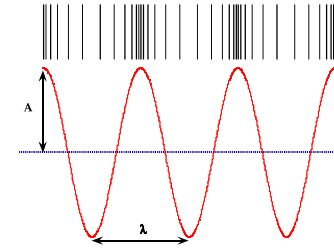


# HANG, ULTRAHANG

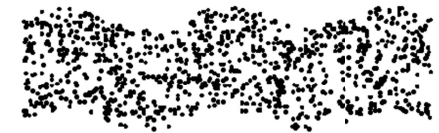
KELLERMAYER MIKLÓS

## HANG

Longitudinális  
mechanikai hullám  
(nyomáshullám)



Longitudinális hullám

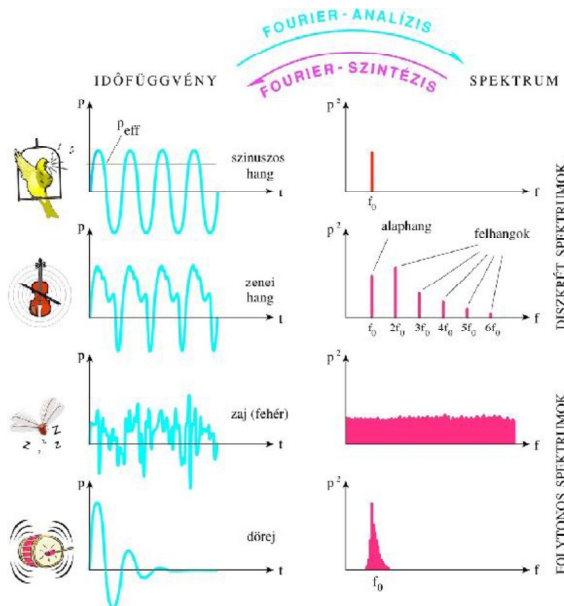


Tranzverzális hullám

Harmonikus rezgés:  $y(t) = A \sin(ft + \varphi)$

$y$ =aktuális nyomás;  $t$ =idő  
 $f$ =frekvencia (Hz);  $A$ =amplitudó  
 $\varphi$ =fáziseltolódás

## HANGOK ÉS SPEKTRUMAİK



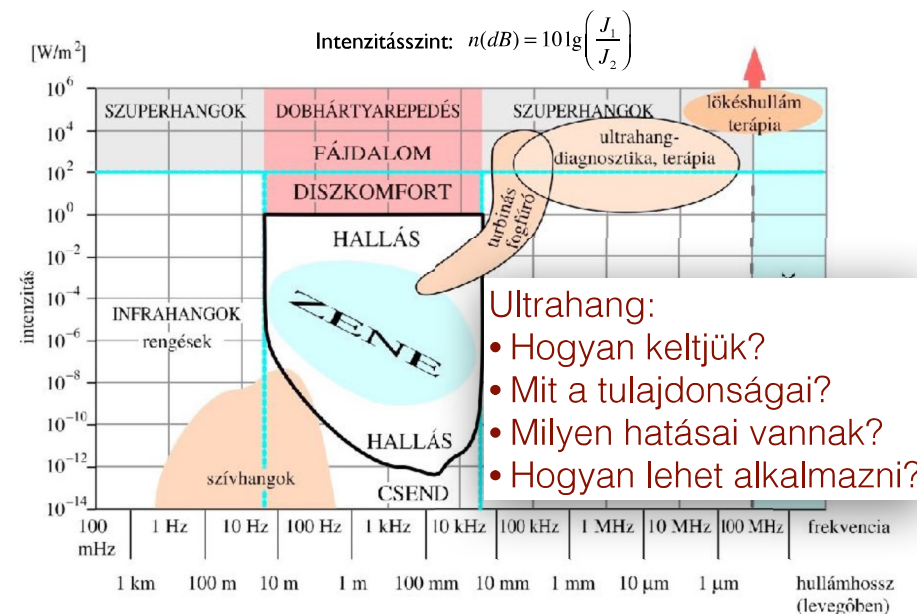
Fourier-tétel:  
bármely függvény felbontható  
egy szinuszos alaphűgűvű  
és felharmonikusai összegére

A Fourier analízis lépései:



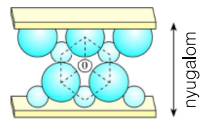
Oktáv - 2:1  
arányű  
frekvenciaköz

## HANGOK FREKVENCIÁJA ÉS INTENZITÁSA



# ULTRAHANG KELTÉSE ÉS DETEKTÁLÁSA: PIEZOELEKTROMOS HATÁSSAL

Piezoelektromosság (Pierre és Jacques Curie, 1880): "nyomás elektromosság"



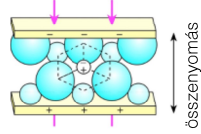
1. Direkt piezoelektromos hatás: elektromos polarizáció ( $P$ ), amely bizonyos kristályokban mechanikai deformáció hatására lép fel:

$$P = d \times \frac{F}{A}$$

$d$ =piezoelektromos együttható (m/V)  
 $F/A$ =feszültség



Alkalmazás: ultrahang detektálása, piezoelektromos gázgyújtó



2. Inverz piezoelektromos hatás: elektromos tér hatására fellépő alakváltozás, deformáció:

$$\frac{\Delta l}{l} = E \times d$$

$\Delta l/l$ =megnyúlás  
 $E$ =elektromos tér  
 $d$ =piezoelektromos együttható

Alkalmazás: ultrahang keltése

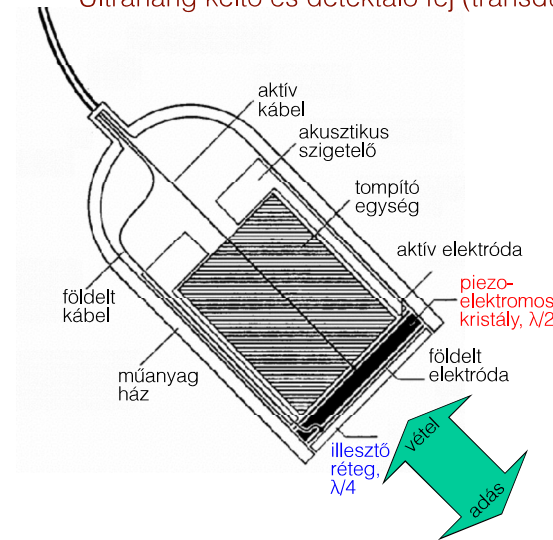
Rezonancia: a váltófeszültség frekvenciája megegyezik a kristály saját frekvenciájával. Típusos ultrahang frekvencia > 1 MHz.

Gyakran használt piezoelektromos kristályok: kvarc ( $d=3 \times 10^{-12}$  m/V), ammónium-dihidrogén foszfát, ólom-cirkónium-titanát (PZT), stb.

Elektromos polarizáció mechanikai deformáció hatására. Alapja: + és - töltések súlypontjai térben szétváltnak.

# AZ ULTRAHANG TRANSZDUCER

Ultrahang keltő és detektáló fej (transducere ~ átvinni, átalakítani)



Alkalmazás függvényében változatos alakú és szerkezetű UH transzducerek.

# AZ ULTRAHANG TULAJDONSÁGAI: TERJEDÉS

Feltétel: rugalmas közeg!

Terjedési sebesség ( $S$ , v, c):

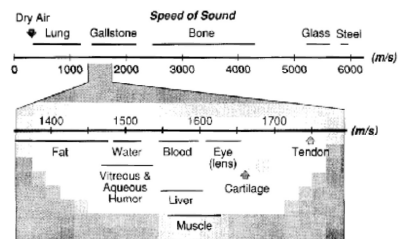
$$S = f \lambda = \frac{\lambda}{T}$$

Gázokban és folyadékokban kizárólag longitudinális hullámként, szilárd közegben tranverzális hullámként is terjedhet.

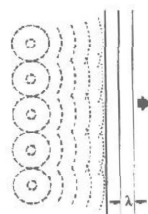
A sebesség a közeg tulajdonságaitól függ:

$$S = \sqrt{\frac{Y}{\rho}} = \sqrt{\frac{1}{\kappa \rho}}$$

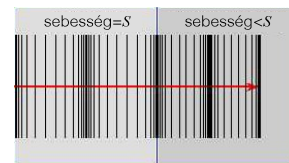
$Y$  = Young-féle modulus  
 $\rho$  = a közeg sűrűsége  
 $\kappa$  = a közeg összenyomhatósága (kompresszibilitás)



Ultrahang terjedési sebessége különböző közegekben



Hullámfront kialakulása: Huygens-elv alapján



Terjedés során a frekvencia nem változik. Csökkent sebesség esetén a hullámhossz csökken.

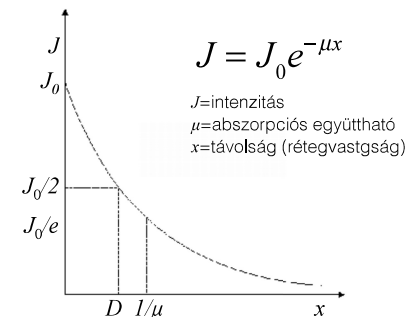
# AZ ULTRAHANG TULAJDONSÁGAI: ATTENUÁCIÓ

Attenuáció: Intenzitás csökkenése, "gyengülés"

1.  $1/r^2$  törvény ("inverz négyzetes törvény"): az intenzitás a távolság négyzetével fordított arányban csökken (a hangteljesítmény gömbfelületen oszlik el).

2. Abszorpció:

Mechanizmus: a. inkoherens molekuláris mozgások (hő), b. közeg viszkozitása A frekvenciával nő.



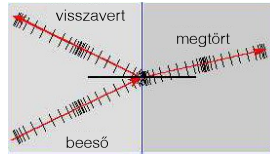
Anyag	$D$ ( $f=1$ MHz)
Levegő	~1 cm
Víz	néhány m

# AZ ULTRAHANG TULAJDONSÁGAI: REFRAKCIÓ ÉS REFLEXIÓ

## Refrakció

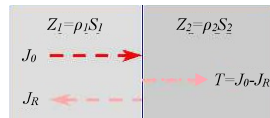
Törés olyan közegek határán, amelyekben a terjedési sebesség különbözik. A refrakció nő a beesési szöggel. Snellius-Descartes törvény:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{S_1}{S_2}$$



## Reflexió

Az akusztikus energia egy része visszaverődik olyan közegek határáról, amelyek akusztikus impedanciái eltérnek. A visszavert energia nő az akusztikus impedancia-különbséggel. Bizonyos közeghatárokon teljes visszaverődés léphet fel.



$Z = \rho S$   
 $Z$  = akusztikus impedancia (rayl)  
 $\rho$  = sűrűség  
 $S$  = terjedési sebesség

Reflektivitás (reflexiók együttható):

$$R = \frac{J_R}{J_0} = \left( \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \right)^2 \quad Z = \rho S$$

határfelület	R
izom/vér	0,001
zsír/máj	0,006
zsír/izom	0,01
csont/izom	0,41
csont/zsír	0,48
lég szövet/levegő	0,99

„Teljes” visszaverődés:  
 $Z_1 \ll Z_2, R \approx 1$

Optimális csatolás:  
 $Z_{\text{csatoló}} \approx \sqrt{Z_{\text{forrás}} Z_{\text{bőr}}}$



## AZ ULTRAHANG HATÁSAI

### Primer hatások

1. Kavitáció: (üregképződés; cavum = üreg) molekulák közötti kohéziós erők leküzdésekor keletkező, rövid élettartamú üregek. Szonolumineszcencia: az üreg összeesése során fellépő fényemisszió. Mechanizmusa:
  - hanghullám nyomáscsökkenéssel járó fázisában (expanzív fázis) buborékképződés (5-70  $\mu\text{m}$ ).
  - a nyomásnövekedés fázisában (kompresszív fázis) a buborék zsugorodik.
  - a buborék belső hőmérséklete a 20.000-30.000 °K-t is elérheti.
  - a buborékban maradt, gerjesztett nemesgázok (Ar, Xe) fényt emittálnak.



Világító buborék ultrahanggal besugározott folyadékban (több MHz)

2. Hangsugárnyomás: a hullám terjedése útjában álló akadályra (pl. víz-levegő határfelület) ható, a hangintenzitással egyenesen arányos nyomás.
3. Abszorpció: a közeg általi energia-elnyelés, mely a közeg felmelegedéséhez vezet (távolsággal és frekvenciával nő).

### Szekunder hatások

1. Mechanikai: közegben levő részecskék együttrezgése révén (diszperzió, tisztítás...)
2. Kémiai: abszorpció -> gerjesztés kémiai folyamatokat indukálhat (oxidáció, pl. jód kiválása KI oldatból).
3. Biológiai: komplex - baktericid, fungicid, virucid, stb.

# AZ ULTRAHANG TULAJDONSÁGAI: DOPPLER-EFFEKTUS

Mozgó hangforrás esetében az érzékelt frekvencia megváltozik:

- közeledő hangforrás esetében: érzékelt frekvencia nő.
- távolodó hangforrás esetében: érzékelt frekvencia csökken.



Christian Andreas Doppler  
 (1803 - 1853)

Frekvencia eltolódás: Doppler-féle eltolódás (Doppler shift)

A Doppler eltolódás mértéke:

$$f_o = f_s \frac{S + v_o}{S - v_s}$$

$f_o$ : érzékelt frekvencia  
 $f_s$ : forrás frekvenciája  
 $S$ : hang terjedési sebessége  
 $v_o$ : a megfigyelő sebessége  
 $v_s$ : a hangforrás sebessége



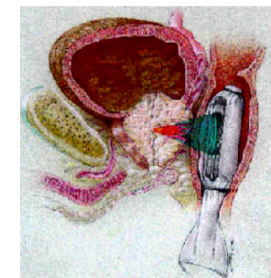
## A ULTRAHANG TERÁPIÁS ALKALMAZÁSAI

Az ultrahang terápiás hatásai elsősorban a fizikai hatásaira épülnek.

1. Lokális melegítés

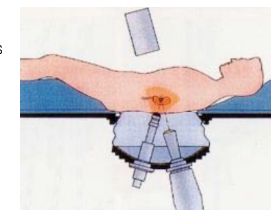
2. Mikromasszázs

3. High Intensity Focused Ultrasound (HIFU):  
 Prosztata tumor összeűzása



HIFU

Lökéshullám terápia (nem UH!)  
 ESWL (Extracorporeal Shockwave Lithotripsy) Vesekőzúzás



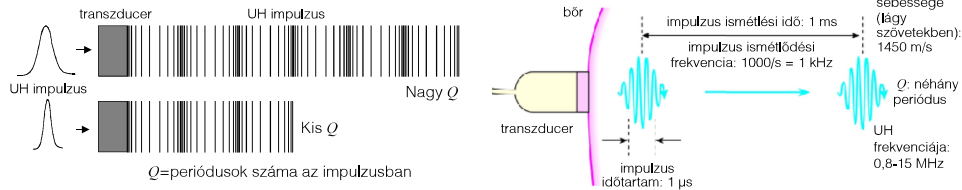
ESWL

4. Fizikoterápia

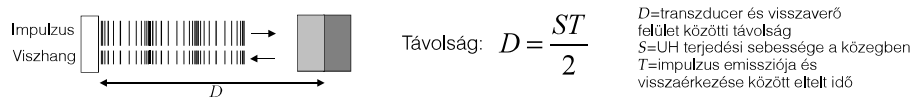
# AZ ULTRAHANG DIAGNOSZTIKUS ALKALMAZÁSAI

Képalkotó eljárás. Alapja a szövetek, határfelületek differenciális abszorpciója és reflexiója (a szövetek különböző akusztikus impedanciája).

## 1. Impulzus-visszhang elv



## 2. Távmérs mérés ultrahanggal

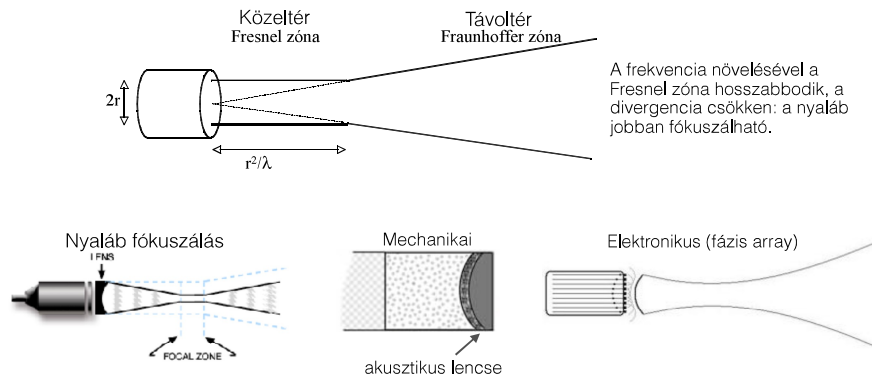


# AZ ULTRAHANG DIAGNOSZTIKUS ALKALMAZÁSAI

## 4. Idő-erősítés kompenzáció

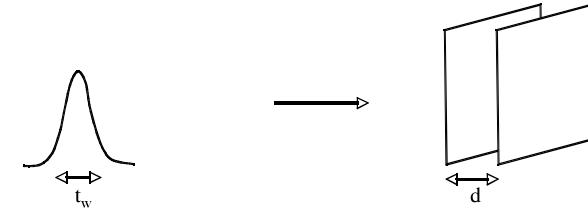
Az intenzitás a távolsággal csökken (attenuáció). Az akusztikus attenuáció részlegesen kompenzálható a detektált jel felerősítésével. Az ultrahang impulzus után az erősítés az eltelt idő függvényében nő.

## 5. Az ultrahang nyaláb



# AZ ULTRAHANG DIAGNOSZTIKUS ALKALMAZÁSAI

## 3. Axiális (tengelyirányú) felbontás



A d axiális távolság felbontásának feltétele:  $St_w < 2d$

Adott frekvencia esetében az axiális feloldás javul Q csökkenésével. Adott Q esetében az axiális feloldás javul a frekvencia növelésével.

# AZ ULTRAHANG DIAGNOSZTIKUS ALKALMAZÁSAI

## 6. Ultrahang képalkotó üzemmódok:

### A-mód (Amplitúdó-modulált):

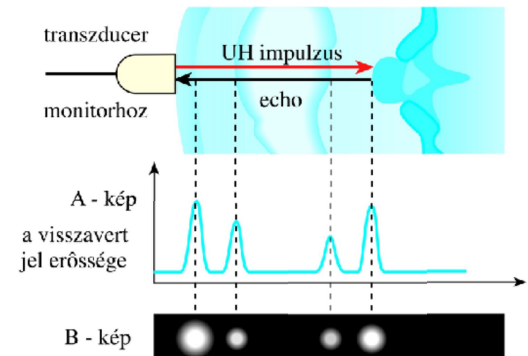
Egyetlen transzducer, egy vonalban terjedő UH nyaláb.

A visszhangot mint feszültségimpulzust jelenítjük meg oszcilloszkópon:

### B-mód (Brightness):

A feszültség impulzusokat szürke pontokként jelenítjük meg.

A szürke intenzitás a feszültséggel arányos. Nagyobb az amplitúdó, világosabb a pont.





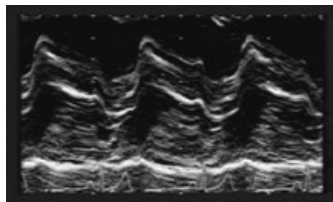
## AZ ULTRAHANG DIAGNOSZTIKUS ALKALMAZÁSAI

M-mód (time Motion)

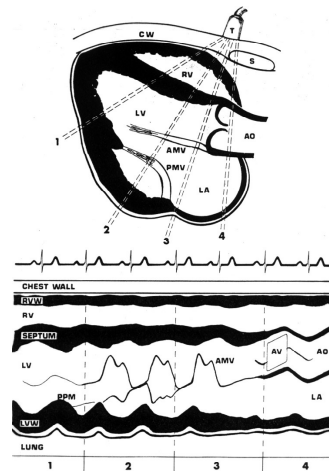
Periódikus mozgás időbeliségének ábrázolása (pl. echokardiográfia)

X-tengelyen: idő

Y-tengelyen: 1D B-módú kép (vonal)



Mitral stenosis



## AZ ULTRAHANG DIAGNOSZTIKUS ALKALMAZÁSAI

Egy-dimenziós képkalkító üzemmódok: Összehasonlítás



Impulzus-  
visszhang



A-mode



B-mode



M-mode

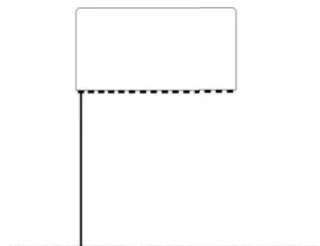
Staples

Képkalkító  
üzemmódok

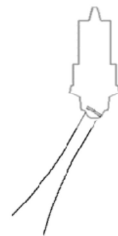
## AZ ULTRAHANG DIAGNOSZTIKUS ALKALMAZÁSAI

2-dimenziós B-mód (Brightness)

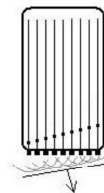
Két-dimenziós sík pásztázása történik.



"Linear array"  
(vonalba rendezett apró piezo  
kristályok százai)



Mechanikai pásztázás  
(egyetlen piezo kristály  
vonalm menti pásztázása)

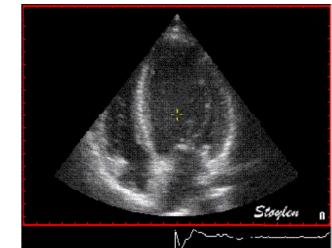
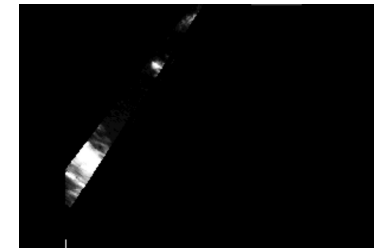


Elektronikus pásztázás  
(fázis array)

## AZ ULTRAHANG DIAGNOSZTIKUS ALKALMAZÁSAI

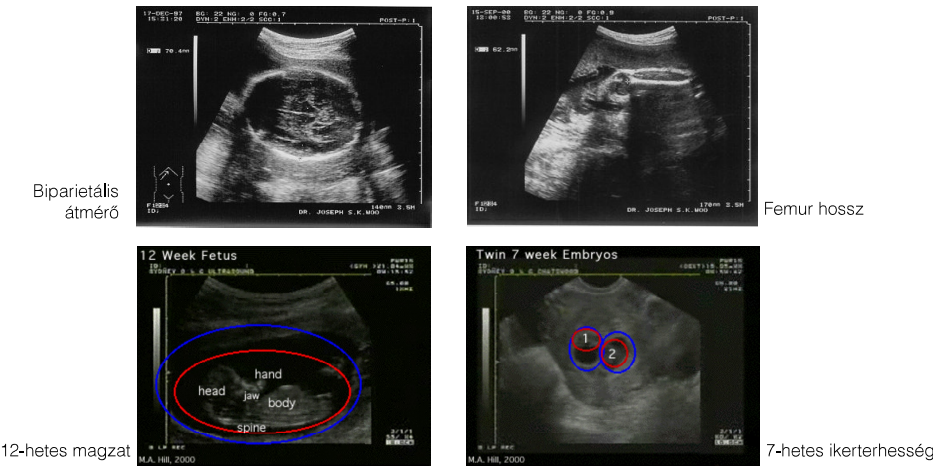
2-dimenziós B-mód (Brightness)

Gyors pásztázással valós idejű képek rögzítése lehetséges.



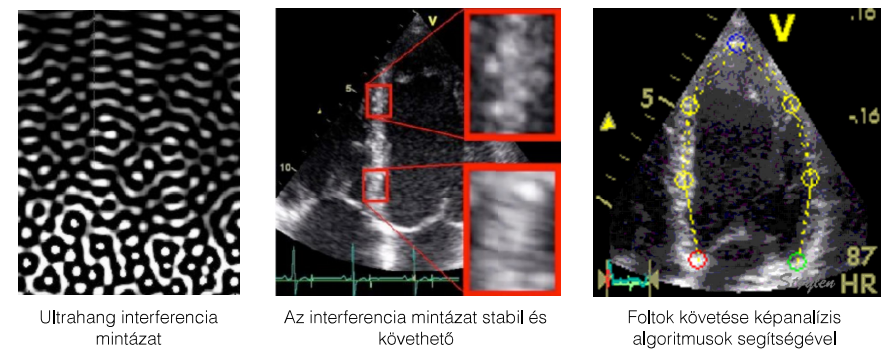
# AZ ULTRAHANG DIAGNOSZTIKUS ALKALMAZÁSAI

A 2D B mód alkalmazása szülészetben  
Gesztációs kor, fejlődési rendellenességek, placenta elhelyezkedés, foetus pozíció.



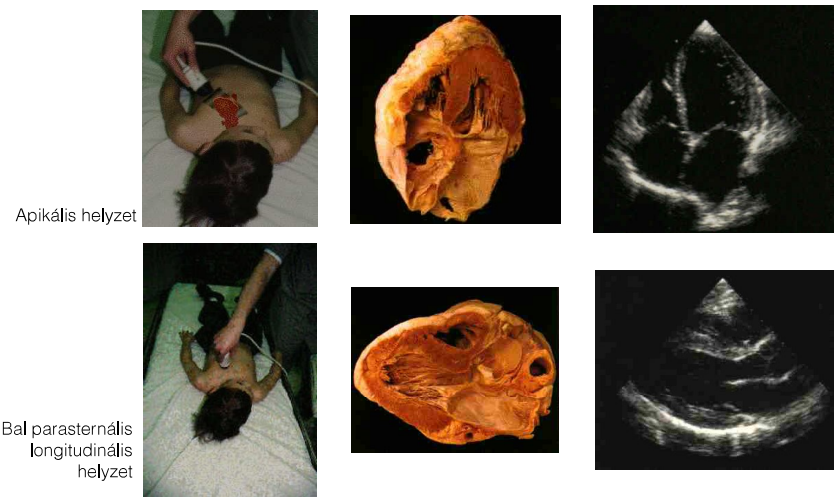
# AZ ULTRAHANG DIAGNOSZTIKUS ALKALMAZÁSAI

A 2D B mód alkalmazása kardiológiában  
Speckle tracking; folt követés



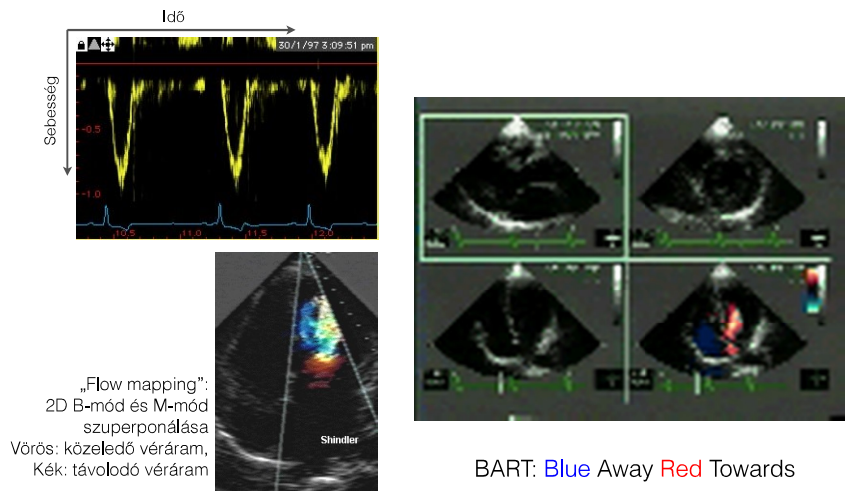
# AZ ULTRAHANG DIAGNOSZTIKUS ALKALMAZÁSAI

A 2D B mód alkalmazása kardiológiában



# AZ ULTRAHANG DIAGNOSZTIKUS ALKALMAZÁSAI

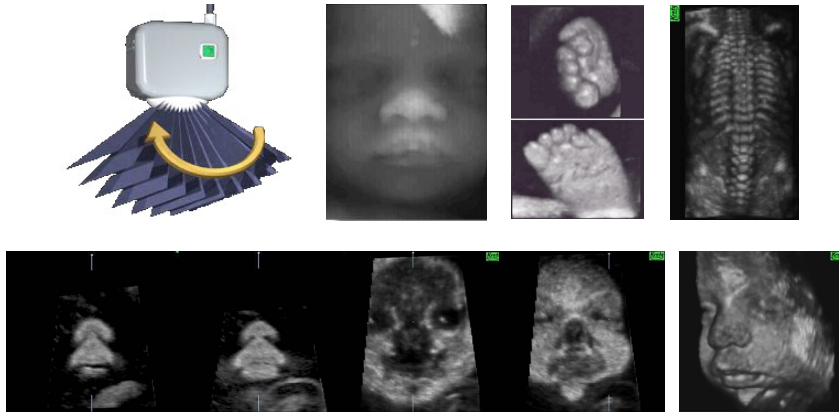
Kardiológiai alkalmazások: Doppler kardiográfia



# AZ ULTRAHANG DIAGNOSZTIKUS ALKALMAZÁSAI

## 3-dimenziós ultrahang

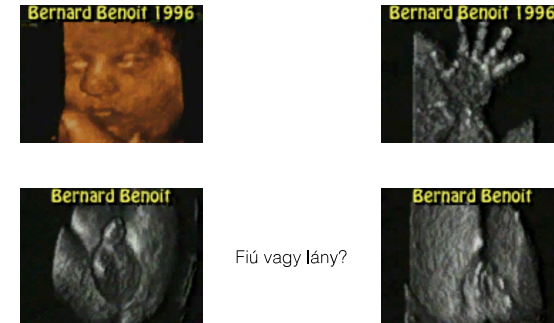
Gyors, legyezőszerűen elforduló pásztázó egység.  
Számítógépes képrekonstrukció.



# AZ ULTRAHANG DIAGNOSZTIKUS ALKALMAZÁSAI

## 3-dimenziós ultrahang

A térbeli információ tetszés szerint prezentálható, manipulálható.



# AZ ULTRAHANG DIAGNOSZTIKUS ALKALMAZÁSAI

## 4-dimenziós ultrahang: időfüggő 3D ultrahang

