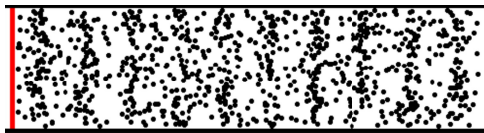
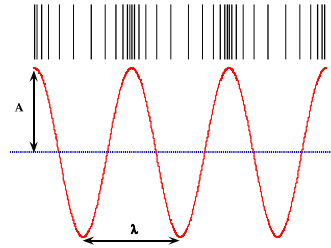


HANG, ULTRAHANG

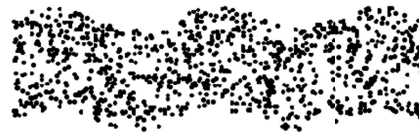
KELLERMAYER MIKLÓS

HANG

Longitudinális
mechanikai hullám
(nyomáshullám)



Longitudinális hullám

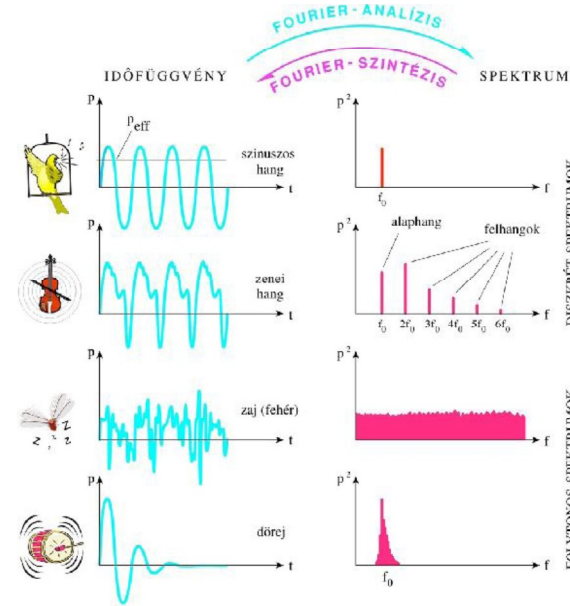


Tranzverzális hullám

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

y =aktuális nyomás; t =idő
 f =frekvencia (Hz); A =amplitúdó
 φ =fáziseltolódás

HANGOK ÉS SPEKTRUMAİK



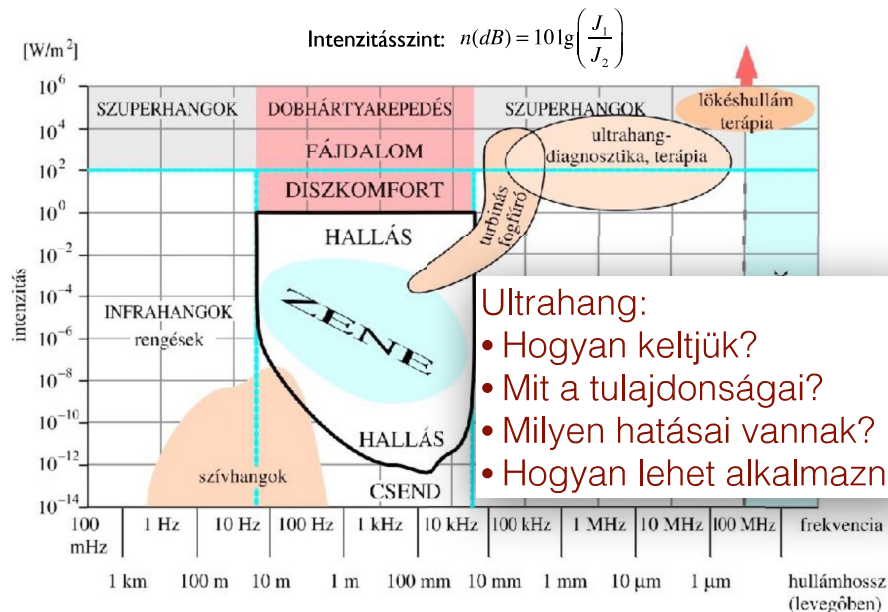
Fourier-tétel:
bármely függvény felbontható
egy szinuszos alpfüggvény
és felharmonikusai összegére

A Fourier analízis lépései:



Oktáv - 2:1
arányú
frekvenciaköz

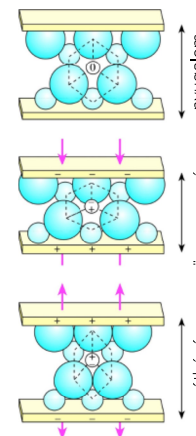
HANGOK FREKVENCIÁJA ÉS INTENZITÁSA



Ultrahang:
• Hogyan keltjük?
• Mit a tulajdonságai?
• Milyen hatásai vannak?
• Hogyan lehet alkalmazni?

ULTRAHANG KELTÉSE ÉS DETEKTÁLÁSA: PIEZOELEKTROMOS HATÁSSAL

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



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

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

$$P = d \times \frac{F}{A} \quad \begin{matrix} d = \text{piezoelektromos} \\ \text{együttható (m/V)} \\ F/A = \text{feszültség} \end{matrix}$$

Alkalmazás: ultrahang detektálása,
piezoelektromos gázgyújtó



Akár kV-os feszültség

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

$$\frac{\Delta l}{l} = E \times d \quad \begin{matrix} \Delta l/l = \text{megnyúlás} \\ E = \text{elektromos tér} \\ d = \text{piezoelektromos} \\ \text{együttható} \end{matrix}$$

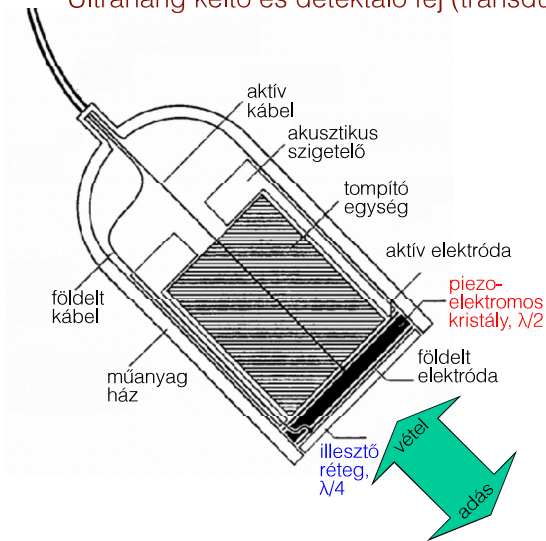
Alkalmazás: ultrahang keltése

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.

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):

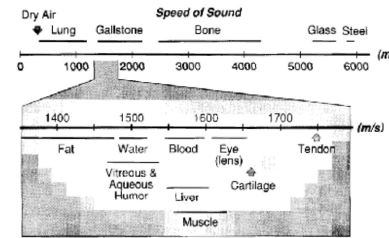
$$S = f\lambda = \frac{\lambda}{T}$$

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

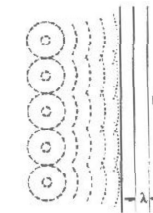
A sebesség a közeg tulajdonságaitól függ:

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

Y = Young-féle modulus
 ρ = a közeg sűrűsége
 κ = 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.

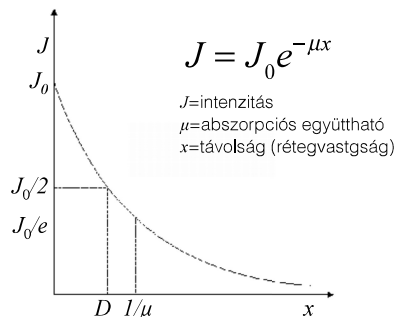
AZ ULTRAHANG TULAJDONSÁGAI: ATTENUÁCIÓ

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.



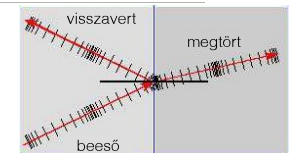
| Anyag | D ($f=1$ MHz) |
|--------|------------------|
| Levegő | ~1 cm |
| Víz | néhány m |

AZ ULTRAHANG TULAJDONSÁGAI: REFRAKCIÓ ÉS REFLEXIÓ

Refrakció

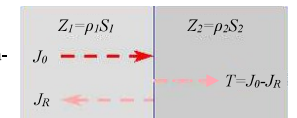
Törés olyan közegek határán, amelyekben a terjedési sebesség különbözik. A refrakció nő a beesési szöggel.
 Snellius-Descartes törvény:

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



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.



Reflektivitás (reflexió együttható):

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

Z = akusztikus impedancia (rayl)
 ρ = sűrűség
 S = terjedési sebesség

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

Optimális csatolás:

$$Z_{\text{csatoló}} \approx \sqrt{Z_{\text{forrás}} Z_{\text{bőr}}}$$

| határfelület | R |
|-------------------|-------|
| izom/vér | 0,001 |
| zsír/máj | 0,006 |
| zsír/izom | 0,01 |
| csont/izom | 0,41 |
| csont/zsír | 0,48 |
| lágyszövet/levegő | 0,99 |



AZ ULTRAHANG TULAJDONSÁGAI:

DOPPLER-EFFEKTUS

Mozgó hangforrás esetében az érzékelt frekvencia megváltozik:

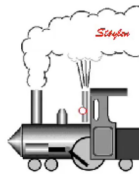
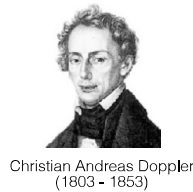
- közeledő hangforrás esetében: érzékelt frekvencia nő.
- távolodó hangforrás esetében: érzékelt frekvencia csökken.

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.

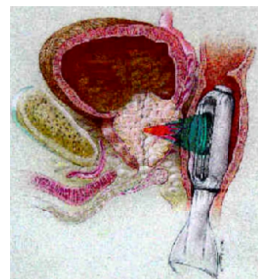
1. Lokális melegítés

2. Mikromassázs

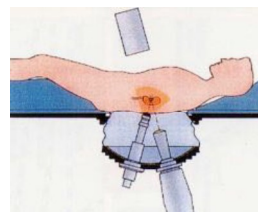
3. High Intensity Focused Ultrasound (HIFU):
Prosztata tumor összeűzása

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

4. Fizikoterápia



HIFU

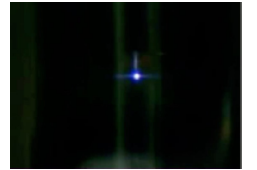


ESWL

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 μm).
 - 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 besugárzott 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).

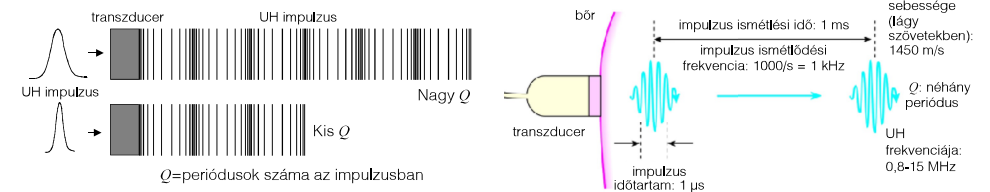
Szekunder hatások

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

AZ ULTRAHANG DIAGNOSZTIKUS ALKALMAZÁSAI

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

1. Impulzus-visszhang elv

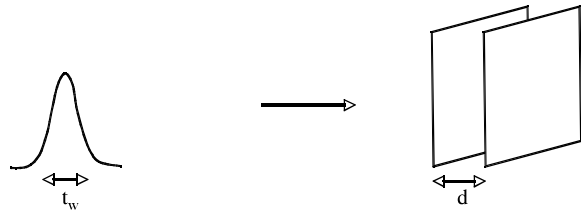


2. Távolságmérés ultrahanggal



AZ ULTRAHANG DIAGNOSZTIKUS ALKALMAZÁSAI

3. Axiális (tengelyirányú) felbontás



A d axiális távolság felbontásának feltétele: $\Delta z_w < 2d$

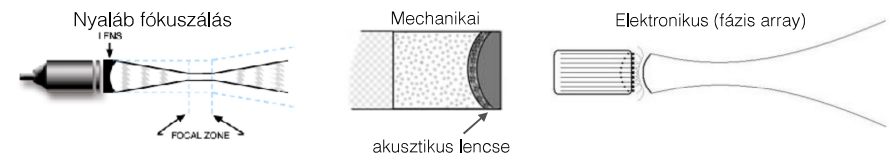
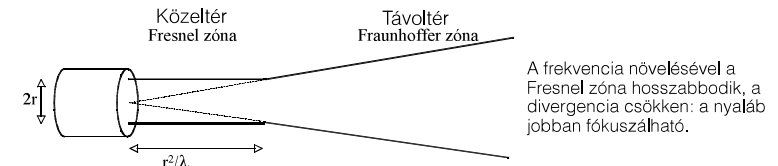
Adott frekvencia esetében az axiális feloldás javul Q csökkenésével.
Adott Q esetében az axiális feloldás javul a frekvencia növelésével.

AZ ULTRAHANG DIAGNOSZTIKUS ALKALMAZÁSAI

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 nyáláb

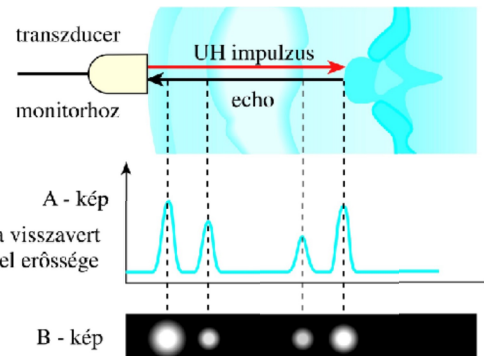


AZ ULTRAHANG DIAGNOSZTIKUS ALKALMAZÁSAI

6. Ultrahang képalkotó üzemmódok:

A-mód (Amplitúdó-modulált):

Egyetlen transzducer, egy vonalban terjedő UH nyáláb.
A visszhangot mint feszültségimpulzust jelenítjük meg oszcilloszkópon:



B-mód (Brightness):

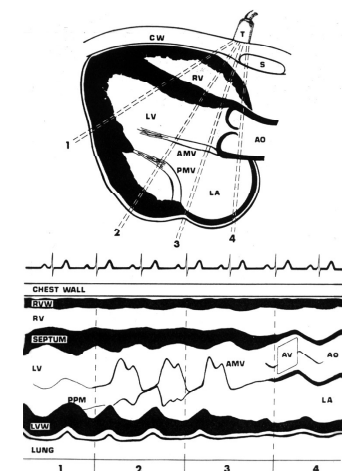
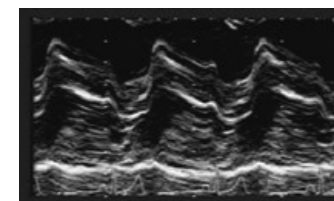
A feszültség impulzusokat szürke pontokként jelenítjük meg.
A szürke intenzitás a feszültséggel arányos.
Nagyobb az amplitúdó, világosabb a pont.

AZ ULTRAHANG DIAGNOSZTIKUS ALKALMAZÁSAI

M-mód (time Motion)

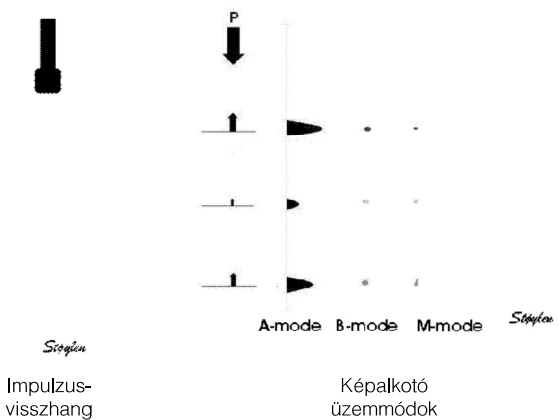
Periódikus mozgás időbeliségének ábrázolása (pl. echokardiográfia)

X-tengelyen: idő
Y-tengelyen: 1D B-módú kép (vonallal)



AZ ULTRAHANG DIAGNOSZTIKUS ALKALMAZÁSAI

Egy-dimenziós képkalkító üzemmódok: Összehasonlítás



AZ ULTRAHANG DIAGNOSZTIKUS ALKALMAZÁSAI

2-dimenziós B-mód (Brightness)

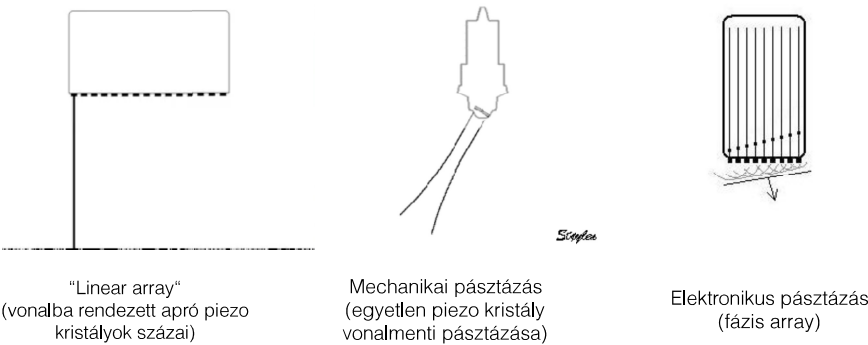
Gyors pásztázással valós idejű képek rögzítése lehetséges.



AZ ULTRAHANG DIAGNOSZTIKUS ALKALMAZÁSAI

2-dimenziós B-mód (Brightness)

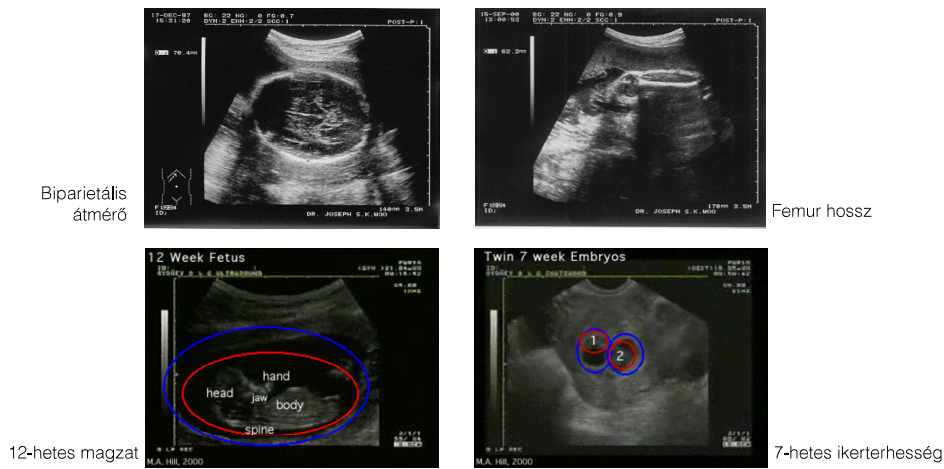
Két-dimenziós sík pásztázása történik.



AZ ULTRAHANG DIAGNOSZTIKUS ALKALMAZÁSAI

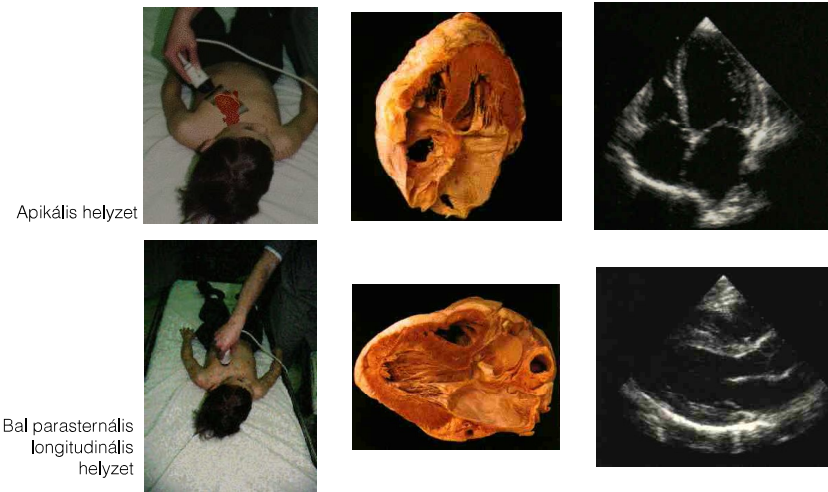
A 2D B mód alkalmazása szülészetben

Gesztációs kor, fejlődési rendellenességek, placenta elhelyezkedés, foetus pozíció.



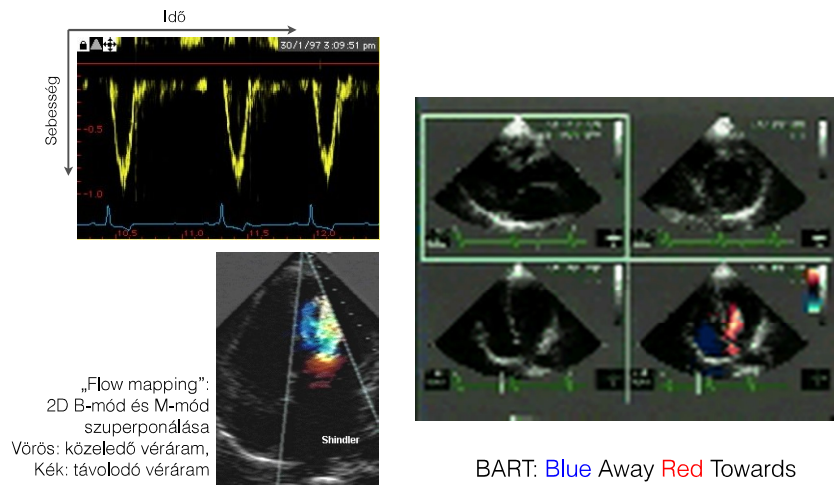
AZ ULTRAHANG DIAGNOSZTIKUS ALKALMAZÁSAI

A 2D B mód alkalmazása kardiológiában



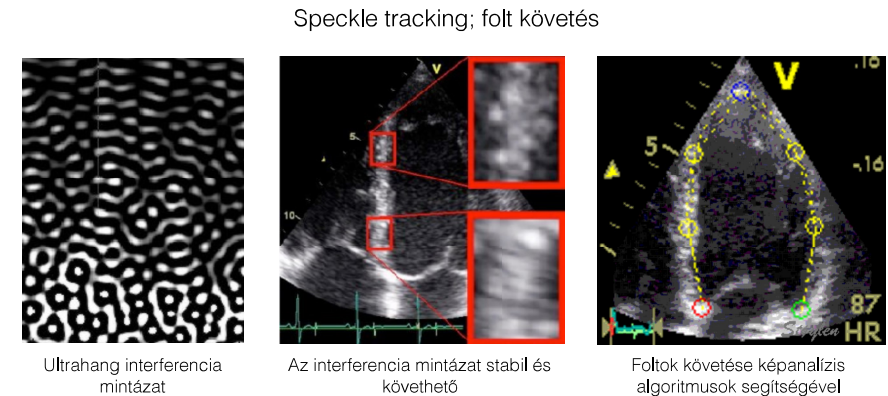
AZ ULTRAHANG DIAGNOSZTIKUS ALKALMAZÁSAI

Kardiológiai alkalmazások: Doppler kardiográfia



AZ ULTRAHANG DIAGNOSZTIKUS ALKALMAZÁSAI

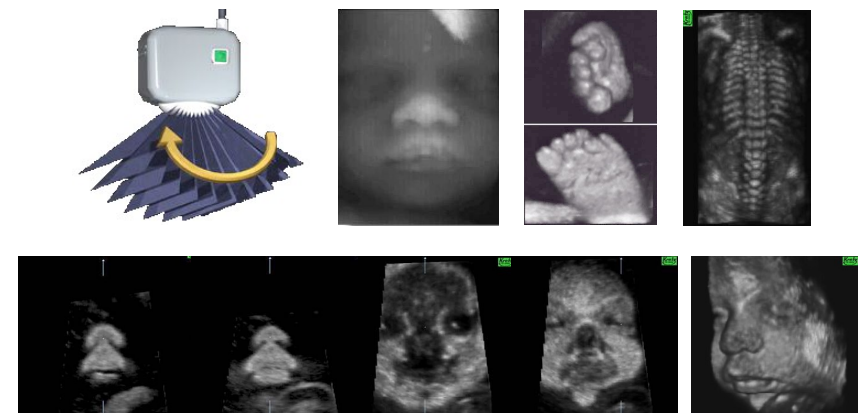
A 2D B mód alkalmazása kardiológiában



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.



Fiú vagy lány?



AZ ULTRAHANG DIAGNOSZTIKUS ALKALMAZÁSAI

4-dimenziós ultrahang: időfüggő 3D ultrahang



Ásító magzat



Mosolygó magzat

