

Ultrahang és elektromos impulzusok alkalmazása

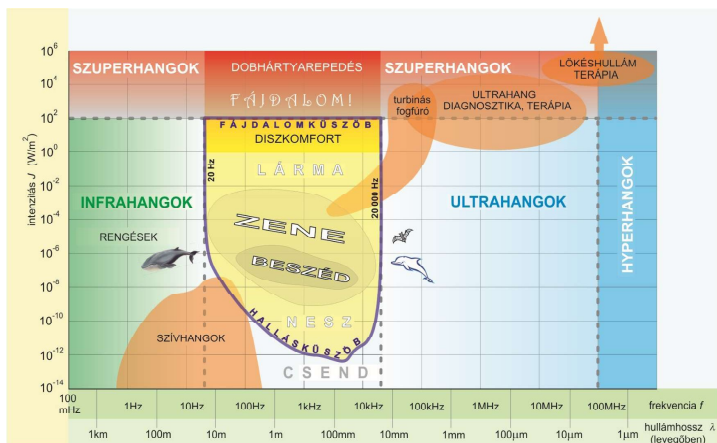
Dr. Voszka István

SE Biofizikai és Sugárbiológiai Intézet

2024. 12. 02.

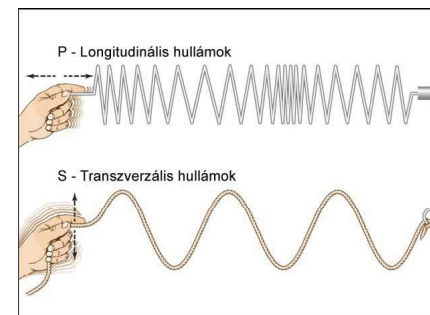


Mechanikai hullámok tartományai frekvencia és intenzitás alapján



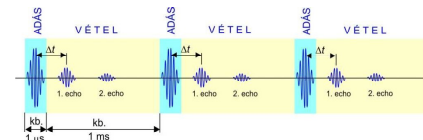
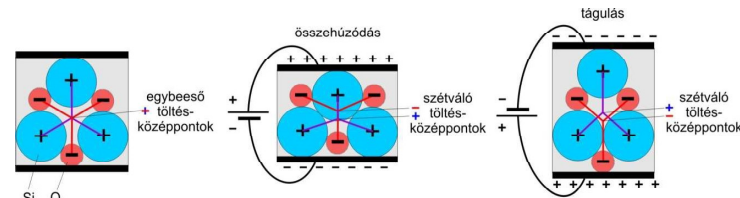
Ultrahang: 20 kHz-nél magasabb frekvenciájú mechanikai hullám.

A mechanikai hullámok (hang, ultrahang) terjedéséhez közege van szükség.



Előállítható piezoelektromos kristállyal

- Direkt piezoelektromos hatás: mechanikai behatásra töltésszétválás. – **ultrahang detektálása**
- Inverz piezoelektromos hatás: váltófeszültség hatására a kristály mechanikai rezgésbe jön. – **ultrahang előállítás**



Orvosi felhasználás:

- Diagnosztika: $f = 1 - 10 \text{ MHz}$, természetben 20 MHz ,
 $J \sim \text{mW/cm}^2$



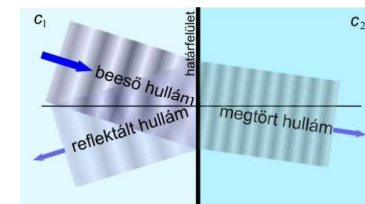
- Terápia: $f = 0,8 - 1,2 \text{ MHz}$, $J \sim \text{W/cm}^2$



A diagnosztikai alkalmazás alapja az ultrahang visszaverődése a közegethatárokról

$$R = \frac{J_{\text{vissza}}}{J_{\text{be}}}$$

$$R = \left(\frac{\rho_1 c_1 - \rho_2 c_2}{\rho_1 c_1 + \rho_2 c_2} \right)^2$$



$\rho c = Z$ (akusztikus impedancia)

Szilárd/gáz vagy folyadék/gáz határán teljes visszaverődés (emiat kell csatolóközeget (pl. kontakt gélt) alkalmazni)



Az ultrahang reflexiója

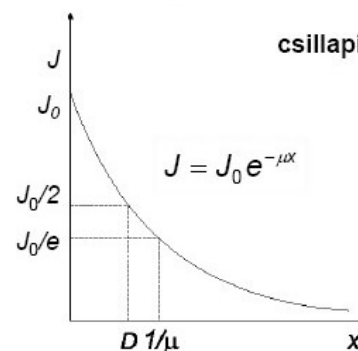
anyag	ρ [kg/m ³]	κ [1/GPa]	c [m/s]	Z [kg/(m ² ·s)]
levegő	1,3	7650	331	$0,00043 \cdot 10^6$
tüdő	400	5,92	650	$0,26 \cdot 10^6$
zsír	925	0,51	1470	$1,42 \cdot 10^6$
lágyszövet	1060	0,40	1540	$1,63 \cdot 10^6$
szemlencse	1140	0,34	1620	$1,84 \cdot 10^6$
csontvelő	970	0,36	1700	$1,65 \cdot 10^6$
csont,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

Ha $R \approx 1$ → 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

Fontos tényező az ultrahang abszorpciója is

Intenzitásgyengülés terjedés közben (abszorpció)



$$\text{csillapítás: } \alpha = 10 \cdot \lg \frac{J_0}{J} \text{ dB}$$

$$\alpha = 10 \cdot \mu \cdot x \cdot \lg e \text{ dB}$$

μ a diagnosztikai
frekvencia tartományban
arányos a frekvenciával

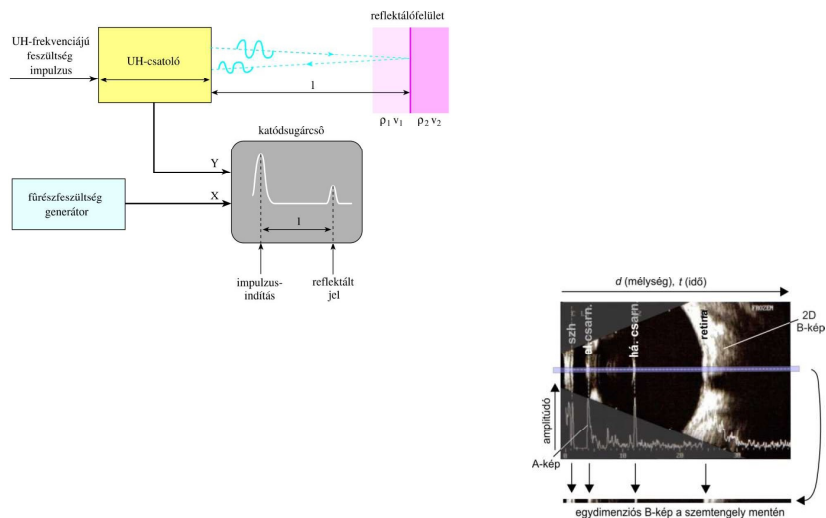
$$\text{fajlagos csillapítás: } \frac{\alpha}{f \cdot x}$$

9

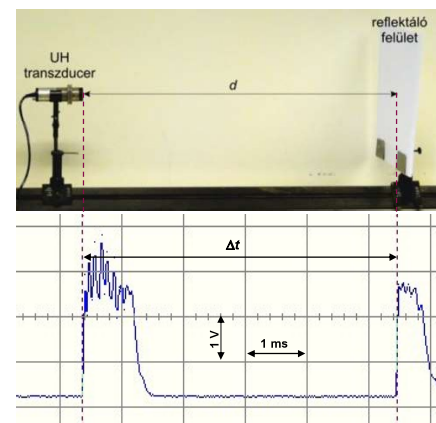
Nagyobb frekvencia: - jobb felbontás
- kisebb áthatolóképeség

A-kép (amplitúdó kép, analóg kép)

- távolságmérés (főleg szemészetben alkalmazzák)



Az impulzus-echo elv



Δt idő alatt az UH impulzus $2d$ utat tesz meg, tehát a d távolság:

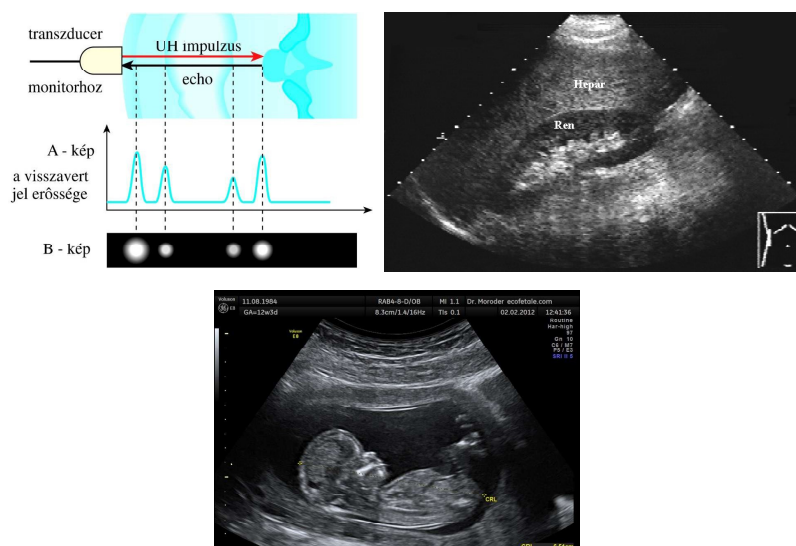
$$d = \frac{c \cdot \Delta t}{2}$$

Közeg	Hangsebesség, c (m/s)
Levegő (25 °C)	346
Víz (20 °C)	1482
Lágy szövet	1540

Speciális transzducer alkalmazásával az ultrahang egy része kijut a levegőbe.

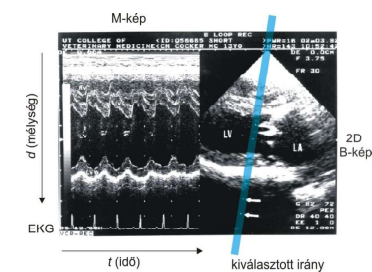
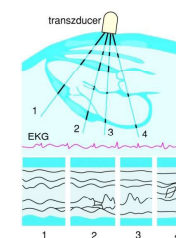
B-kép (brightness = fényesség)

- a képpont fényessége a reflexió mértékétől függ



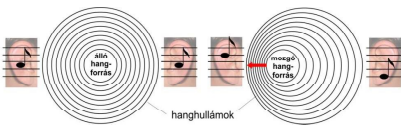
M-kép (motion) – TM-kép (time motion)

- a reflektáló felület helyzete időben változik (echocardiographia)
egydimenziós B-kép időbeli változása

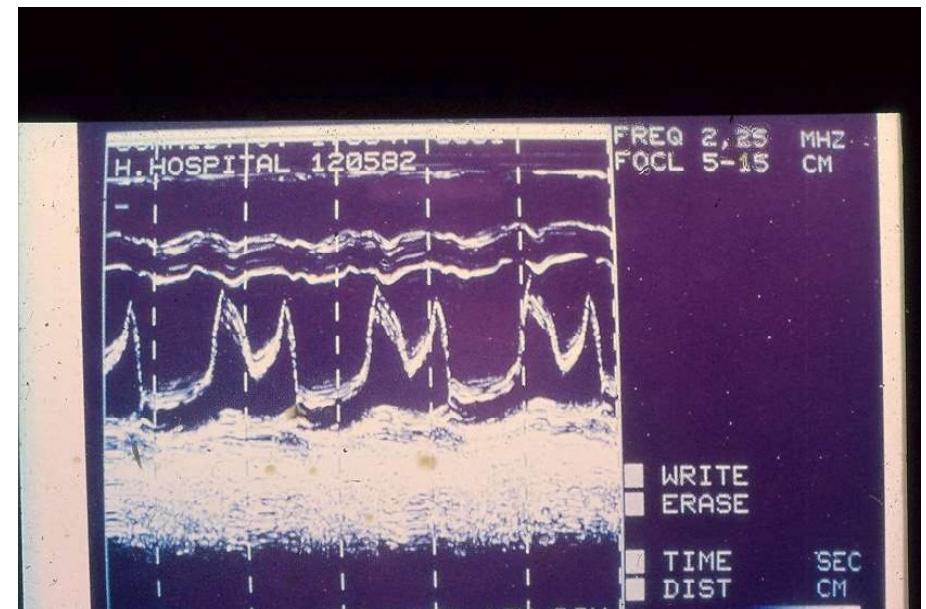
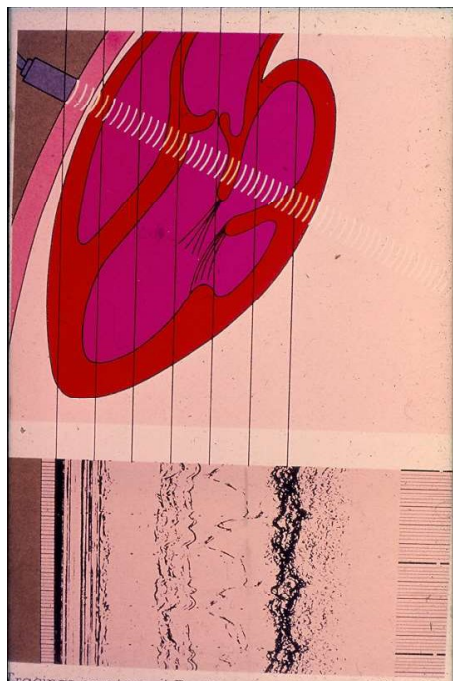
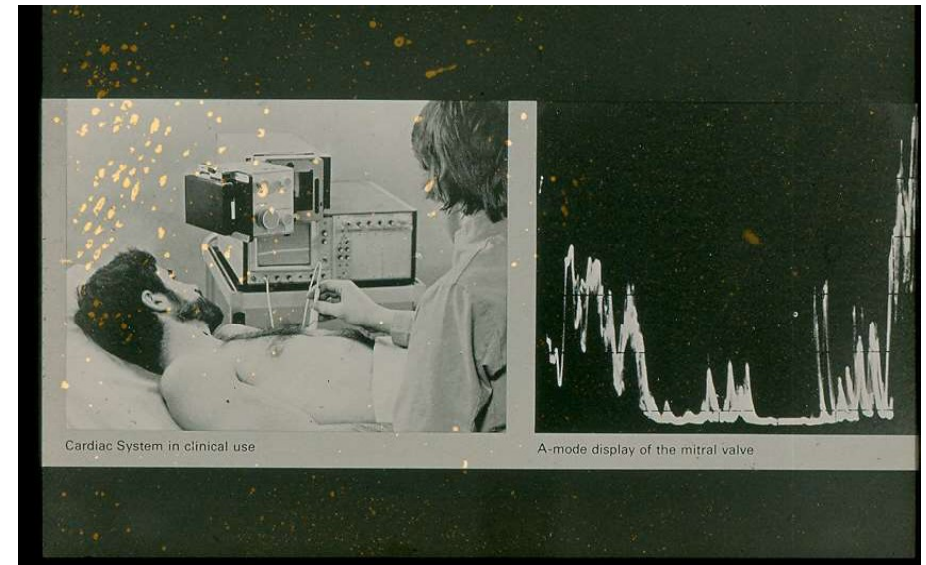
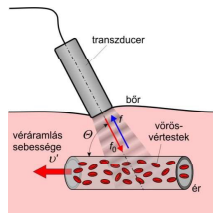


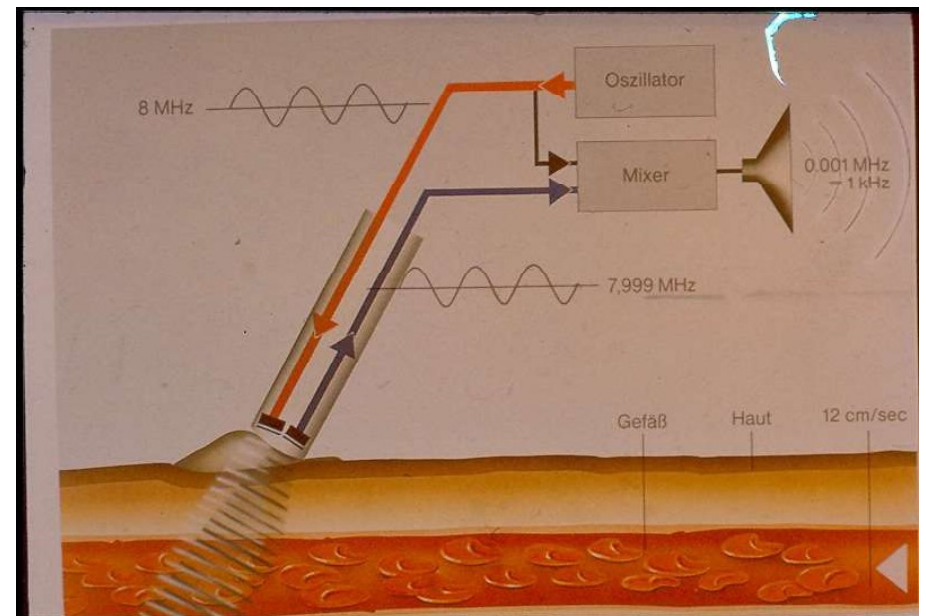
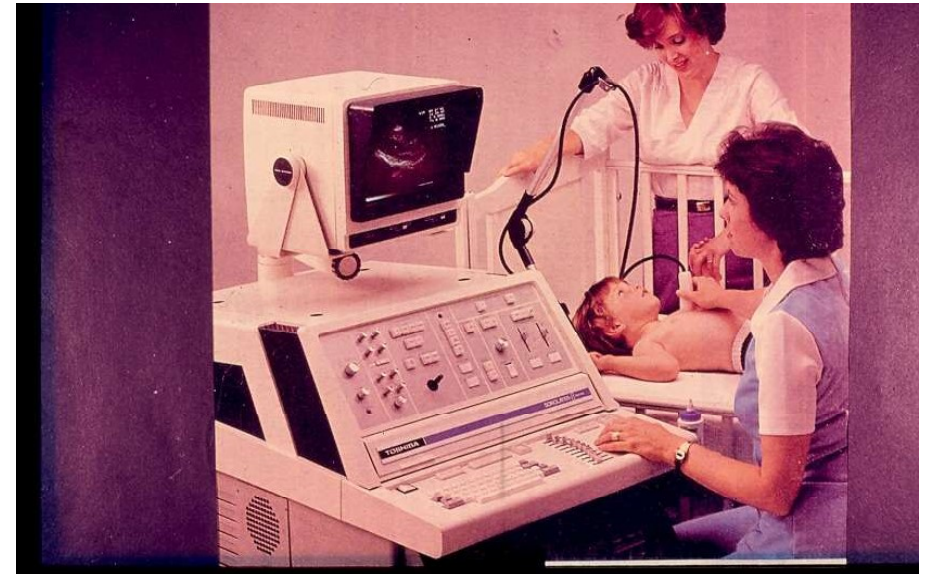
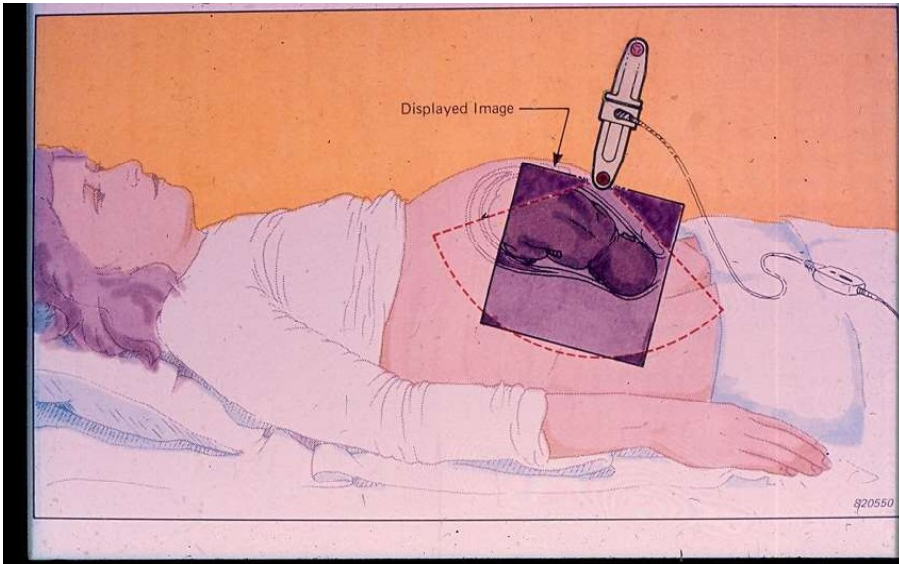
Mozgás vizsgálata a Doppler-elv alapján

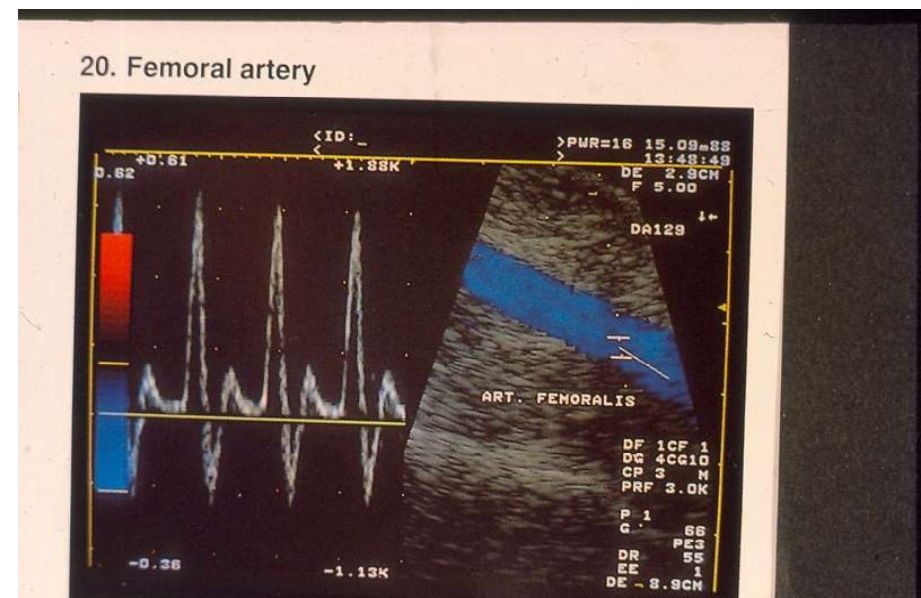
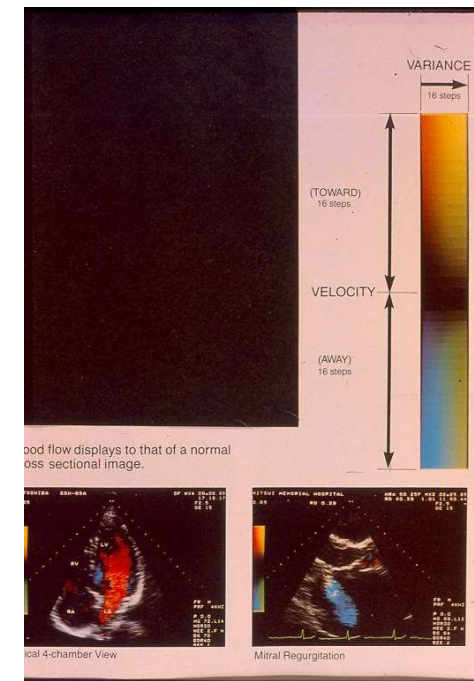
- Mozgó forrás által kibocsátott, illetve mozgó felületről visszavert hang (ultrahang) frekvenciája megváltozik

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


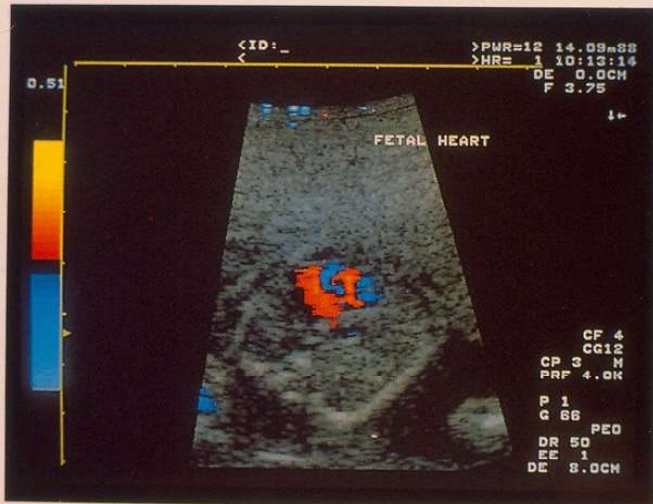
Az eredeti és a visszavert frekvencia különbsége a hallható hang tartományába esik – hangszóróra, vagy fejhallgatóra kapcsolható (érvizsgálat illetve magzati szívmozgás vizsgálata).







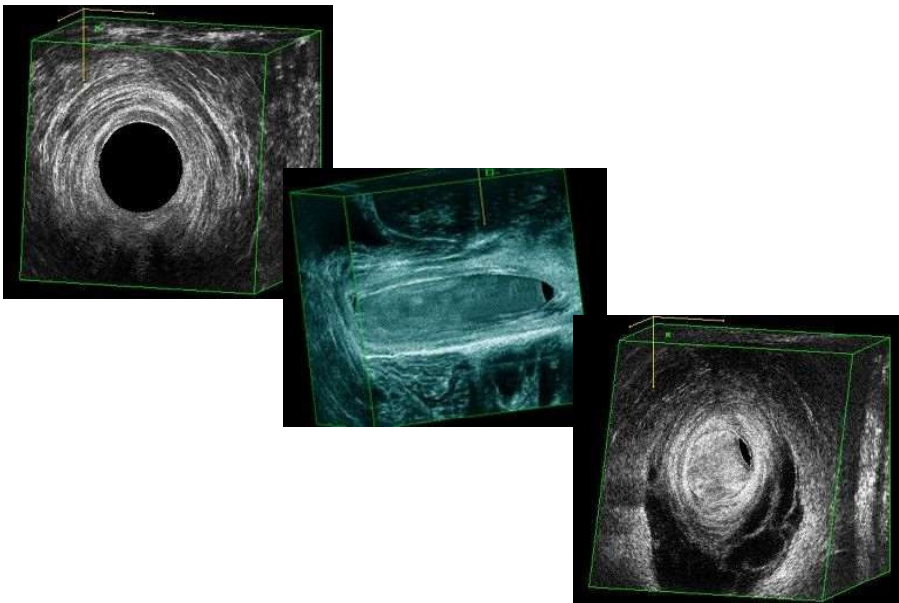
16. Fetal heart



Endoszonográfia



3D endoszonográfia



Szonoelasztográfia

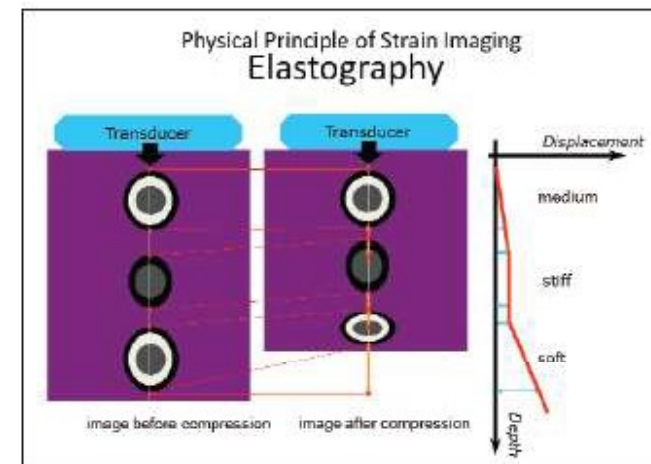
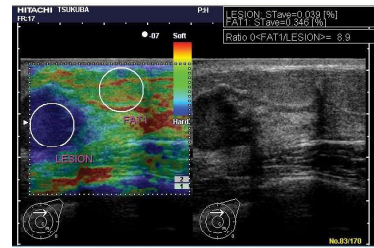


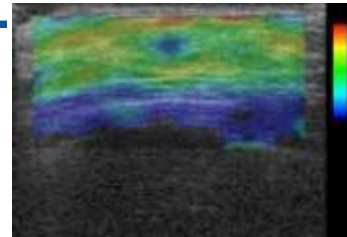
FIGURE 1. Displacement due to compression varies according to tissue stiffness. Displacement in soft tissue is high, whereas stiff tissue shows no or very little displacement.

Szonoelasztográfia (emlő)

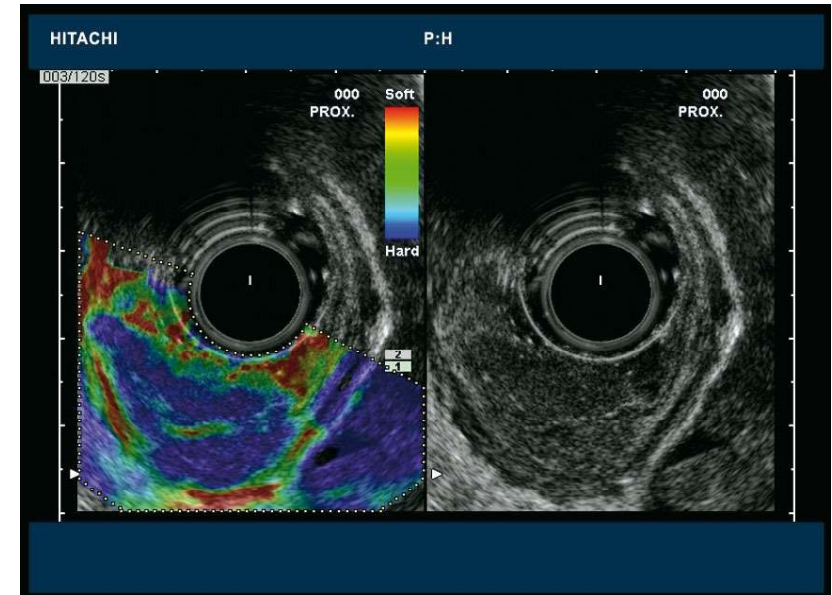
Figure 4. IDC Using Sonoelastography



Blue indicates a lesion with no tissue strain (hard) with an FLR of 8.9, highly suggestive of a malignancy.
FLR = fat-to-lesion ratio; IDC = invasive ductal carcinoma.
Image courtesy of Hitachi Medical Systems.



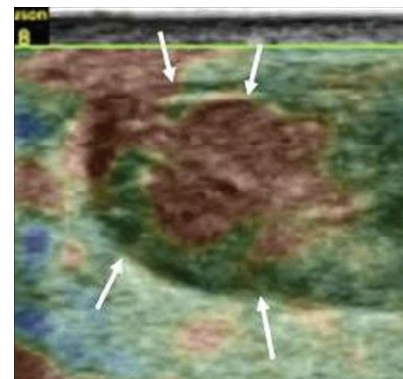
Szonoelasztográfia (rectum tumor)



Szonoelasztográfia (Achilles-ín)

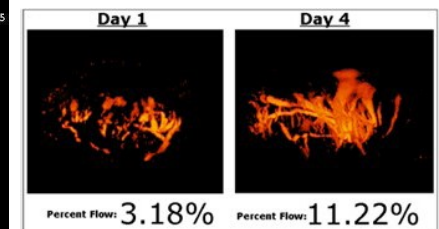
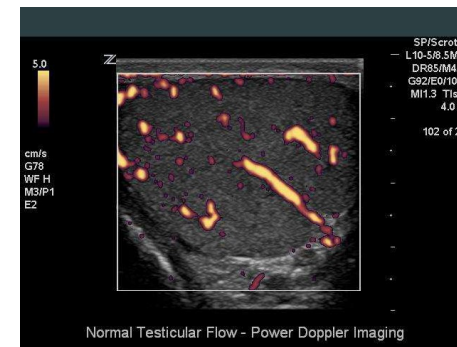


normál

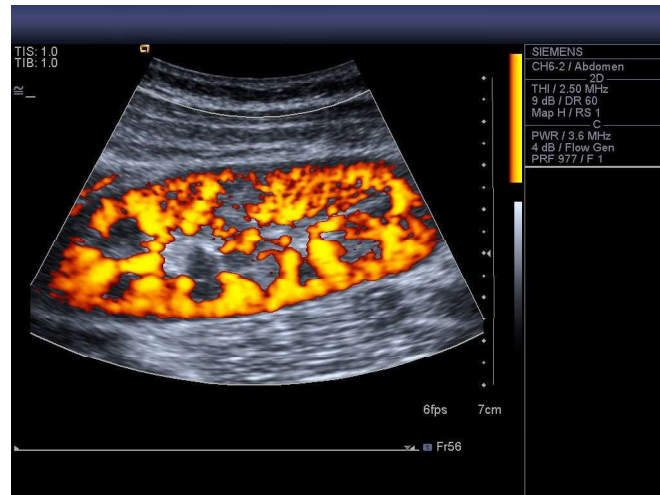


tendinitis

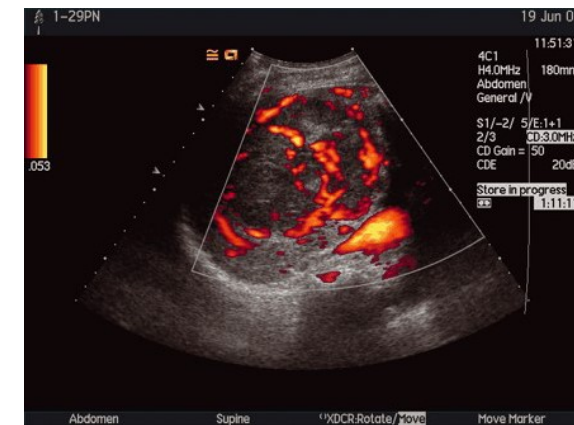
Power Doppler Imaging (PDI)



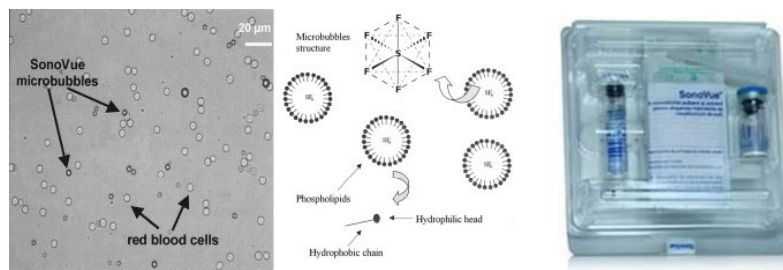
Power Doppler Imaging (PDI - vese)



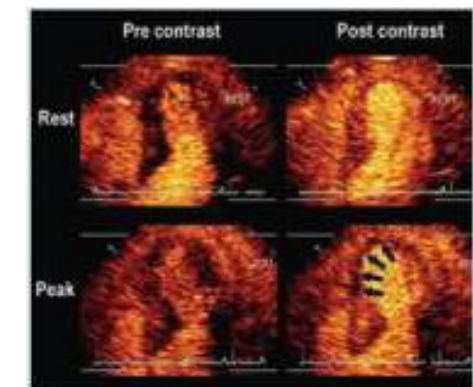
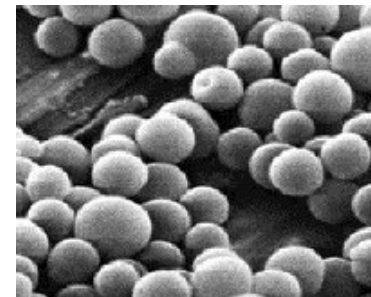
Power Doppler Imaging (PDI – hepatocellularis cc.)



Ultrahang kontrasztanyagok

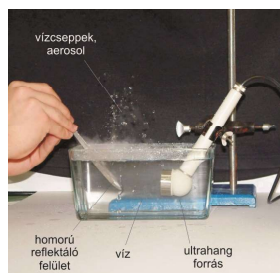


Ultrahang kontrasztanyagok

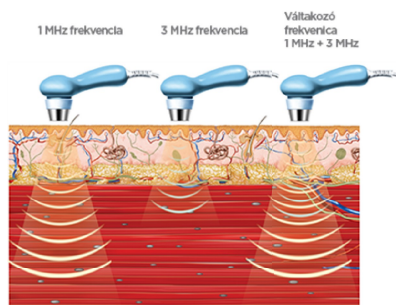


Ultrahang terápia ($f = 0,8 - 1,2$ MHz, jellemzően 0,8 MHz)

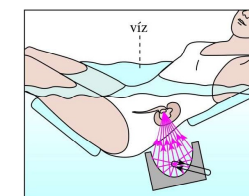
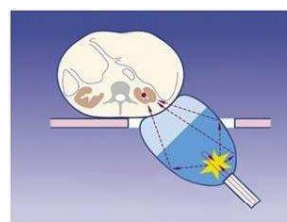
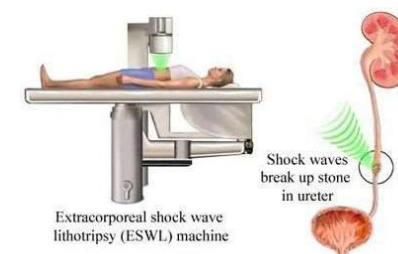
- Az ultrahang hőhatását illetve az ún. mikromasszázs hatást használja ki – pl. ízületi kopások kezelése.
- A nagy intenzitás miatt akár ionizáció is bekövetkezhet.



Izomlazító, fájdalomcsillapító és értágító hatás.
Kis dózis a sejttanyagcserét fokozza, közepes és nagy dózis gátolja.



Lökéshullám terápia (kőzúzás)



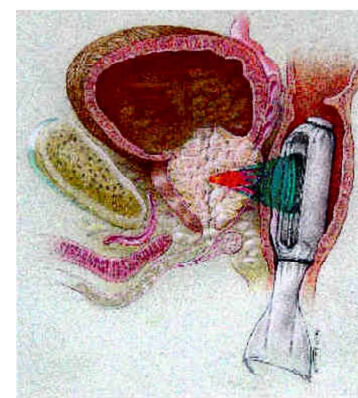
Nagy intenzitású, fókuszált lökéshullám hatására a vese-vagy epekő széttöredezik

Fogköeltávolítás ultrahanggal



HIFU (high intensity focused ultrasound)

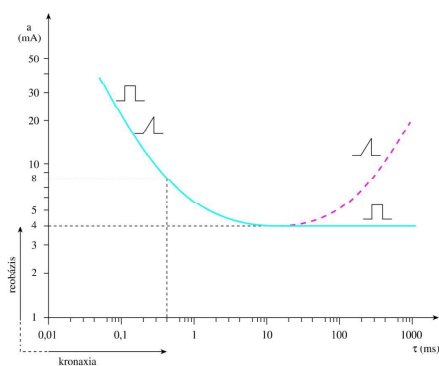
- prosztatatarák kezelése ultrahanggal



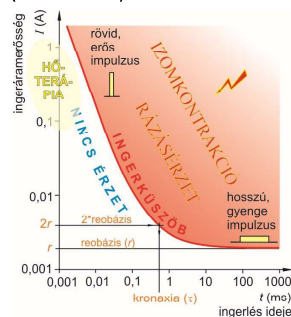
- arcfiatalítás



Elektromos áram hatásai (ingerkarakterisztika görbe)

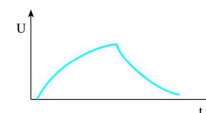
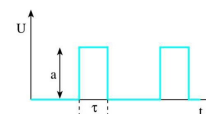


- Különbség a háromszög- és négyszög- Impulzusok hatása között (csak egészséges izmok esetében) – **károsodott izmok szelektív kezelése.**
- Rövid impulzusidők (nagy frekvenciák esetén) igen magas a küszöb – nincs ingerhatás, csak hőhatás – **nagyfrekvenciás hőterápia.** ($f > 100 \text{ kHz}$)



Elektromos impulzusok előállíthatók egyenként illetve impulzussorozat formájában.

- egyetlen impulzus jellemzői:
 - impulzusidő (τ)
 - amplitúdó (a)



Egy-egy impulzus felhasználható:

- szívizom ingerlésére (defibrillátor)
- vázizmok ingerlésére (ideg-, illetve izomkárosodás esetén – szelektíven is, pl. exponenciális impulzusokkal)



Impulzus sorozat

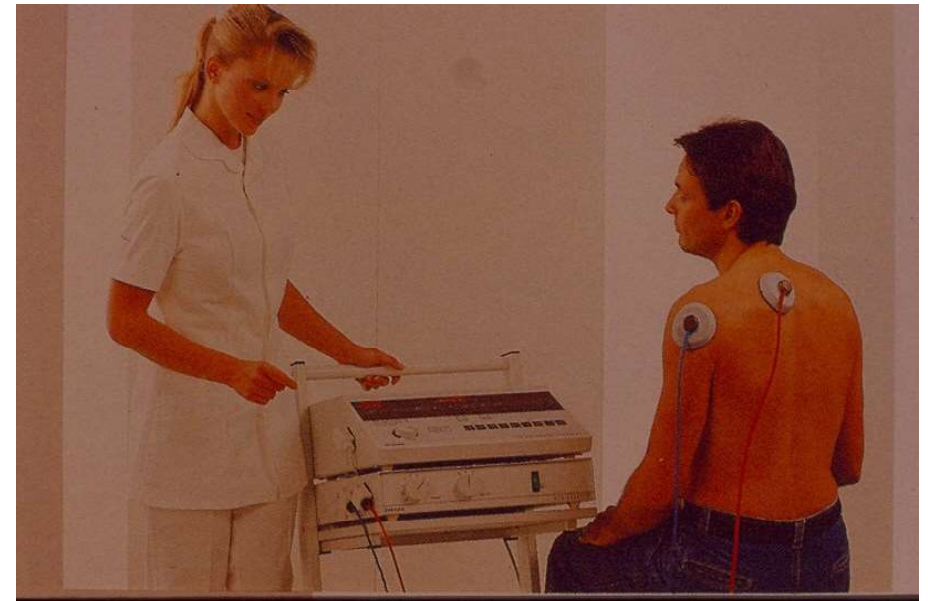
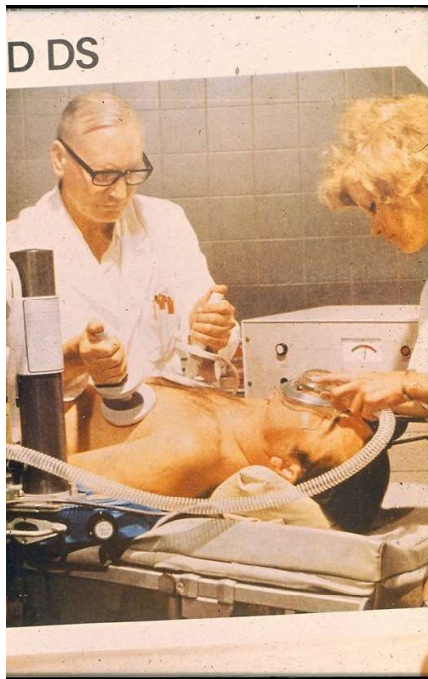
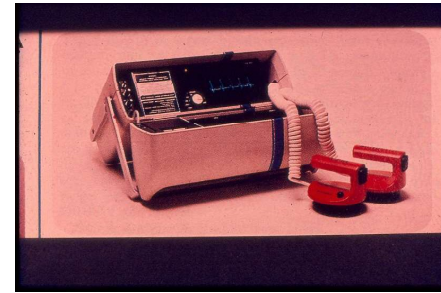
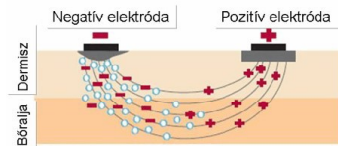
- további jellemzők az impulzusidőn és az amplitúdón kívül
 - periódusidő (T) impulzusidő + két impulzus közti szünet időtartama
 - frekvencia (f) a periódusidő reciproka
 - kitöltési tényező (τ/T)
- felhasználása
 - szívizom ingerlésére (pacemaker)
 - vázizmok ingerlésére (ideg-, illetve izomkárosodás esetén) – TENS (transcutan electro neuro stimulator) fájdalomcsillapításra is alkalmas)

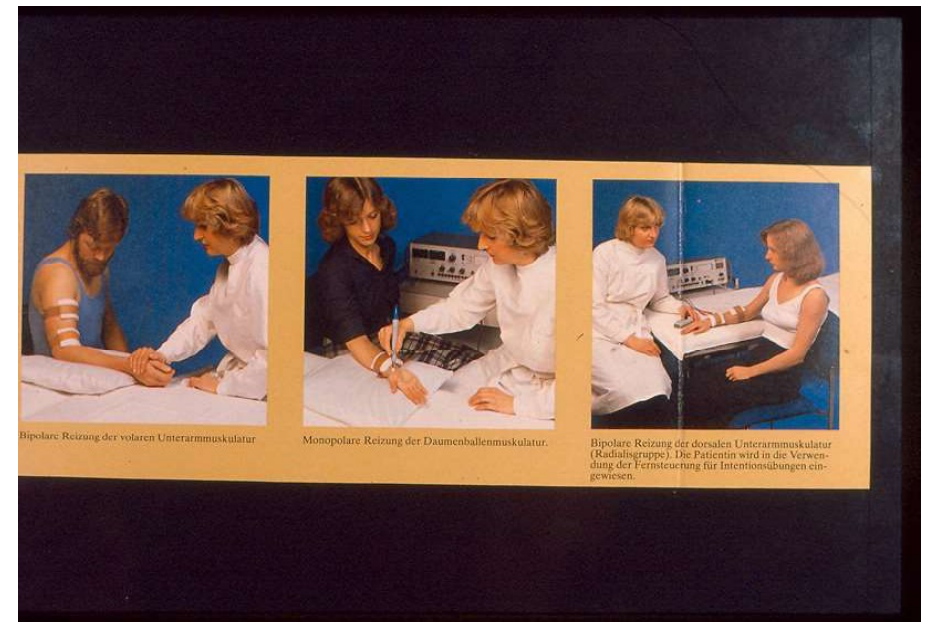
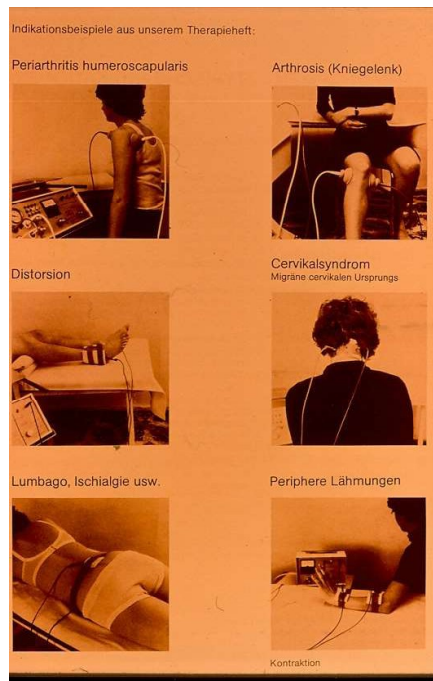


Galvánkezelés: állandó egyenáram alkalmazása

- hatásai: - fájdalomcsillapító
- sejtanyagcsere-fokozó
- értágító
- fokozza a motoros idegek ingerlékenységét

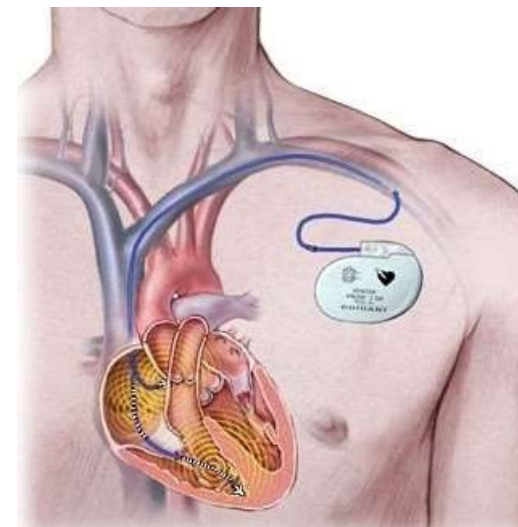
Iontoforézis: ionos gyógyszerek juttathatók be a két elektród között elhelyezkedő szervbe egyenáram segítségével.
(fájdalomcsillapítók, gyulladáscsökkentők, értágítók, szövet-puhítók)

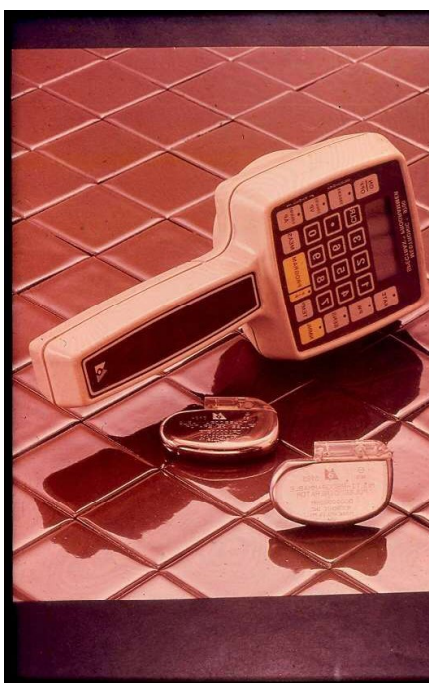




Interferenciaáram kezelés:

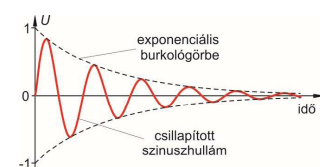
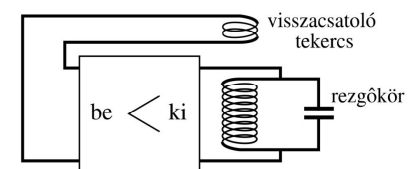
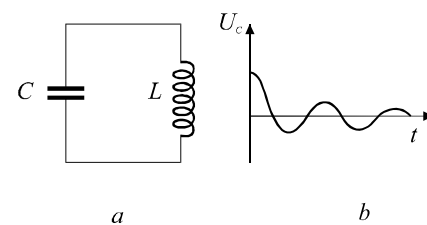
- Mindkét elektródpáron néhány 1000 Hz-es áramot alkalmaznak. A két frekvencia különbsége kicsi (kb. 100 Hz). Az elektródpárok megfelelő elhelyezésével a különbségi frekvencia a kívánt területen (pl. károsodott izom) jelenik meg.





Nagyfrekvenciás hőterápia

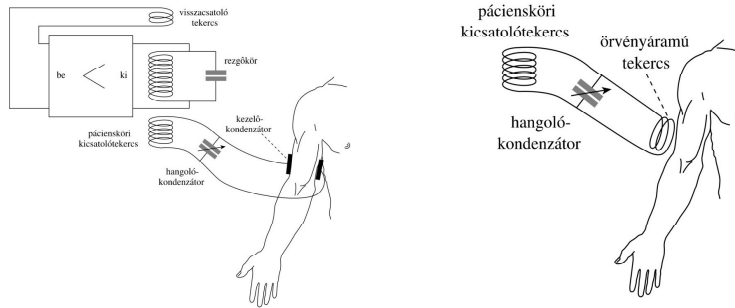
Nagyfrekvenciás szinuszrezgések előállítása:
visszacsatolt rezgőkörrel (LC-kör)



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

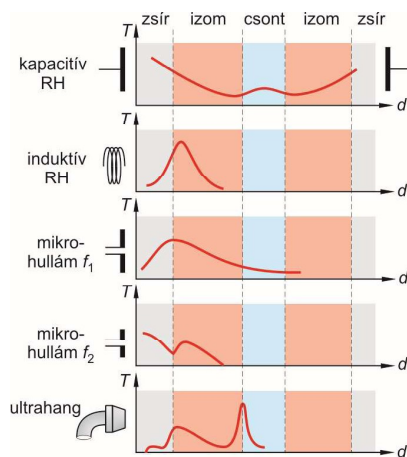
A hőfejlődés mértéke a különböző szövetekben és különböző kezelési módok esetén jelentősen eltér.
(kezelési módok: kondenzátorteres, tekercsteres, sugárteres)

Optimális energiaátvitel a rezgőkör és a pácienskör között rezonancia esetén van: az LC szorzat megegyezik a két kör esetében.



Az alkalmazott frekvencia-, illetve hullámhossztartományok:

- Rövidhullám ($f \sim 30 \text{ MHz}$ - $\lambda \sim 10 \text{ m}$)
- Deciméteres hullám ($f \sim 0,5 \text{ GHz}$ - $\lambda \sim 0,6 \text{ m}$)
- Mikrohullám ($f \sim 2,5 \text{ GHz}$ - $\lambda \sim 12 \text{ cm}$)



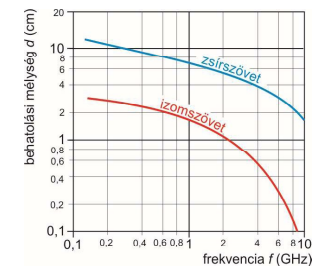
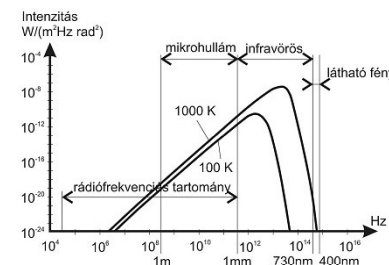
pl. kondenzátorteres módszernél:

$$Q = \frac{U^2}{R} t = \frac{U^2 A}{\rho l} t = \sigma \frac{U^2}{l^2} A l t = \sigma E^2 V t$$

frekvencia	$\sigma_{\text{zsír}}$ [mS/cm]	σ_{izom} [mS/cm]
300 MHz	2,7	9,0-9,9
1000 MHz	3,6	13,0-14,5

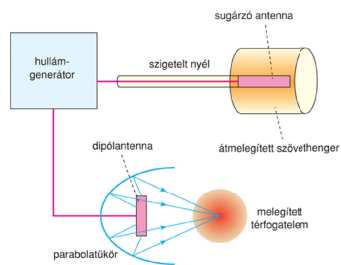
Mikrohullám orvosi alkalmazásai:

Diagnosztika: **mikrohullámú termográfia** – főleg emlőrák detektálására használható. Az intenzitás jóval kisebb, mint az infravörös tartományban, de a sugárzás behatolási mélysége lényegesen nagyobb. A mélyebben fekvő daganatok is kimutathatók.

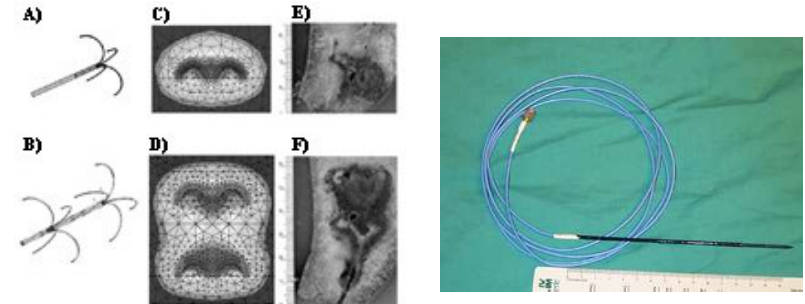


frekvencia	behatolási mélység [cm]	
	zsírszövet	izomszövet
100 MHz	30	4
10 GHz	3	0,2

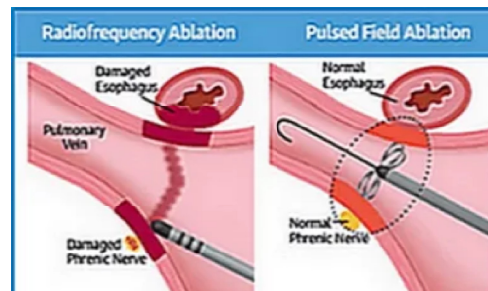
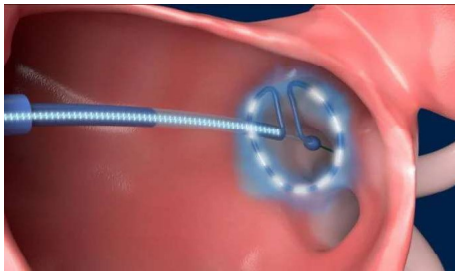
Terápia: - Hőterápia (mikrohullámú hipertermia)
 - ízületi, reumatikus betegségek
 - bőrbetegségek (ekcéma, szemölcs, pikkelysömör, érdaganat)
 - daganatkezelés – optimális: 42 – 43,5 °C
 tumorhőmérséklet. (A daganat elpusztul, de a környező, egészséges sejtek még nem károsodnak.) Sugár-, vagy kemoterápiával kombinálható. Optimális teljesítménysűrűség: 200 mW/cm².



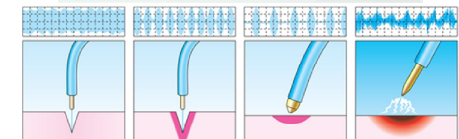
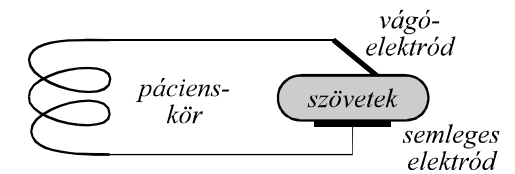
- MBA (mikrohullámú ballon angioplasztika)
 előny: - kisebb a visszaszűkülés esélye
 - érsérülések összehegesztése
 - trombózis valószínűsége kisebb
- Szívritmuszavar kezelése katéteres leválasztással (abláció) – kóros ingervezető kötegek átvágása



Pitvarfibrilláció kezelése pulzáló rádiófrekvenciás térrel



- Prostata megnagyobbodás kezelése
- Mikrohullámú sebészet – főleg az endoszkópos műtéteknél



ERBE OPHTHALMOBIPOLAR

5 6 7 8 9 10

WETZ OFF MAINS ON

LEISTUNG INTENSITY

FUSS-SCHALTER FOOT SWITCH

AUTOMATIC SELF-LOCKING

FUSS-SCHALTER FOOT SWITCH

BIPOLAR

Ophthalmobipolar

for bipolar „wet-field“-coagulation in ophthalmic surgery

The Ophthalmobipolar is equipped with a special socket for bipolar electrodes which is fully isolated from line and ground potentials. The RF power of the bipolar output is provided with a continuous and finely reproducible adjustment up to a maximum of 30 watts with dosage settings for the most delicate bipolar coagulations with fine coagulation forceps, as well as for bipolar endodiatomy.

The Ophthalmobipolar conforms to VDE and IEC regulations for electromedical equipment.

Technic

Power supply

Lead current in conductor

Power consumption

RF power bipolar

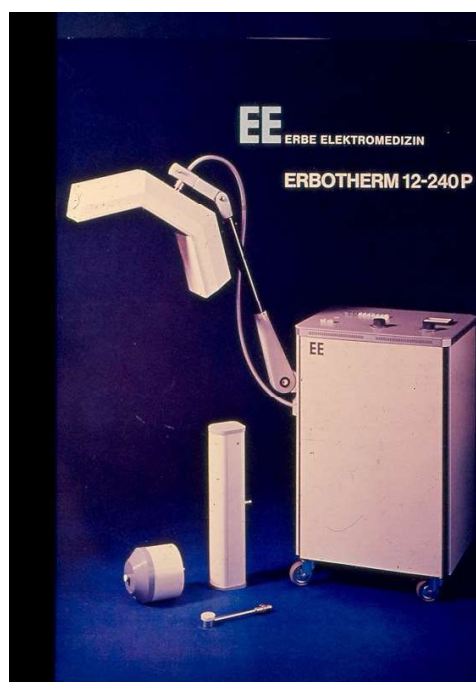
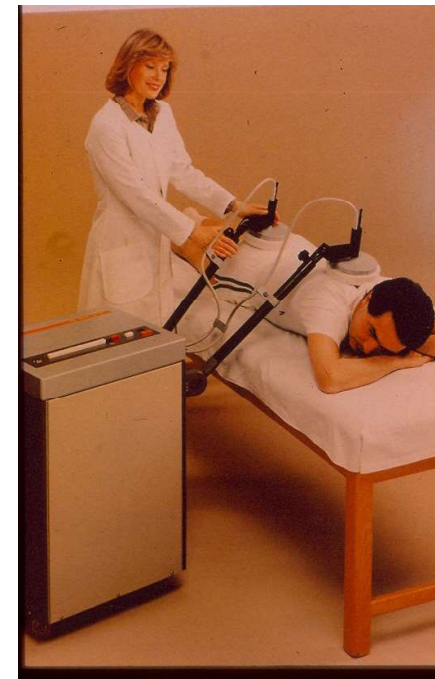
Operating frequency

Protection class

Dimensions

Weight

Guarantee



- 1 Treatment of a furuncle of the neck with the round-field director
- 2 Microwave treatment of sinusitis with the focus electrode

