



Prim.dr.sc. Marija Frković, prof.v.š.  
Prim.dr.sc. Klaudija Višković, v.zn.sur.

# ***Važnost termalnog i mehaničkog indeksa pri optimizaciji ultrazvučnog prikaza***

# Parametri sigurnosti medicinskog dijagnostičkog ultrazvuka

- sigurnost/štetnost medicinskog dijagnostičkog ultrazvuka



- poluprazan zakonski i stručni prostor

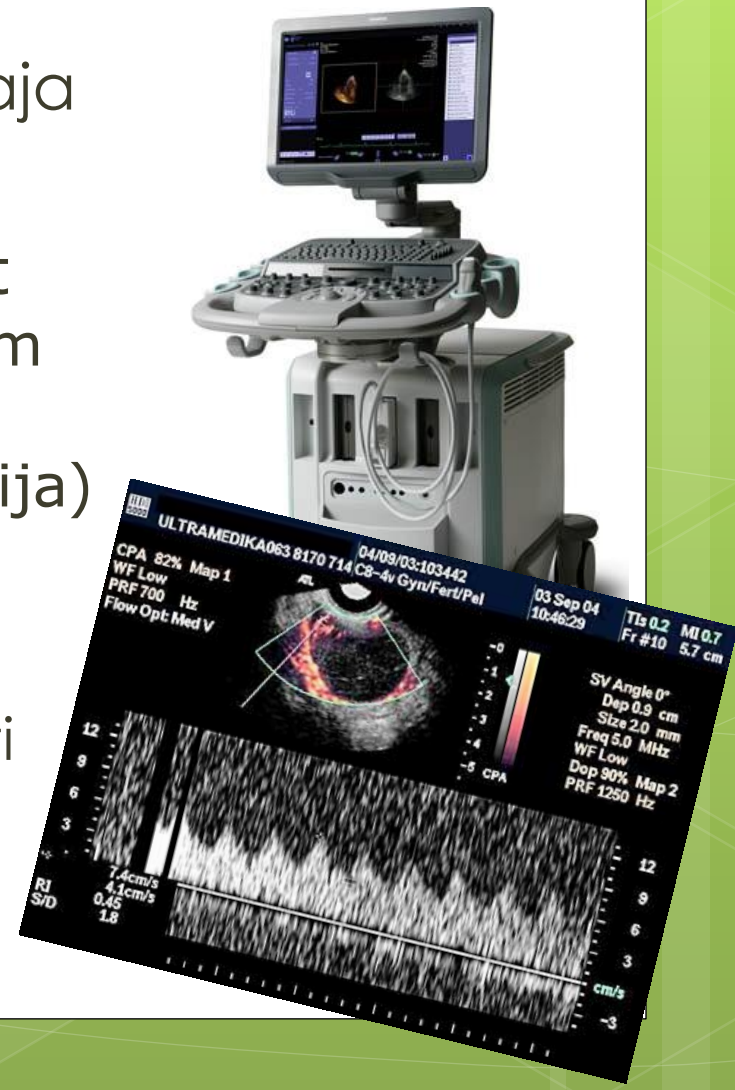
(preporuke i industrijske norme međunarodnih i nacionalnih tijela)

## **mehanizmi od kojih se očekuju biološki efekti:**

- termički efekti
- kavitacija
- strujanje izazvano ultrazvukom
- proizvodnja slobodnih radikala putem nekih od tih mehanizama

# UZV- izvor neionizirajućeg zračenja

- kvaliteta dijagnostičkih UZV uređaja očituje se, uz ostalo, i po tome koliko je pažnje posvećeno svojstvima vezanim za sigurnost (npr. kod dobrih uređaja promjenom podešavanja slike mijenja se i repeticija impulsa i odaslana energija)
- odaslanu energiju operater može dodatno podešavati, a kod CD i PW – uređaja može podesiti repeticiju i duljinu impulsa



# Ultrazvuk (UZV, US)

- izvor neionizirajućeg zračenja

- o odaslana ultrazvučna energija širi se u unutrašnjost tijela u obliku snopa
- o ne postoji jednoličan intenzitet ultrazvuka po cijelom presjeku UZV snopa
- o ako je snop fokusiran, rezolucija objekta poprijeko (lateralno) na snop je to bolja što je promatrani objekt bliže žarištu
- o fokusiranje je moguće u jednoj ili više zona
- o najčešće je izvedeno elektronički, odabirom vremena kašnjenja pojedinih grupa ultrazvučnog pretvarača



# parametri i konvencije koji se koriste u smislu sigurnosti UZV

- **brzina prostiranja**

- specifična za sredstvo, ovisna o temp. i modu širenja
- u ljudskim mekim tkivima prosječno oko 1540 m/s, u kostima x 2-2,5

- **valna duljina**

- **frekvencija repeticije** – tipično oko nekoliko kHz

- **prigušenje** – eksponencijalno, ovisno o frekvenciji (u dB/cmMHz), sastoji se od **apsorpcije**, raspršenja, refleksije

- **amplituda** – maksimalni tlak izazvan kompresijskim valom na nekom mjestu u tkivu

- **intenzitet** – snaga podijeljena s površinom kroz koju teče

# najvjerojatniji mehanizmi koji bi mogli izazvati biološke efekte

- zagrijavanje
- mehanički efekti zbog sila koje nastaju pri maksimumu i minimumu tlaka
- mehanički efekti zbog strujanja izazvanog prolazom ultrazvuka

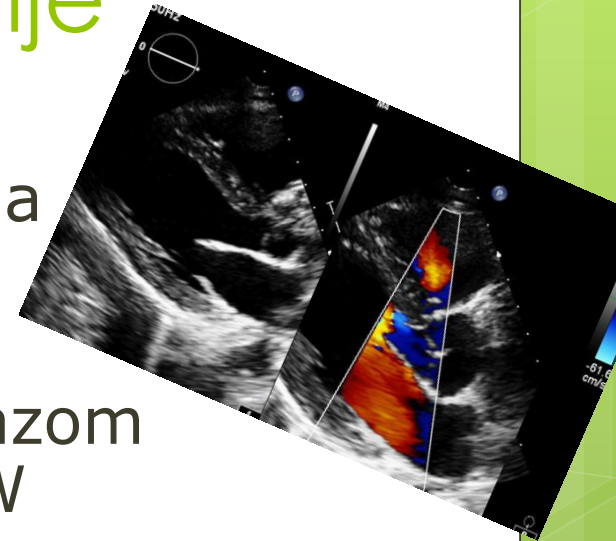
# Akustički parametri koji se koriste za opis ultrazvučne ekspozicije

- **Akustička izlazna snaga** je ukupna akustička snaga koja se odašilje iz pretvarača
- **Maksimalni prostorni prosječni vremenski intenzitet** (engl. Spatial Peak Temporal Average Intensity - ISPTA) je intenzitet uzet u vremenskom prosjeku, ali mjeren na položaju prostornog maksimuma (npr. u fokusu)



# Akustički parametri koji se koriste za opis ultrazvučne ekspozicije

- **Akustička izlazna snaga** je ukupna akustička snaga koja se odašilje iz pretvarača
- u komercijalnim uređajima s B prikazom snaga se kreće između 0,3 i 280 mW
- u Doppler primjenama s kodiranjem u boji (CD) snaga je između 15 i 400 mW
- u impulsnoj Doppler spektrometriji (PW) snaga je između 10 i 450 mW





# Akustički parametri koji se koriste za opis ultrazvučne ekspozicije

- **Maksimalni prostorni prosječni vremenski intenzitet (ISPTA)** - intenzitet uzet u vremenskom prosjeku, ali mjeran na položaju prostornog maksimuma (npr. u fokusu)
  - intenzitet u jednom impulsu (**IPP**) – vremenski maksimumovo je ključni parametar za razmatranje potencijalne opasnosti od zagrijavanja
- u komercijalnim B mod uređajima raspon je 0,3 - 990 mW/cm<sup>2</sup>
- u kolor dopler uređajima raspon je 20 - 2000 mW/cm<sup>2</sup>
- u impulsnim dopler spektrometrima se kreće između 170 i 9000 mW/cm<sup>2</sup>

# Akustički parametri koji se koriste za opis ultrazvučne ekspozicije

- **Maksimalni prostorni prosječni vremenski intenzitet** (engl. Spatial Peak Temporal Average Intensity -  $I_{SPTA}$ ) je intenzitet uzet u vremenskom prosjeku, ali mjereno na položaju prostornog maksimuma (npr. u fokusu)
  - intenzitet u jednom impulsu ( $I_{PP}$ ) – vremenski maksimum
  - impulsni prosječni intenzitet ( $I_{SPPA}$ ) - srednja vrijednost intenziteta tokom trajanja impulsa, zanimljiv u razmatranju opasnosti od kavitacije, u komercijalnim uređajima 1 – 770 W/cm<sup>2</sup>
  - maksimalni negativni tlak ( $p_r$ ) – pomaže pri procjeni vjerojatnosti kavitacije, u komercijalnim uređajima 0,4 – 5 Mpa

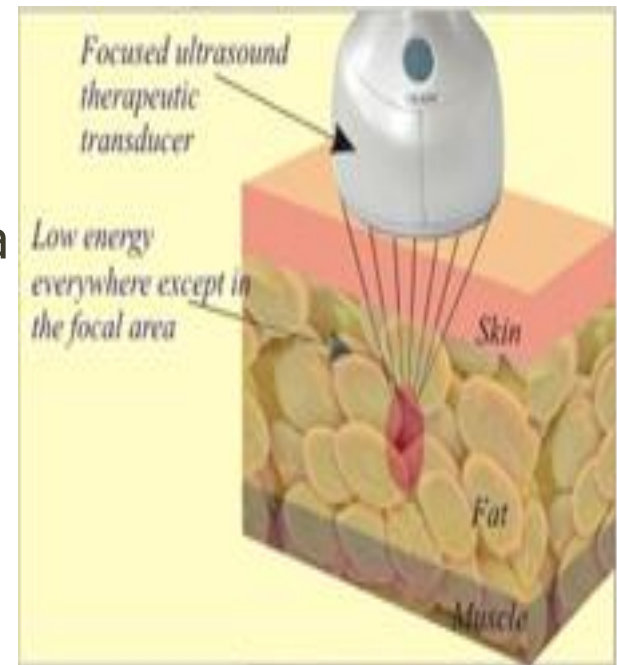
# Indeksi procjene sigurnosti rada

- Termalni indeks (TI)
  - Mehanički indeks (MI)



# Termalni indeks (TI)

- tijekom ultrazvučnog pregleda dio energije pretvara se u toplinu
- ultrazvuk je izvor potencijalnih termalnih oštećenja
- tip tkiva utječe na apsorpciju (oslikavanje na specifičnim granicama mekog i koštanog tkiva – mjesta izrazitog rizika za zagrijavanje)



# Termalni indeks (TI)

- indikator termalnih efekata
- definira se kao omjer dviju snaga
  - prvo je snaga tijekom uporabe
  - drugo je snaga koja uzrokuje porast temperature od 1 stupnja u UZV snopu
- daje procjenu zagrijavanja tkiva *in situ* u vrijeme pretrage, prikazuje se na ekranu UZV uređaja

$$TI = W_0 / W_{deg}$$

# Termalni indeks (TI)

- dugo zagrijavanje na  $1.5^{\circ}\text{C}$  iznad normalne tjelesne temperature ne predstavlja zdravstvenu opasnost za ljude
- zagrijavanje na temperaturu  $4^{\circ}\text{C}$  iznad normalne temperature je prema pokusima na miševima jednoznačno opasno za njihov razvoj
- temperaturno područje između ova dva ekstrema je "siva zona" našeg znanja

# Termalni indeks (TI)

- podvarijante tri tkivna indeksa
  - TIS za homogena tkiva „mekotkivni indeks“
  - TIC za granični sloj u mekom tkivu uz kost
  - TIB za granični sloj na kosti u fokusu „koštani indeks“
- normalne vrijednosti: 0-1



# Mehanički indeks (MI)

- indikator mehaničkih efekata

$$MI = P/\sqrt{f} \quad (P = \text{maksimalni negativni tlak in situ}, f = \text{frekvencija})$$

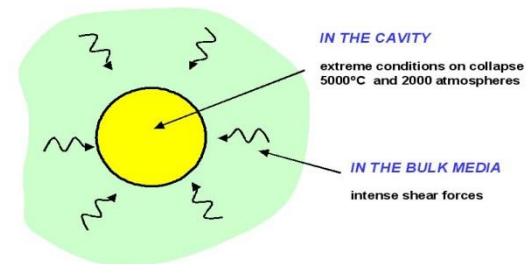
- dvije glavne kategorije mehaničkih efekata jesu:

- kavitacije (javljaju zbog mjehurića plina u tekućini)

- ne-termalni i ne-kavitacijski efekti

(mikrostrujanja u blizini, moguće promjene u metabolizmu, oštećenje staničnih membrana)

**ACOUSTIC CAVITATION**  
*in a homogeneous liquid medium*



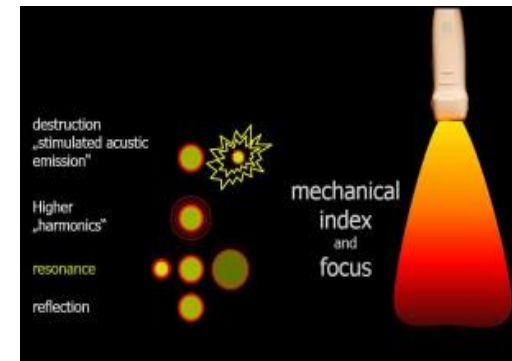


# Mehanički ineks (MI)

- kavitacije nastaju iznad vrijednosti od 0.4
- nove slikovne metode koriste visoke akustičke snage povezane s visokim MI

- Propisi FDA administracije

(za periferni krvožilni, kardiološki, fetalni i oftalmološki ultrazvuk temperaturno zagrijavanje ne smije biti veće od 2 °C)



# novije ultrazvučne metode

- elastosonografija
- fibrosken

- o potrebna oprema je ultrazvučni uređaj s modulom za elastografiju i linearnom sondom od 6,5 MHz.



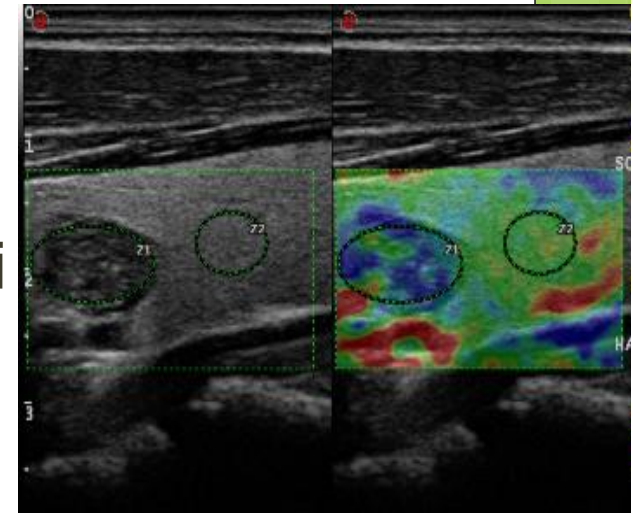
# Novije ultrazvučne metode - elastosonografija

- *elastosonografija* može razlikovati promjene elastičnosti bolesnog i okolnog zdravog tkiva parenhimnih organa (štitnjače, dojke, jetre, prostate)
- mjeri se mehanički inducirana deformacija tkivnih struktura u B-mod prikazu



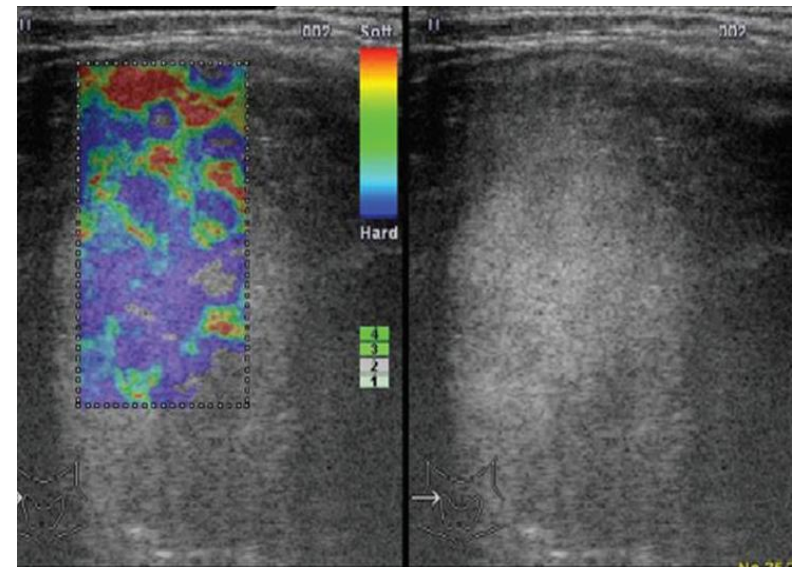
# Nove ultrazvučne metode - elastosonografija

- područje mjerenja, ROI (engl. *Region of Interest*) predstavlja mjerni uzorak površine od oko 9 - 16 cm<sup>2</sup>
- elastičnost tkiva se računalnom obradom u samom ultrazvučnom uređaju rekonstruira u signal u boji koji prekriva sivu ljestvicu B-mod ultrazvučnog prikaza u ROI regiji



# Novije ultrazvučne metode - elastosonografija

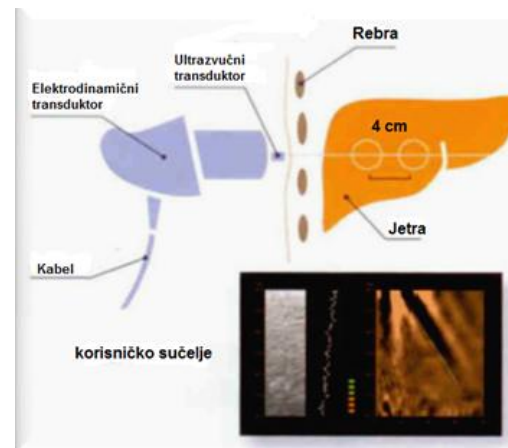
- kolor ljestvica u raznim bojama prikazuje različite stupnjeve elastičnosti, npr. crveni spektar su meka tkiva, zeleni tvrđa, a plavi spektar prikazuje najtvrđa tkiva kod elastosonografije jetre



# Nove ultrazvučne metode

## - fibrosken

- *fibrosken* je uređaj pomoću kojega utvrđujemo elastičnost i stupanj oštećenja na potpuno bezbolan način
- istraživanja su pokazala da oštećena jetra s godinama postaje tvrđa i manje elastična
- biopsija – zlatni standard



# Zaključak

- novije ultrazvučne tehnologije koriste veću akustičnu izlaznu snagu te se pri njihovoj uporabi posebna pozornost mora posvetiti praćenju vrijednosti termalnog (TI) i mehaničkog (MI) indeksa
- racionalizirati primjenu UZV
- uporaba UZV što manjeg intenziteta , samo u slučaju opravdane indikacije, kada se očekuje dijagnostička korist - ALARA
- priprema uređaja („preset“) za određenu vrstu pregleda
- uporaba adekvatne sonde, fokusa, reguliranje dubine
- skratiti vrijeme pregleda, naročito kod primjene dopplera i kod pregleda fetusa







Primum Non Nocere



Hvala na  
pozornosti!



# Literatura

- Hoskins P, Martin K. And Thrush A.: Diagnostic Ultrasound, Physics and Equipment,, Cambridge university Press, Cambridge, 2010.
- Breyer B.: Sigurnost medicinskog dijagnostičkog ultrazvuka. IV Simpozij Hrvatskog društva za zaštitu od zračenja, Zagreb, 1998.
- Palmeri M., Nightingale K.: What challenges must be overcome before ultrasound elasticity imaging is ready for the clinic? Imaging Med. 2011 August ; 3(4): 433–444. doi:10.2217/iim.11.41.

