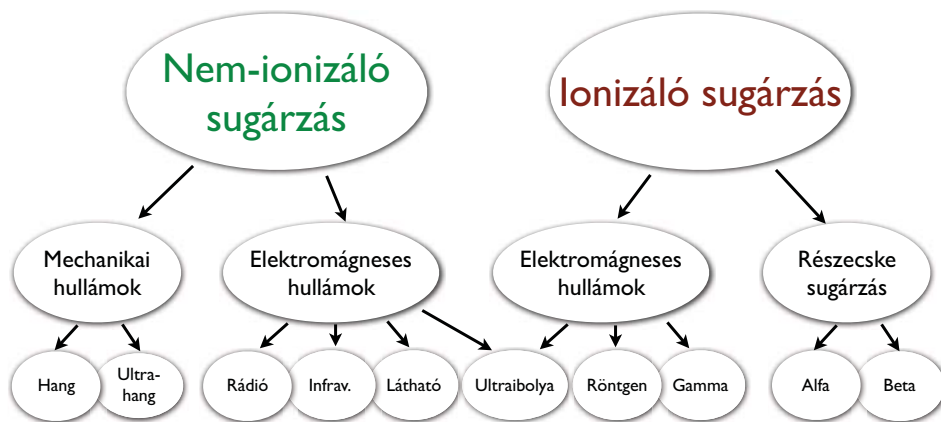


HANG, ULTRAHANG

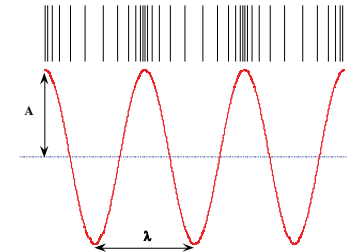
KELLERMAYER MIKLÓS

SUGÁRZÁSOK FAJTÁI



HANG

Longitudinális
mechanikai hullám
(nyomáshullám)



Longitudinális hullám

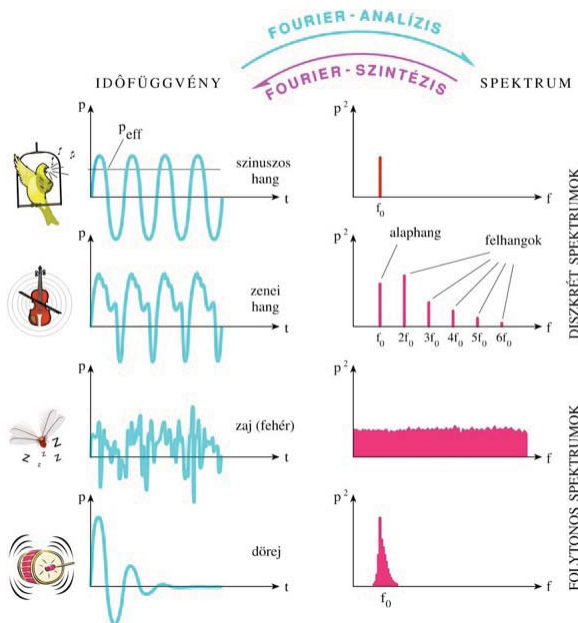


Tranzverzális hullám

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

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

HANGOK ÉS



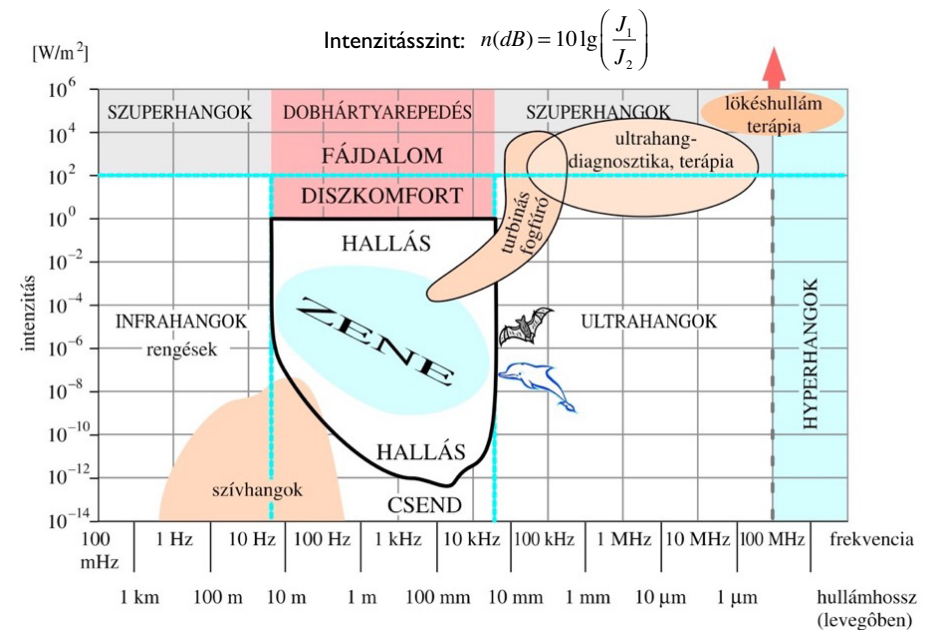
Fourier-tétel:
bármely függvény felbontható
egy szinuszos alappfüggvény és
felharmonikusai összegére

A Fourier analízis lépései:



Oktáv - 2:1
arányú
frekvenciakö
Z

HANGOK FREKVENCIÁJA ÉS INTENZITÁSA



ULTRAHANG

- Ultrahang keltése és fizikai tulajdonságai
Ultrahang keltése és detektálása
Az ultrahang fizikai tulajdonságai
- Az ultrahang hatásai
Primer
Szekunder
- Az ultrahang orvosi alkalmazásai
Terápia
Diagnosztika

AZ ULTRAHANG RUGALMAS KÖZEGBEN TERJED

Terjedési sebesség (S, v, c):

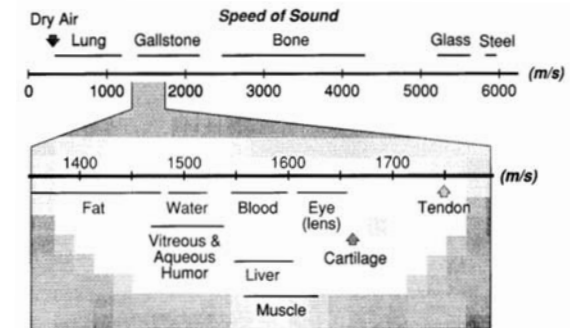
$$S = f\lambda = \frac{\lambda}{T}$$

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

A közeg tulajdonságaitól függ:

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

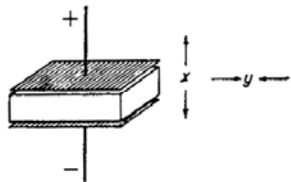
Y = Young-féle modulus
ρ = a közeg sűrűsége
κ = a közeg összenyomhatósága (kompresszibilitás)



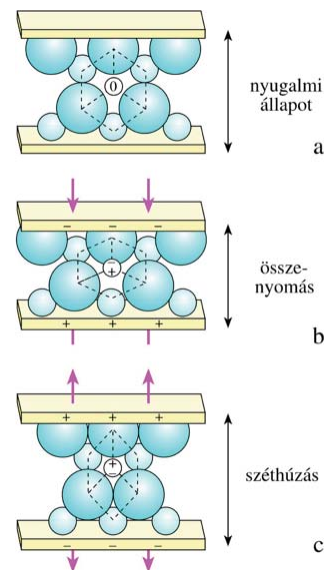
ULTRAHANG KELTÉSE

A. Inverz piezoelektromos hatás

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



Bizonyos kristályokban elektromos polarizáció lép fel mechanikai deformáció hatására. Elektromos polarizáció alapja: + és - töltések **súlypontjai** a deformáció hatására térben szétválhatnak.



ULTRAHANG KELTÉSE

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



Piezoelektromos gázgyújtóban akár kV-os feszültség

Inverz piezoelektromos hatás:

elektromos tér hatására fellépő alakváltozás, deformáció:

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

Δl/l= megnyúlás
E= elektromos tér
d=piezoelektromos együttható

Rezonancia lép fel, ha az alkalmazott váltófeszültség frekvenciája megegyezik a kristály saját frekvenciájával (rezonancia frekvencia). Típusos ultrahang frekvencia >1 MHz.

Gyakran használt piezoelektromos kristályok: kvarc (d=3x10⁻¹² m/V), ammónium-dihidrogén foszfát, ólom-cirkónium-titanát (PZT), stb.

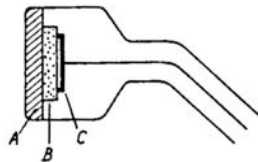
B. Magnetostrikció

Ferromágneses testek deformációja mágneses térben. Rezonancia lép fel, ha a periódusosan változó mágneses tér frekvenciája megegyezik a kristály saját frekvenciájával.

ULTRAHANG DETEKTÁLÁSA

Direkt piezoelektomos hatás segítségével.

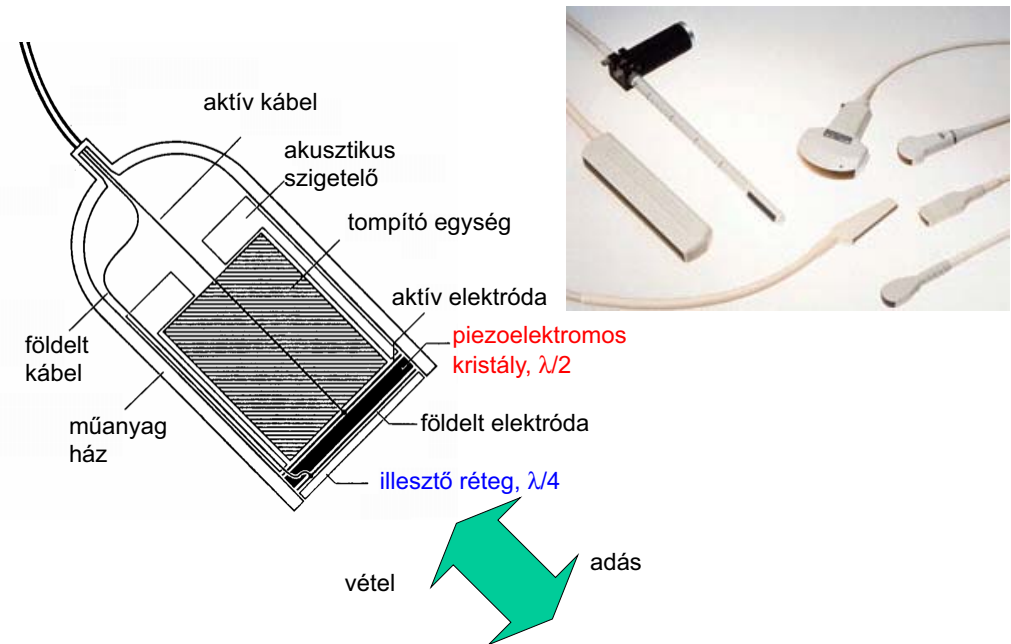
Transzducer: ultrahang keltő és detektáló fej.



A, fedőlemez, B, kristály, C, elektróda.



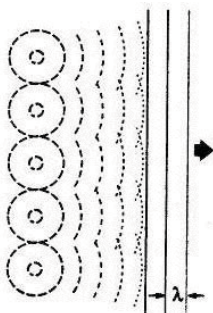
AZ UH FORRÁS FELÉPÍTÉSE



AZ ULTRAHANG TULAJDONSÁGAI

A. Terjedés

Diffrakció, elhajlás; Huygens-féle elv (a hullámfront pontjai újabb hullámok forrásai).
A frekvencia állandó marad terjedés közben.
A hullámhossz a sebességgel arányosan változik.



A frekvencia nem változik, ezért a hullámhossz csökken a csökkenő sebességgel.

Az intenzitás a közegben megtett távolsággal csökken.
Az ultrahang visszaverődik és megtörik olyan közegek határán, amelyekben a terjedési sebesség különbözik.

AZ ULTRAHANG TULAJDONSÁGAI

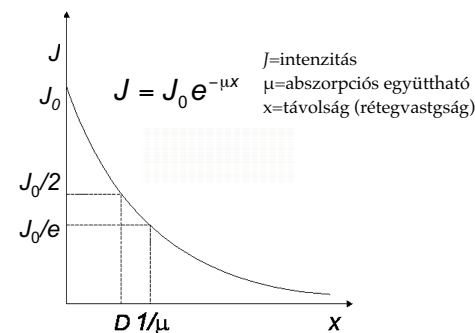
B. Attenuáció

Intenzitás csökkenése

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



Az abszorpció nő a frekvenciával és a megtett távolsággal.

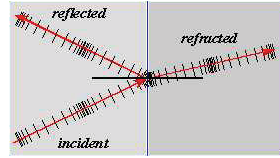
Felező rétegvastagság (D , 1 MHz-nél):
Levegő 1 cm
Víz néhány méter

AZ ULTRAHANG TULAJDONSÁGAI

C. Refrakció

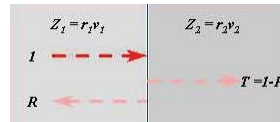
Törés olyan közegek határán, amelyekben a terjedési sebesség különbözik. A refrakció nő a beesési szöggel. Snellius-Descartes törvény:

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



D. Reflexió

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



Reflektivitás:

$$R = \left(\frac{z_1 - z_2}{z_1 + z_2} \right)^2$$

z = akusztikus impedancia

Akusztikus impedancia:

$$z = \rho S$$

ρ = sűrűség

S = terjedési sebesség

z mértékegysége: rayl (Lord Rayleigh tiszteletére)

REFLEXIÓ (MERŐLEGES BEESÉS)

Reflexióképesség
(reflexiók együttható):

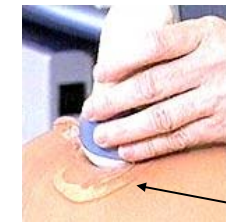
$$R = \frac{J_{\text{visszavert}}}{J_{\text{bejövő}}} = \left(\frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \right)^2$$

“Teljes” visszaverődés:

$$Z_1 \ll Z_2, \quad R \approx 1$$

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

E. Doppler-féle 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)

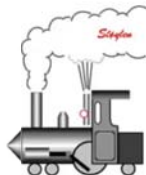


Christian Andreas Doppler
(1803 - 1853)

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



AZ ULTRAHANG HATÁSAI

A. Primer hatások

1. Kavitáció

(üregképződés; cavum = üreg): molekulák közötti kohéziós erők leküzdésekor keletkező, rövid élettartamú üregek.

Szonolumineszcencia: az üreg összeesése során fellépő fényemisszió.

SBSL: "single bubble sonoluminescence"

Mechanizmus:

- a. hanghullám nyomáscsökkenéssel járó fázisában (expanzív fázis) buborékképződés ($5-70 \mu\text{m}$).
- b. a nyomásnövekedés fázisában (kompresszív fázis) a buborék zsugorodik.
- c. a buborék belső hőmérséklete a $20.000-30.000^\circ\text{K}$ -t is elérheti.
- d. a buborékban maradt, gerjesztett nemesgázok (Ar, Xe) fényt emittálnak.

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.

Az abszorpció nő a frekvenciával és rétegvastagsággal:

$$J(x) = J_0 e^{-\mu x}$$

J = intenzitás

μ = abszorpciós együttható

x = távolság (rétegvastagság)

AZ ULTRAHANG HATÁSAI

B. Szekunder hatások

1. Mechanikai

közegben levő részecskék együttrezgése révén (diszperzió, tisztítás...)

2. Kémiai

abszorpció -> gerjesztés kémiai folyamatokat indukálhat (oxidáció, pl. jódkiválása KI oldatból).

3. Biológiai

(komplex; baktericid, fungicid, virucid, stb. hatások)

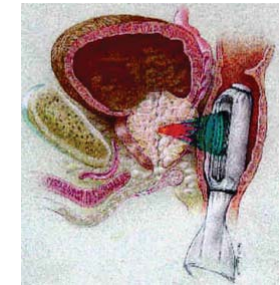
A ULTRAHANG TERÁPIÁS ALKALMAZÁSAI

Az ultrahang terápiás hatásai elsősorban a fizikai hatásaira épülnek.

1. Lokális melegítés

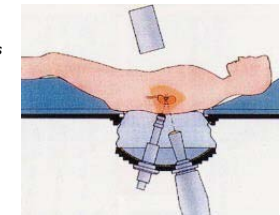
2. Mikromassázs

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



HIFU

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



ESWL

4. Fizikoterápia

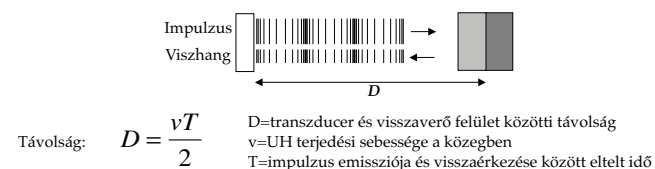
AZ ULTRAHANG DIAGNOSZTIKUS ALKALMAZÁSAI

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

1. Impulzus-visszhang elv



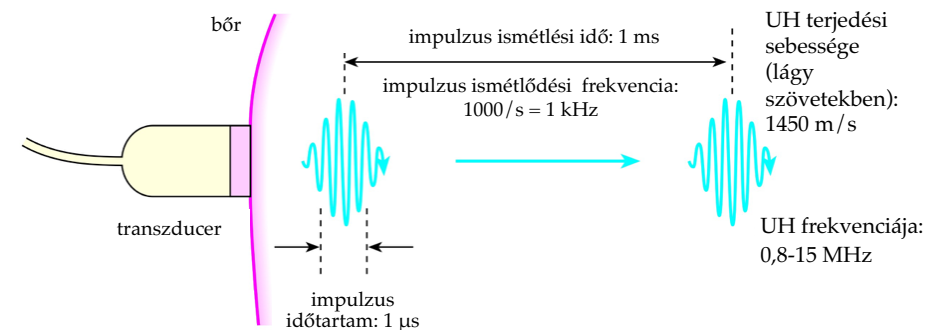
2. Távmérés ultrahanggal



UH frekvencia: néhány MHz; Impulzus frekvencia: 1 kHz; Impulzus szélesség: 1 μ s; Q= néhány periódus

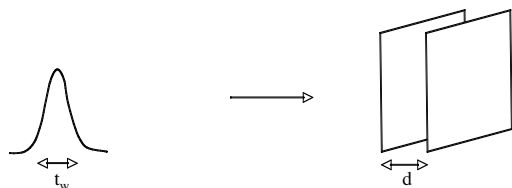
AZ UH IMPULZUSOK JELLEMZŐI

Transzducer: adó és vevő egyben
időbeli szétválasztás – folyamatos hullám helyett impulzusok



AZ ULTRAHANG DIAGNOSZTIKUS ALKALMAZÁSAI

3. Axiális (tengelyirányú) felbontás



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

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

AZ ULTRAHANG DIAGNOSZTIKUS ALKALMAZÁSAI

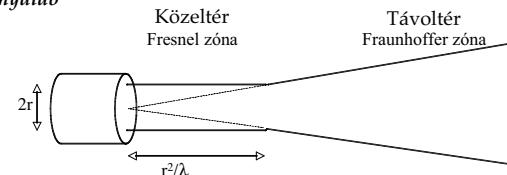
4. Idő-erősítés kompenzáció

Az intenzitás a távolsággal csökken (attenuáció).

Az akusztikus attenuáció részlegesen kompenzálható a detektált jel felerősítésével.

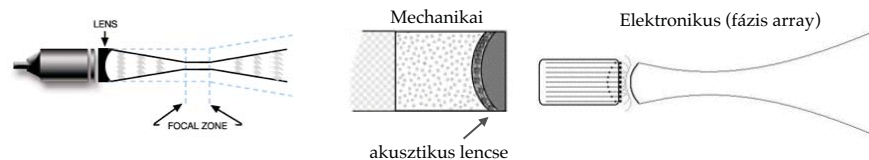
Az ultrahang impulzus után az erősítés az eltelt idő függvényében nő.

5. Az ultrahang nyaláb



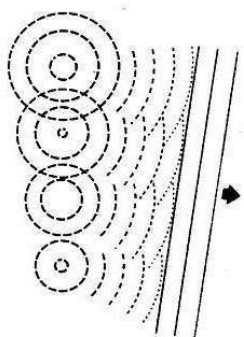
A frekvencia növelésével a Fresnel zóna hosszabbodik, a divergencia csökken: a nyaláb jobban fókuszálható.

Nyaláb fókuszálás



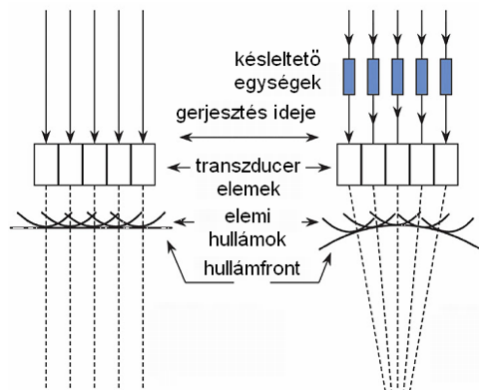
ELEKTRONIKUS FÓKUSZÁLÁS

Alapja a Huygens-elv



A hullámfront minden pontja elemi hullámok kiindulópontjának tekinthető. Az új hullámfront ezen elemi hullámok burkolóörbéje.

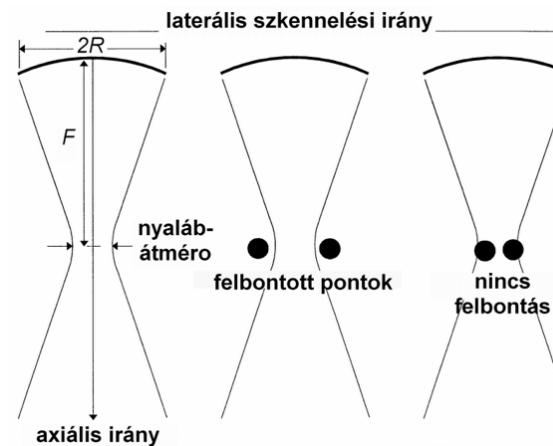
Fáziseltolással a hullámfront irányítható.



fókuszálatlan UH
nyaláb

fókuszált UH
nyaláb

A LATERÁLIS FELOLDÁS A FÓKUSZÁLÁSTÓL FÜGG



$$\left(\delta_{\text{lat}} \sim \frac{F}{2R} \cdot \lambda \right)$$

F : fókusz távolság
 $2R$: transzducer átmérő
 λ : hullámhossz

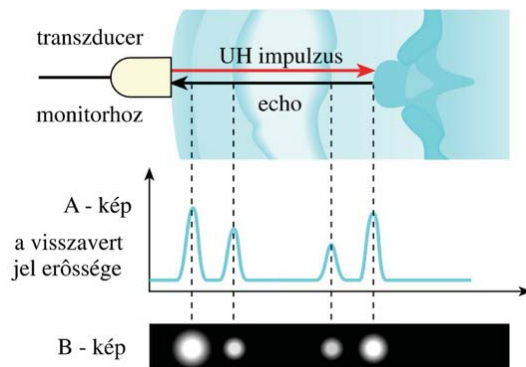
AZ ULTRAHANG DIAGNOSZTIKUS ALKALMAZÁSAI

6. Ultrahang képalkotó üzemmódok:

A-mód (Amplitúdó-modulált):

Egyetlen transzducer, egy vonalban terjedő UH nyaláb.

A visszhangot mint feszültségimpulzust jelentjük meg oszcilloszkópon:



B-mód (Brightness):

A feszültség impulzusokat szürke pontokként jelentjük meg.

A szürke intenzitás a feszültséggel arányos.

Nagyobb az amplitudó, világosabb a pont.

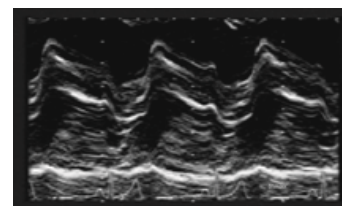
AZ ULTRAHANG DIAGNOSZTIKUS ALKALMAZÁSAI

M-mód (time Motion)

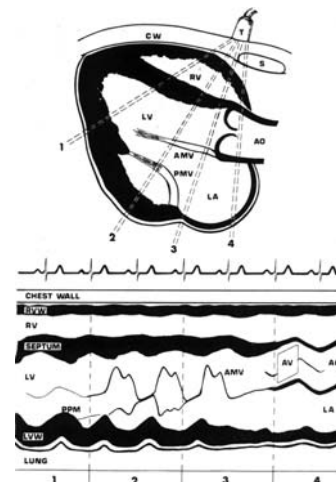
Periódikus mozgás időbeliségének ábrázolása (pl. echokardiográfia)

X-tengelyen: idő

Y-tengelyen: 1D B-módú kép (vonallal)

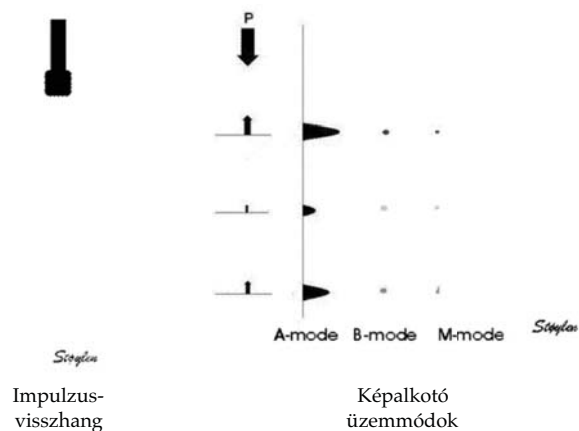


Mitral stenosis



AZ ULTRAHANG DIAGNOSZTIKUS ALKALMAZÁSAI

Egy-dimenziós képalkotó üzemmódok: Összehasonlítás



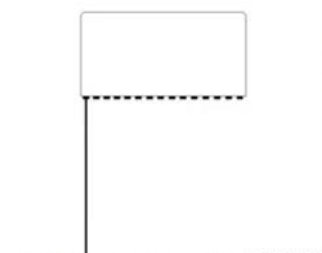
Impulzus-visszhang

Képalkotó üzemmódok

AZ ULTRAHANG DIAGNOSZTIKUS ALKALMAZÁSAI

2-dimenziós B-mód (Brightness)

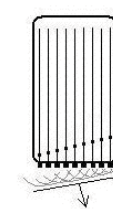
Két-dimenziós sík pásztázása történik.



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



Mechanikai pásztázás
(egyetlen piezo kristály vonalmenti pásztázása)

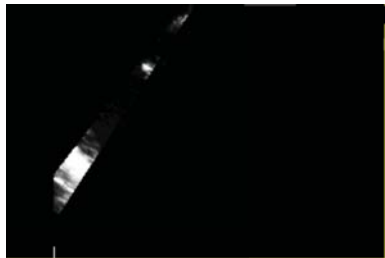


Elektronikus pásztázás
(fázis array)

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.

Biparietális
átmérő



Femur hossz



12-hetes magzat



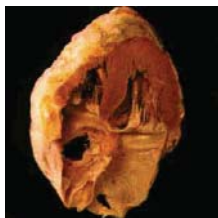
7-hetes ikerterhesség



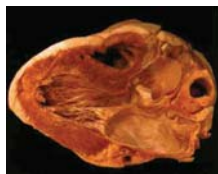
AZ ULTRAHANG DIAGNOSZTIKUS ALKALMAZÁSAI

A 2D B mód alkalmazása kardiológiában

Apikális helyzet



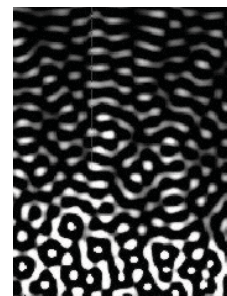
Bal parasternális
longitudinális
helyzet



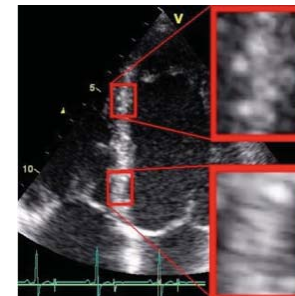
AZ ULTRAHANG DIAGNOSZTIKUS ALKALMAZÁSAI

A 2D B mód alkalmazása kardiológiában

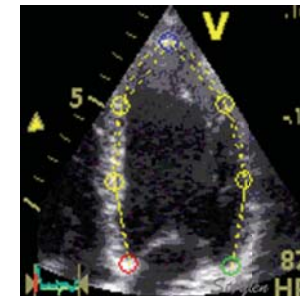
Speckle tracking; folt követés



Ultraszhang interferencia
mintázat



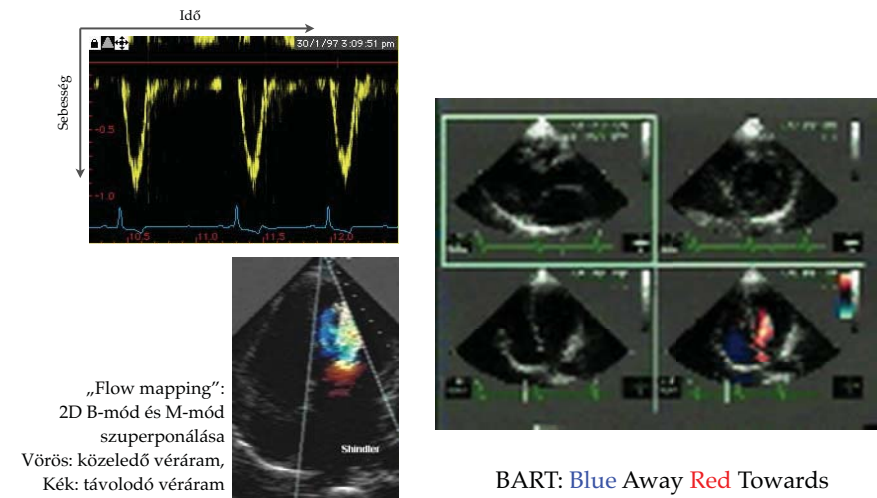
Az interferencia mintázat stabil és
követhető



Foltok követése képanalízis
algoritmusok segítségével

AZ ULTRAHANG DIAGNOSZTIKUS ALKALMAZÁSAI

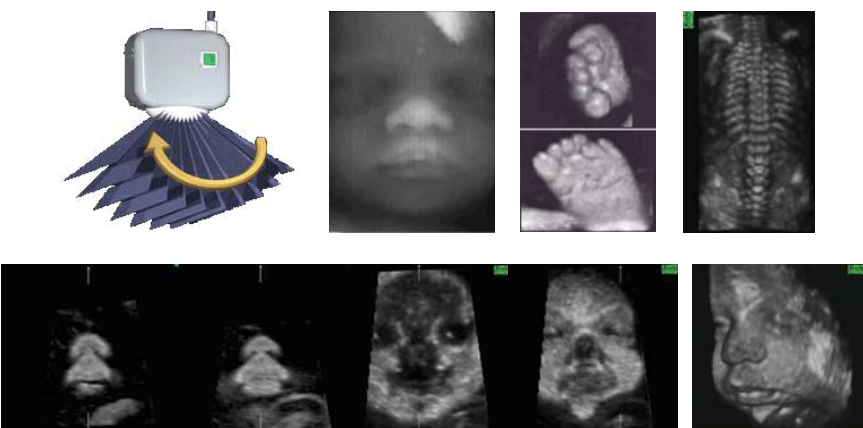
Kardiológiai alkalmazások: Doppler kardiográfia



AZ ULTRAHANG DIAGNOSZTIKUS ALKALMAZÁSAI

3-dimenziós ultrahang

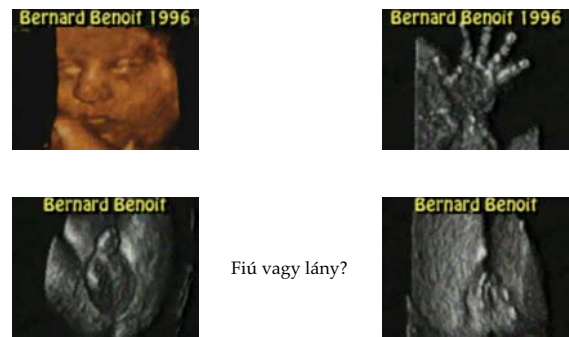
Gyors, legyezőszerűen elforduló pásztázó egység.
Számítógépes képrekonstrukció.



AZ ULTRAHANG DIAGNOSZTIKUS ALKALMAZÁSAI

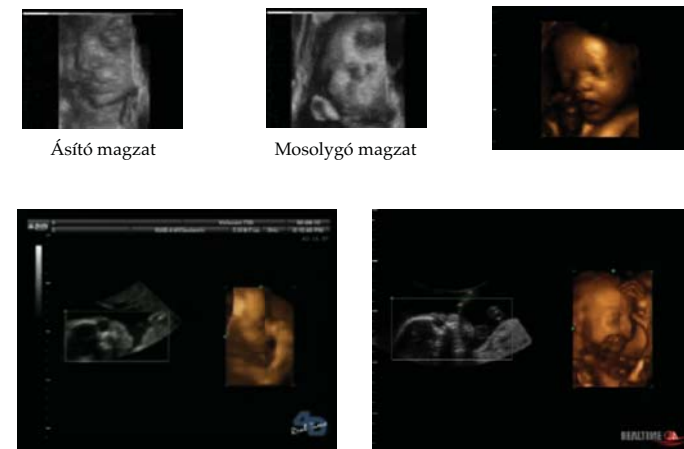
3-dimenziós ultrahang

A térbeli információ tetszés szerint prezentálható, manipulálható.



AZ ULTRAHANG DIAGNOSZTIKUS ALKALMAZÁSAI

4-dimenziós ultrahang: időfüggő 3D ultrahang



ÖSSZEFOGLALÁS

- Az ultrahang nagy frekvenciájú mechanikai hullám.
- Inverz piezoelektromos hatással keltjük.
- Direkt piezoelektromos hatással detektáljuk.
- Közeghatárokon törés, visszaverődés lép fel.
- Közvetlen és közvetett hatásai lokális nyomásváltozásokra vezethetők vissza.
- Képalkotás az impulzus-visszhang elv alapján.