az ultrahang elnyelődése

*Diagnosztika* – alapja az ultrahang reflexiója

## Az ultrahang reflexiója

Visszaverődés



$$R = \frac{J_R}{J_0}$$

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

Ha  $R \approx 1 \implies$  teljes visszaverődés

## Az ultrahang reflexiója

anyag	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\kappa$ [1/GPa]	$c$ [m/s]	$Z$ [kg/(m <sup>2</sup> ·s)]
levegő	1,3	7650	331	0,00043·10 <sup>6</sup>
tüdő	400	5,92	650	0,26·10 <sup>6</sup>
zsír	925	0,51	1470	1,42·10 <sup>6</sup>
lágyszövet	1060	0,40	1540	1,63·10 <sup>6</sup>
szemlencse	1140	0,34	1620	1,84·10 <sup>6</sup>
csontvelő	970	0,36	1700	1,65·10 <sup>6</sup>
csont, porózus	1380	0,08	3000	2,2 – 2,9·10 <sup>6</sup>
csont, tömör	1700	0,05	3600	6,12·10 <sup>6</sup>

Ha  $R \approx 1 \implies$  teljes visszaverődés

határfelület	R
izom/vér	0,0009
zsír/máj	0,006
zsír/izom	0,01
csont/izom	0,41
csont/zsír	0,48
lágyszövet/levegő	0,99

## Az ultrahang reflexiója

anyag	c (m/s)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Z (kg/m <sup>2</sup> s)
pulpa	1570	1000	1,6 · 10 <sup>6</sup>
dentin	3800	2000	7,6 · 10 <sup>6</sup>
zománc	6250	3000	18,8 · 10 <sup>6</sup>
Al	6300	2700	17 · 10 <sup>6</sup>
boroszilikát	5300	3570	18,9 · 10 <sup>6</sup>
amalgám	4350	7750	33,7 · 10 <sup>6</sup>

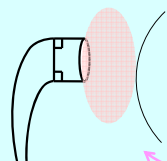
határfelület	R
zománc/dentin	0,18
dentin/pulpa	0,43
amalgám/dentin	0,40

## Az ultrahang reflexiója

anyag	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\kappa$ [1/GPa]	$c$ [m/s]	$Z$ [kg/(m <sup>2</sup> ·s)]	határfelület	R
levegő	1,3	7650	331	0,00043·10 <sup>6</sup>	izom/vér	0,0009
tüdő	400	5,92	650	0,26·10 <sup>6</sup>	zsír/máj	0,006
zsír	925	0,51	1470	1,42·10 <sup>6</sup>	zsír/izom	0,01
lágyszövet	1060	0,40	1540	1,63·10 <sup>6</sup>	csont/izom	0,41
szemlencse	1140	0,34	1620	1,84·10 <sup>6</sup>	csont/zsír	0,48
csontvelő	970	0,36	1700	1,65·10 <sup>6</sup>	lágyszövet/levegő	0,99
csont, porózus	1380	0,08	3000	2,2–2,9·10 <sup>6</sup>		
csont, tömör	1700	0,05	3600	6,12·10 <sup>6</sup>		



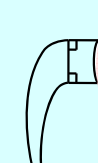
Ha  $R \approx 1 \Rightarrow$  teljes visszaverődés



csatoló közeg szükséges

## Az ultrahang reflexiója

Ha  $R \approx 1 \Rightarrow$  teljes visszaverődés

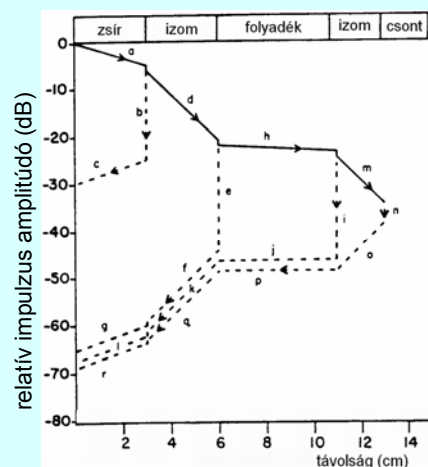


csatoló közeg szükséges

Optimális csatolás:

$$Z_{csat} = \sqrt{Z_1 \cdot Z_2}$$

$$Z_{csatólógél} \sim 6,5 \cdot 10^6 \text{ kg/(m}^2\text{s)}$$



## Abszorpció és reflexió

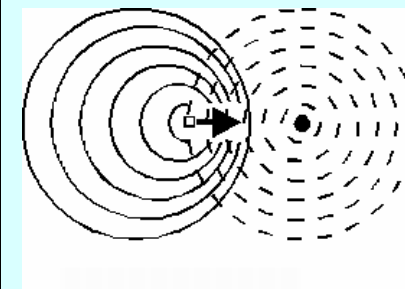
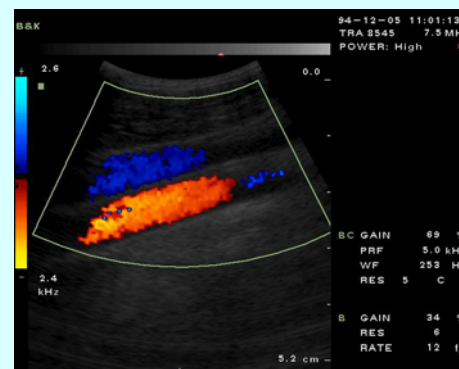
minél később/ minél mélyebbről  
érkezik vissza a reflexió, annál  
gyengébb a reflektált intenzitás  
visszaverődési idő függő erősítés

TGC: time gain compensation

DGC: depth gain control

határfelület	R	10lgR (dB)	T	10lgT (dB)
zsír/izom	0.01	-20.0	0.990	-0.044
izom/vér	0.001	-30.0	0.999	-0.004
izom/cson	0.41	-3.9	0.590	-2.291

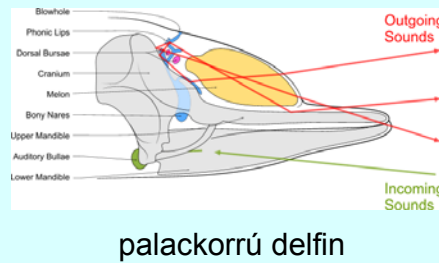
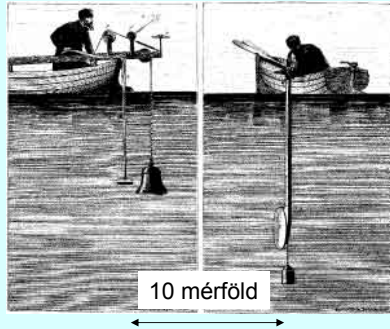
## Az ultrahangos képalkotás, A-, B- és M-képek. Doppler-echo



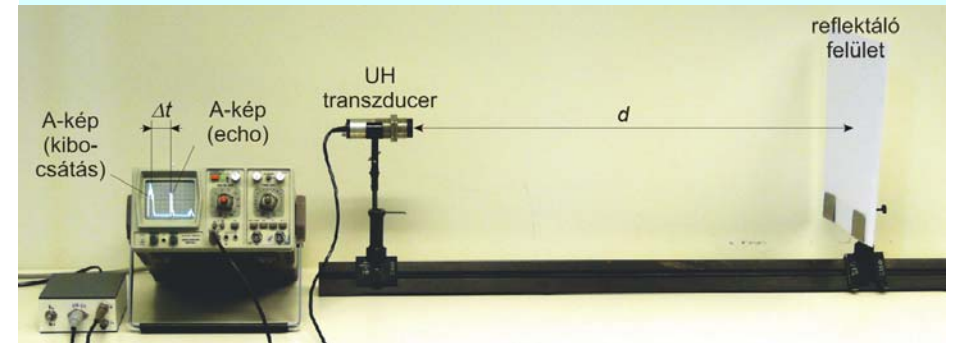
## Echo elv

1794 Spallanzani:  
denevérek tájékozódása

1822 Colladen megméri a  
hang terjedési sebességét

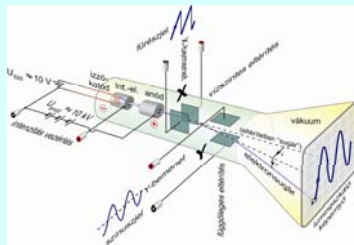


## Echo elv - képképzés



$$c\Delta t = d + d = 2d$$

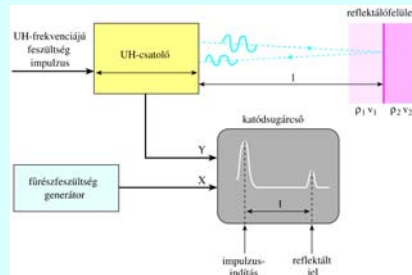
speciális transzducerből levegőbe is kicsatolható az UH  
intenzitás egy része



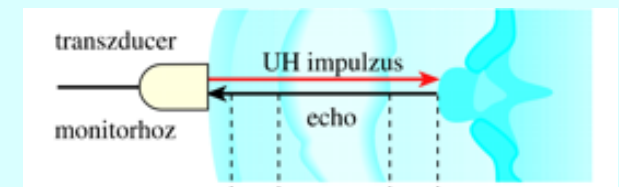
Eltérítés /  
szabályozás

A-kép

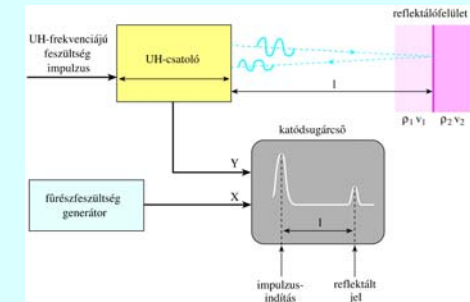
- X Idő (→ axiális  
távolság)
- Y Amplitúdó (→  $I_{refl}$ )
- Z (Fényesség)



## A-kép - Amplitúdó

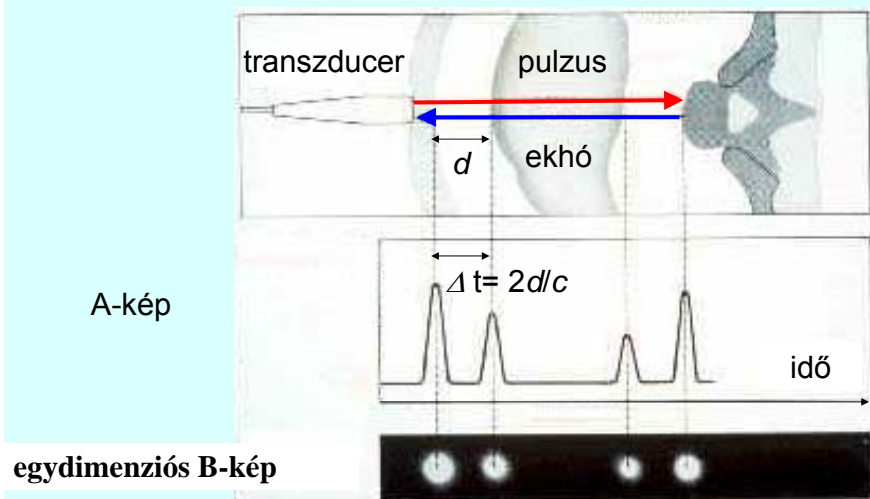


csak egydimenziós  
lehet

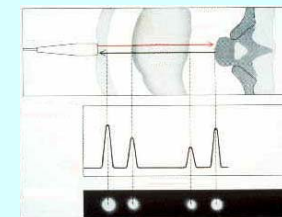
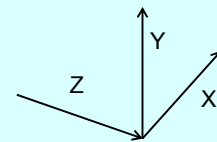


$$c\Delta t = d + d = 2d$$

## B-kép - Bightness=fényesség



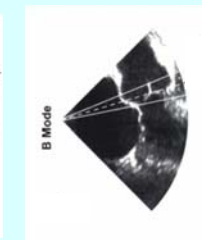
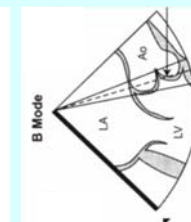
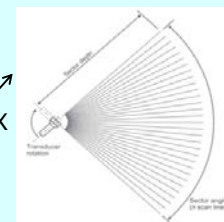
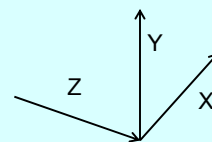
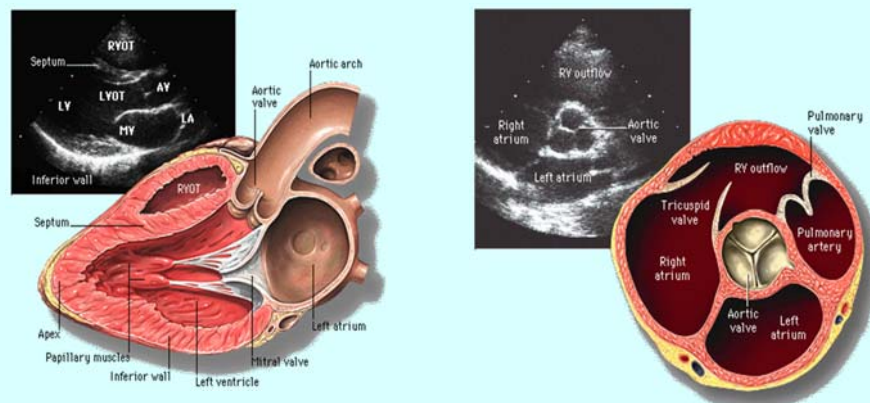
vö. Tkv. VIII.33. ábra



Eltérítés / szabályozás	A-kép	egydimenziós B-kép
X	Idő (→ axiális távolság)	Idő (→ axiális távolság)
Y	Amplitúdó (→ $I_{ref}$ )	-
Z	(Fényesség)	Fényesség (→ $I_{ref}$ )

## B-kép - Bightness=fényesség

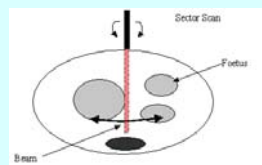
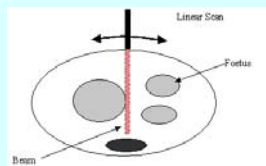
### kétdimenziós B-kép – direkt tomográfia



Eltérítés / szabályozás	kétdimenziós B-kép
X	Idő (→ axiális távolság)
Y	Laterális távolság
Z	Fényesség (→ $I_{ref}$ )

**B-kép** - *B*rightness=fényesség

**kétdimenziós B-kép**



mozgatott  
transzducer

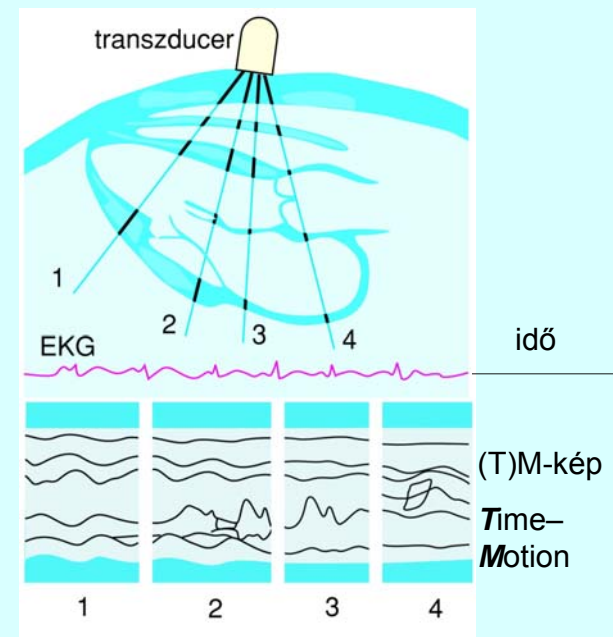


**TM-kép**

*Time Motion*

EKG jel  
referenciaként

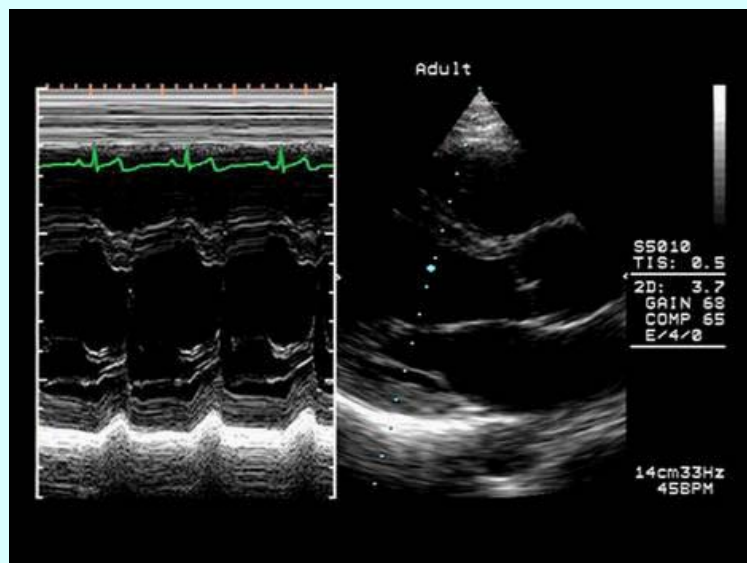
(függőleges)  
egydimenziós B-kép  
időbeli változása



Tkv. VIII.34. ábra

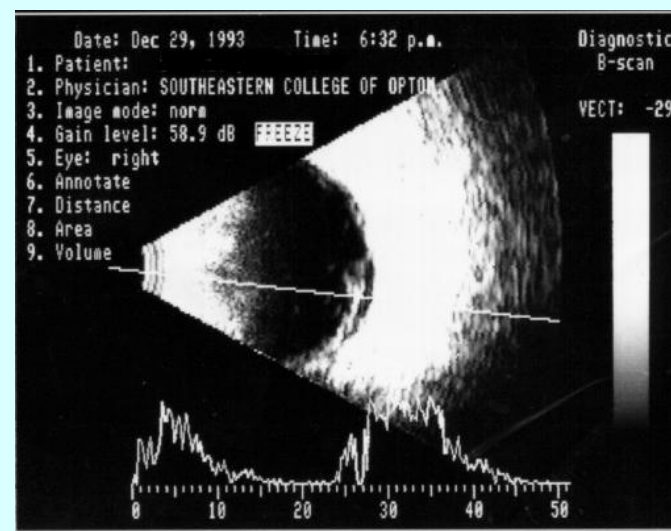
TM-kép

B-kép



**Kétdimenziós B-kép és A-kép**

(szemészeti alkalmazás)



Terjedési  
sebesség  
figyelembe-  
vétele pontos  
távolságok  
meghatáro-  
zására:

cornea: 1641  
m/s

csarnokvíz:  
1532 m/s

humán  
szemlencse:  
1641 m/s

üvegtest:  
1532 m/s

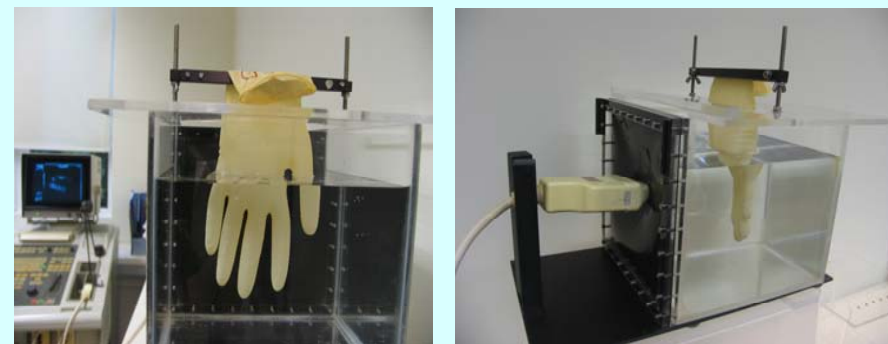


## A valóság és amit az UH-kép mutat



Az objektum

## A valóság és amit az UH-kép mutat



A mérés

## A valóság és amit az UH-kép mutat



A keresztmetszet

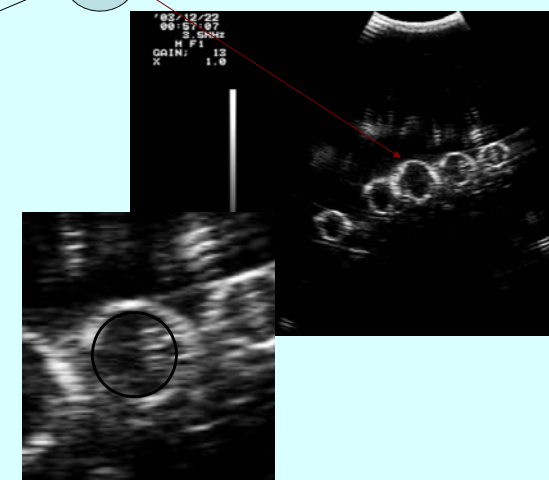


Az eredmény

## A valóság és amit az UH-kép mutat



A keresztmetszet



Az eredmény

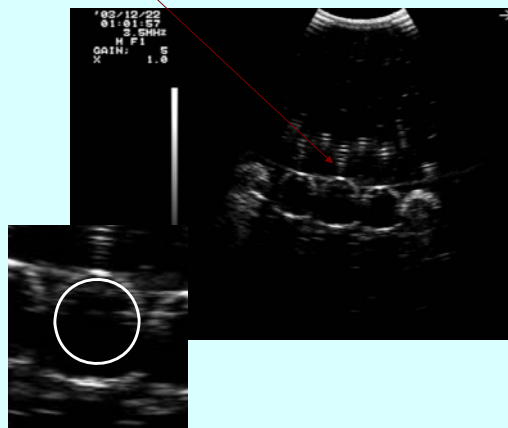
## A valóság és amit az UH-kép mutat



Alkohol a kesztyűben



A keresztmetszet



Az eredmény

## A valóság és amit az UH-kép mutat



Levegő a kesztyűben



A keresztmetszet



Az eredmény

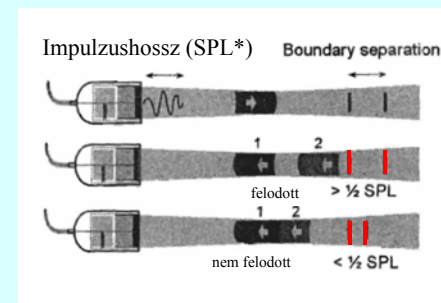
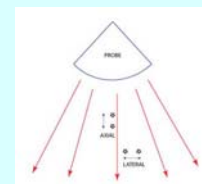
## Feloldási határ, feloldóképesség

A **feloldási határt** ama két pont közötti távolsággal jellemezhetjük, amelyeket az UH segítségével még különálló pontokként detektálhatunk (minél nagyobb az értéke, annál rosszabb a helyzet).

**Felbontóképesség:** a feloldási határ reciproka.

## Feloldási határ, feloldóképesség

A sugárirányú (**axiális**, vagy mélységi ) feloldási határ az impulzushossztól függ.



Az echo ne fedjen át a kibocsátott impulzussal – minimális szeparáció  $> \frac{1}{2} \text{ spl}$ .

Az impulzushossz fordítottan arányos a frekvenciával

\*spatial pulse length

## Feloldási határ, feloldóképesség

A **laterális** feloldási határ – két szomszédos pont megkülönböztetése a sugárirányra merőleges irányban. A nyalábátmérő, nyalábdenzitás és az objektum mélységi pozíciója szabja meg.



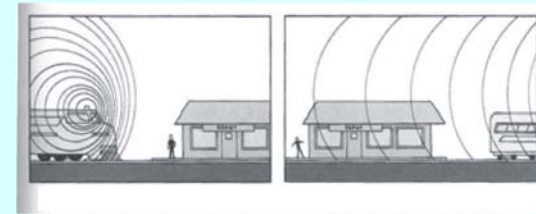
### Jellemző értékek

frekvencia (MHz):	2	15
hullámhossz (izomban) (mm):	0.78	0.1
behatolási mélység (cm):	12	1.6
laterális feloldási határ (mm):	3.0	0.4
axiális feloldási határ (mm):	0.8	0.15

## Doppler-effektus

A forrás és észlelés közeledése vagy távolodása esetében a frekvencia megváltozik.

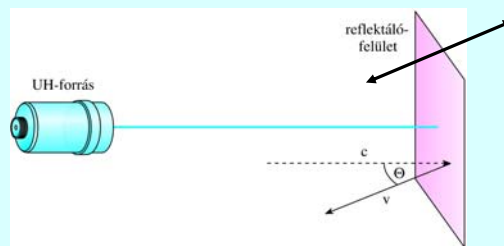
A forrás mozog



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

f : eredeti frekvencia  
f' : megváltozott frekvencia  
v : a forrás sebessége  
c : az ultrahang sebessége

## Az ultrahang reflexiója mozgó felszínről



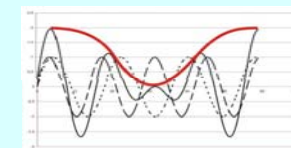
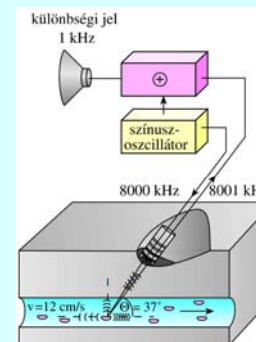
$$f' = f_0 \cdot \left(1 \pm \frac{2v}{c}\right)$$

A frekvencia megváltozása arányos a reflektáló felület sebességével.

Doppler-eltolódás  $f_D = f' - f_0$

## Áramlási sebesség mérése

Vörösvértestek, mint szórócentumok.



Közeli frekvenciák szuperpozíciója (összegzése) esetén megjelenik – hallható – a különbségi frekvencia is.



**Doppler frekvencia** = frekvencia változás = fr. eltolódás

$$f' = f \cdot \left(1 \pm \frac{v_M}{c}\right)$$

álló forrás és mozgó megfigyelő

$$\Delta f = f_D = \pm \frac{v_i}{c} f$$

ha  $v_R \ll c$  (i=M vagy F)

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

mozgó reflektáló tárgy (felület),  
(ha  $v_R \ll c$ )

$$\Delta f = f_D = \pm 2 \frac{v_R}{c} f$$

ha  $v$  és  $c$  nem párhuzamosak, akkor  $v$  helyett  $v \cos \Theta$  írandó  
képletbe

## CW Doppler berendezés

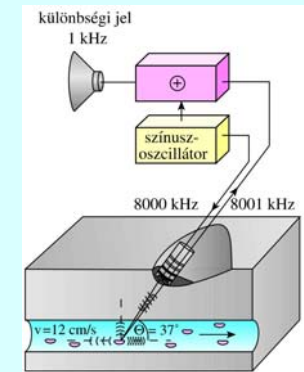
CW: (Continuous Wave) folyamatos hullámú

adó és vevő különválasztva  
(egymás mellett)

$$|f_D| = 2 \frac{v_R \cos \theta}{c} f$$

pl.  $f=8000$  kHz  
 $v=12$  cm/s  
 $c=1600$  m/s  
 $\Theta = 37^\circ$

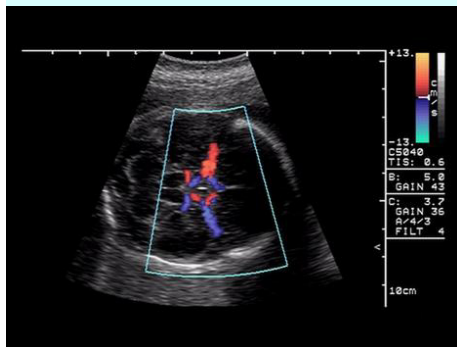
$\Rightarrow f_D = 1$  kHz  
(lebegés jelensége)



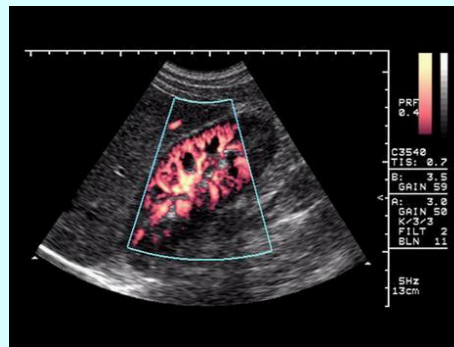
Tkv. VIII.41. ábra

## Színkódolás

transzducer felé: meleg színek,  
transzducertől elfelé: hideg színek



BART: Blue Away Red Towards



power Doppler

35

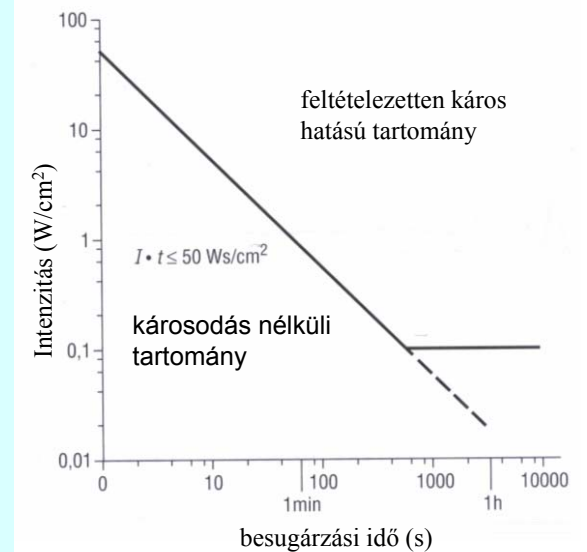
## Intenzitás – biológiai hatás

diagnosztika:

$10 \text{ mW/cm}^2 =$   
 $= 100 \text{ W/m}^2$

vö. fájdalomküszöb:  $10 \text{ W/m}^2$

terápia:  $1 \text{ W/cm}^2$



## UH (mellék)hatásai

### Hőhatás

- Helyi termikus hatás arányos az UH intenzitásával
- $$\frac{dT}{dt} = \frac{2\alpha I}{\rho c}$$
- A sűrűbb izomszövet általában kevésbé melegszik, mint a zsír

### Kavitációs hatás

### Terápiás alkalmazások

- mikromasszázs - surlódás
- termikus hatás - súrlódás és abszorpció



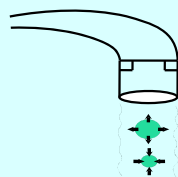
- izomlazítás
- fájdalomcsillapítás
- értágítás



### Fogkő eltávolítás



frekvencia tartomány:  
20 – 45 kHz



( $J < 300 \text{ mW/cm}^2$ )

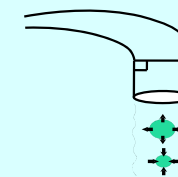
Gázbuborékok  
összenyomódása és  
kitágulása

A fogkő kavitáció hatására leválik a  
fogfelszínről.



A hőhatást is figyelembe  
kell venni.

### HIFU – high intensity focused ultrasound



( $J$  néhány  $\text{W/cm}^2$ )

Üregek keletkeznek  
és omlanak össze.

Több forrásból származó UH nyaláb  
fókuszában nagy intenzitás

(Lokálisan:  $T \sim 8000 \text{ K}$   
 $p \sim 109 \text{ Pa}$ )

Sejtek roncsolása – daganatok eltávolítása

*A hét kérdése*

Mit jelent a Doppler-eltolódás?

Kapcsolódó fejezetek:

*Damjanovich, Fidy, Szöllősi: Orvosi Biofizika*

II. 2.4.

VIII. 4.2.