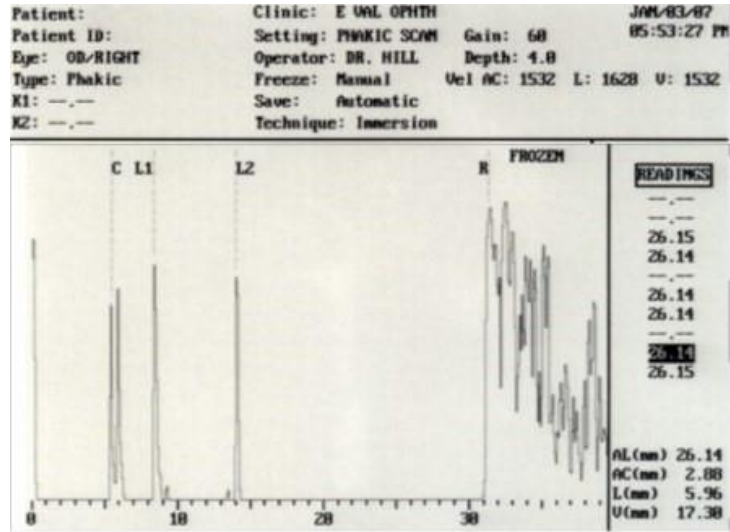


Ultrazvuková diagnostika



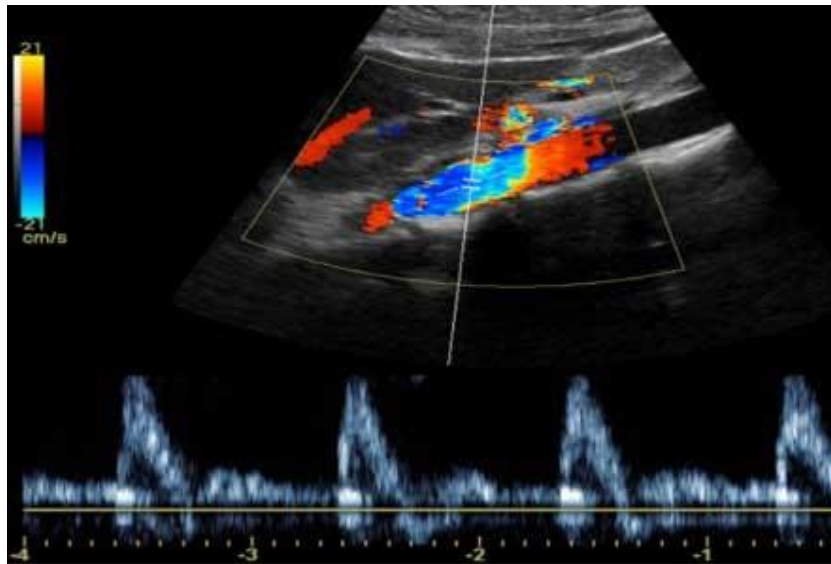
A mód



B mód



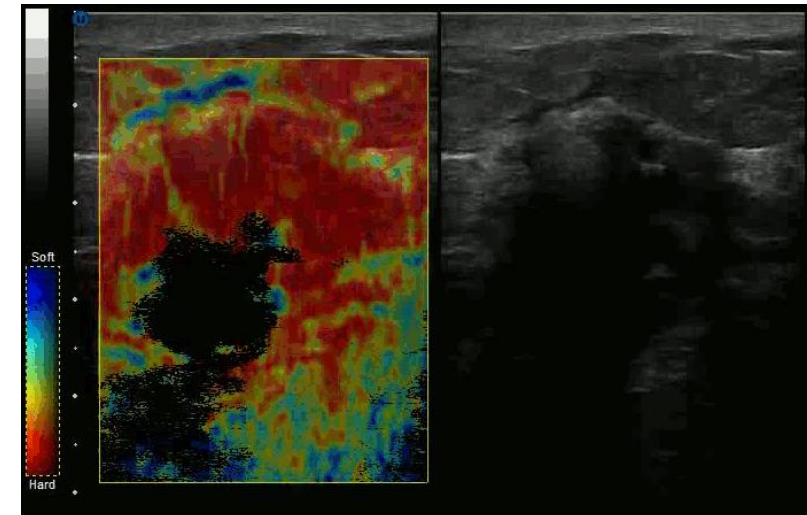
M mód/echokardiografie



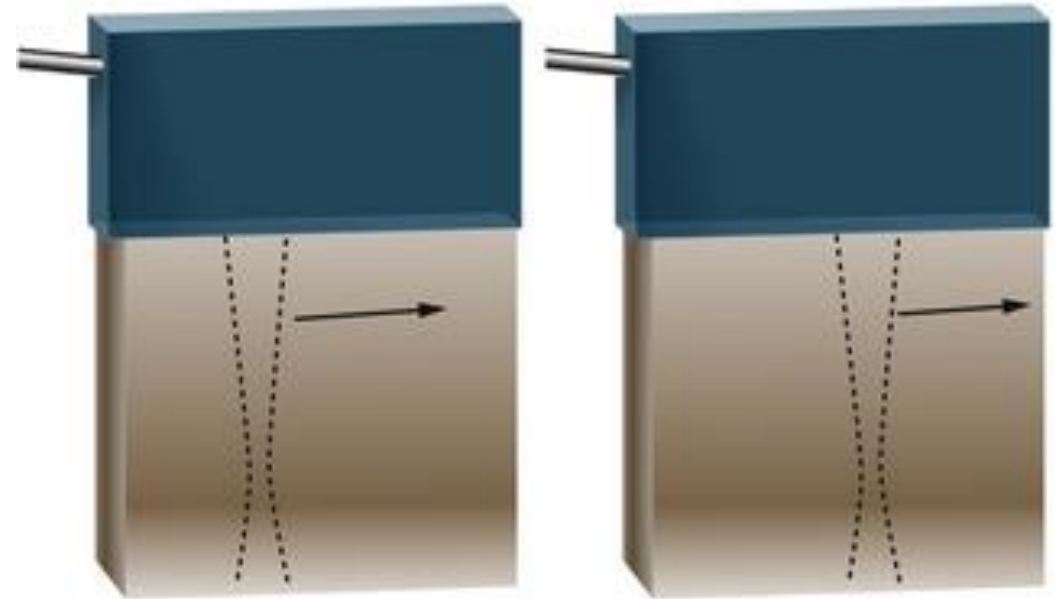
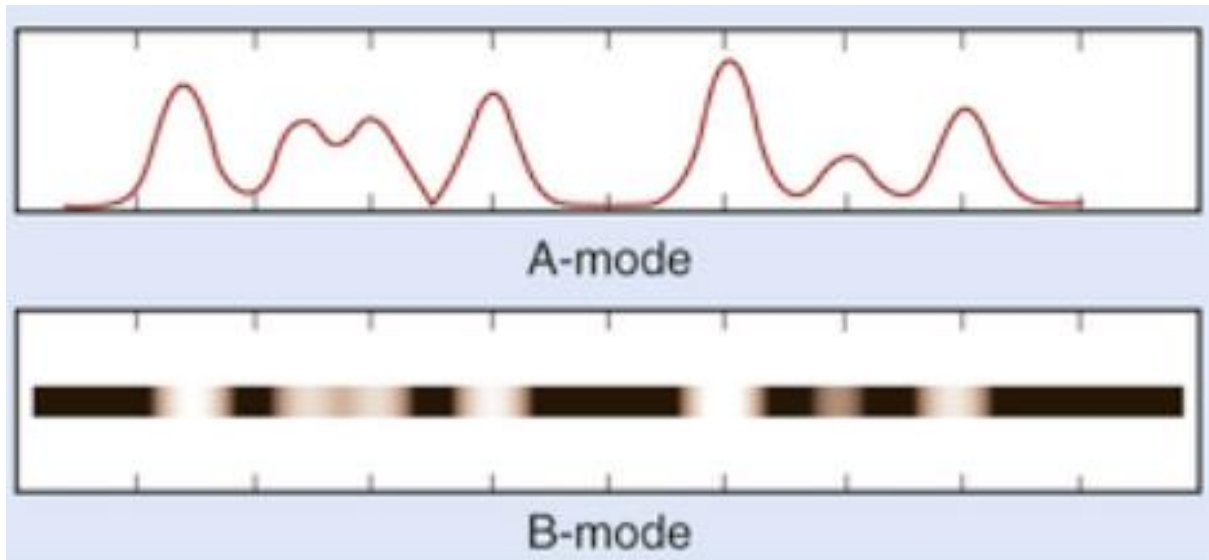
Power doppler



3D sono



elastografie



Ultrazvuk lze diagnosticky využít v řadě aplikací.

- **Ultrazvukové zobrazování** – pořizování tomografických řezů na podkladě rozdílných akustických parametrů tkání
- **Dopplerovské zobrazování** – využití Dopplerova jevu k měření a vizualizaci pohybu nebo toku
- **Dopplerovský průtokoměr** – měření toku krve
- **Ultrazvuková elastografie** – vizualizace pružnosti (tuhosti) tkání
- **Ultrazvuková kostní denzitometrie** – méně vhodná než rentgenové měření

Akustická impedance

- Veličina charakterizuje odpor prostředí vůči procházejícímu UZ vlnění
- Rozhodující význam při UZ zobrazování

$$z = \frac{p}{v} = \rho c$$

p ... akustický tlak [Pa]

v ... akustická rychlost* [m/s]

c ... rychlost šíření ultrazvuku [m/s]

ρ ... hustota prostředí [kg/m³]

Tabulka 2.1: Akustické vlastnosti biologických tkání.

Tkáň	Hustota ($10^{-3} \cdot kg \cdot m^{-3}$)	Rychlost šíření podélných vln ($m \cdot s^{-1}$)	Akustický odpor ($10^{-6} \cdot Pa \cdot s \cdot m^{-1}$)
tuk	0,97	1450	1,41
mozek	1,03	1500	1,56
krev	1,06	1580	1,65
slezina	1,05	1566	1,65
sval	1,07	1585	1,70
kost	1,70	3600	6,10
lebeční kost	1,90	4080	7,80
ledvina	1,036	1561	1,62
játra	1,06	1550	1,65
oční čočka	1,121	1647	1,85
sklivec	1,0037	1534	1,54
bělima	1,033	1650	1,61
rohovka	0,9447	1609	1,55
měkká tkáň	—	1540	—
voda (20°C)	0,9982	1492	—
vzduch	0,00013	331	—

Elastografie

- **Je neinvazivní metoda založená na diagnostickém ultrazvuku nebo magnetické rezonanci zobrazující elastické vlastnosti biologických tkání.**
- **Metoda je obdobou palpačního vyšetření.**
- **Vychází ze skutečnosti, že různé biologické tkáně mají různou elasticitu, a že změny elastických vlastností souvisejí s patologií a abnormalitami tkání.**
- **Podstatou metody je zkoumání odezvy tkání na silové působení.**

- **Mnoho patologických tkání (např. nádorových) vykazuje při UZ nebo MRI vyšetření slabý kontrast nebo je nelze zobrazit vůbec.**
- **Metody založené na mapování elastických vlastností jsou tedy velmi vhodné pro zobrazení struktury a patologie takových tkání.**
- **Měření elasticity přináší novou informaci o tkáních, kterou lze využít pro lékařskou diagnostiku.**
- **Elastografie se využívá zpravidla jako doplňková metoda pro zvýšení specifity diagnózy.**

Klinické aplikace

Játra (fibróza, cirhóza)

Rakovina prsu

Rakovina prostaty

Mozek

Srdeční dysfunkce

Šlachy

Neurodegenerativní

onemocnění

Selhání ledvin

Lymfatické uzliny

Štítná žláza

Mléčná žláza

Měkké tkáně

Pankreas

Kůže

Cévy

Gynekologie

Intravaskulární elastografie

Mechanické vlastnosti tkání

Mechanické vlastnosti tkání závisí především na molekulových vazbách jednotlivých prvků tkání a na jejich mikroskopickém i makroskopickém uspořádání.

- **Pevnost (tuhost):** Strukturní soudržnost a odolnost látky vůči působení vnější síly.
- **Pružnost (elasticita):** Schopnost látky vrátit se po odeznění deformující síly zpět do původního tvaru.
- **Tvárnost (plasticita):** Schopnost látky trvale změnit svůj tvar vlivem působení deformující síly.
- **Viskozita:** Odpor tekutiny ke smykové deformaci. Popisuje vnitřní tření a míru tekutosti kapalin a plynů.

Vlastnosti biologických tkání

Biologické tkáně jsou složité látky, které vykazují:

- Viskózně-elastické vlastnosti
- Anizotropní charakter
- Nelinearita
- Nehomogenita
- Paměťový efekt, adaptibilita
- Vliv stárnutí a kondice organismu

Popis mechanických a hlavně elastických vlastností tkání je tedy velmi složitý a pro modelování a výpočty vyžaduje značné aproximace a zjednodušení.

Hookeův zákon

Elastické vlastnosti tkání lze nejjednodušeji popsat Hookeovým zákonem. Vyjadřuje lineární vztah mezi deformací tělesa (ε) a vnějším napětím (σ) – silou, která tuto deformaci způsobuje. Youngův modul pružnosti

Konstantou úměrnosti je tzv. modul pružnosti.

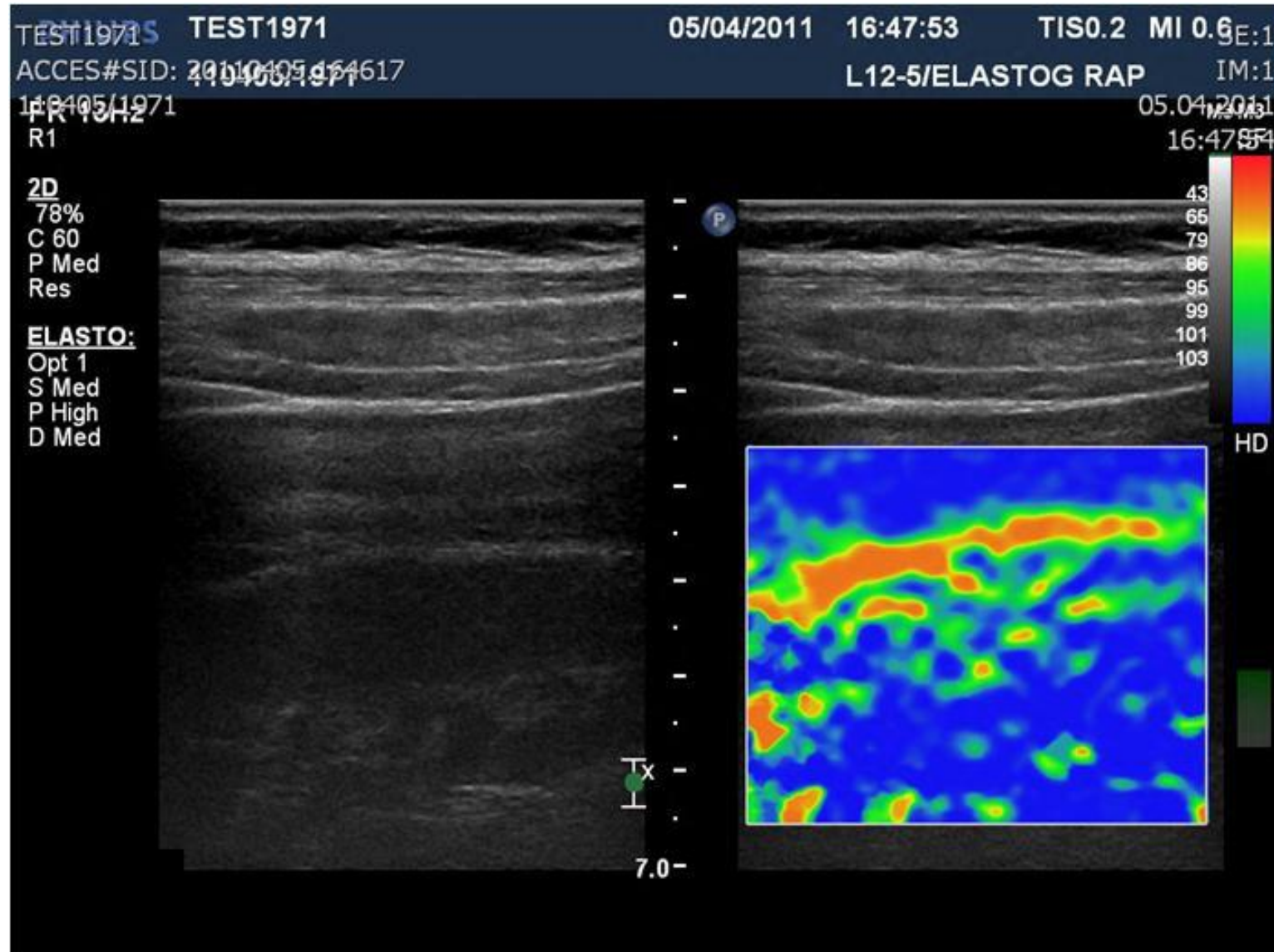
$$\text{modul pružnosti} = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Elasticita tkání

Tabulka 4.1: Elasticita biologických tkání

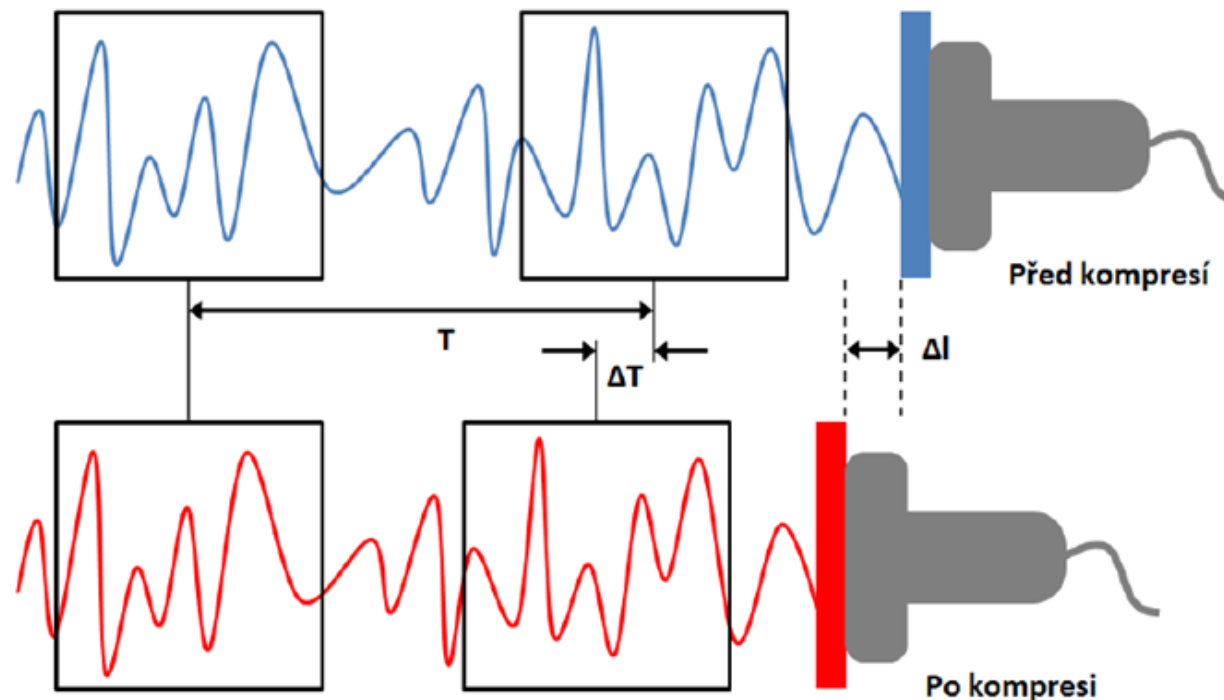
Tkáň		Youngův modul (<i>kPa</i>)
Prsní tkáň	normální tuk	18-24
	normální žláza	28-66
	fibrózní tkáň	96-244
	karcinom	22-560
Prostata	normální anterior	55-63
	normální posterior	62-71
	BPH	36-41
	karcinom	96-241
Játra	normální	0,4-6,0
	cirhotická	15-100
Tepna		700-3000
Chrupavka		790
Šlacha		800
Zubní sklovina		20 000 000-84 000 000
Stehenní kost		11 000 000-20 000 000

Ultrazvuková elastografie

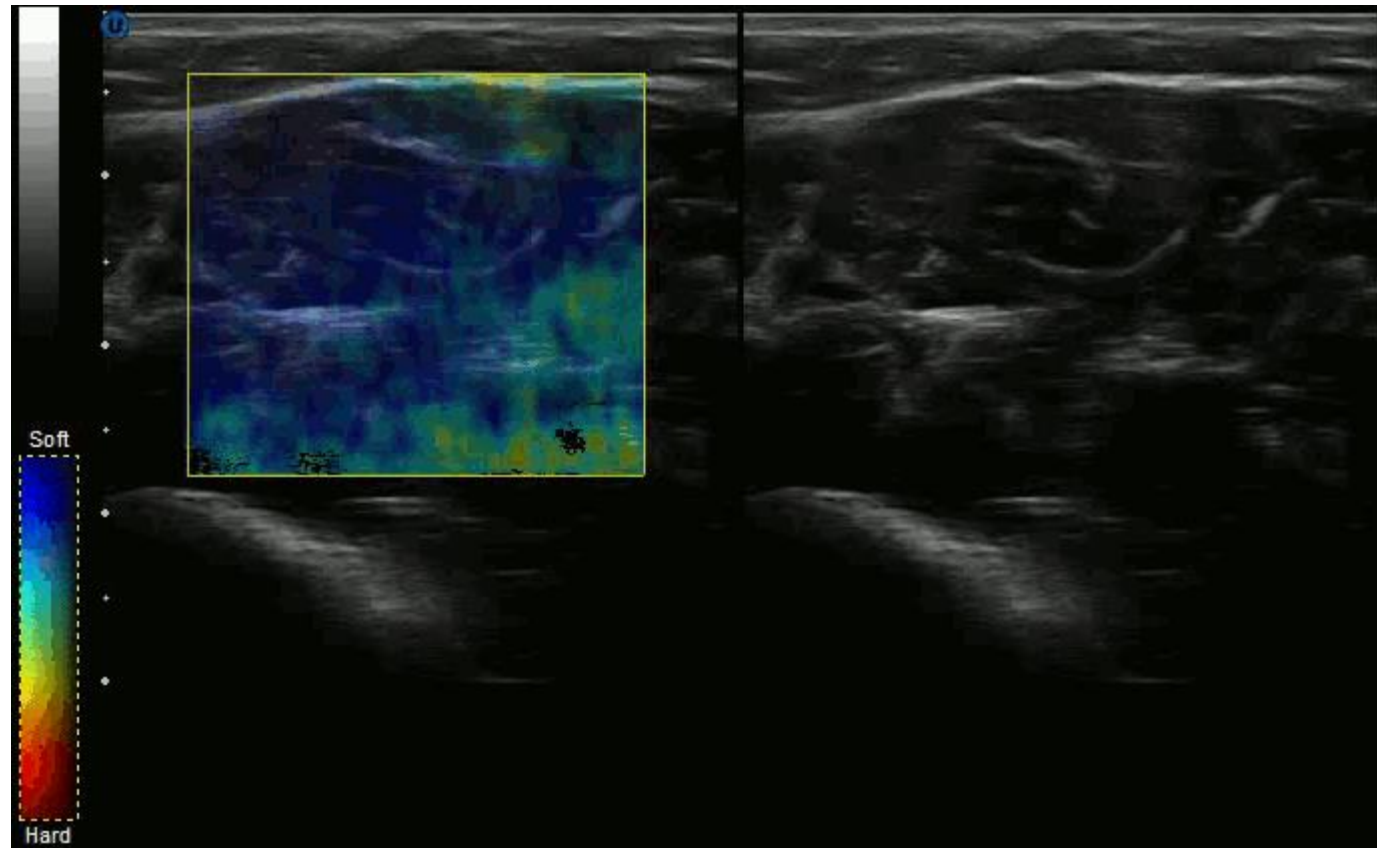


Statická (kompresní) elastografie

Nejčastěji se posun tkáně vyhodnocuje jako časový rozdíl UZ signálů (paprsky A-módu) odražených v různých hloubkách tkáně před a po stlačení.



Manuální komprese



Statická (kompresní) elastografie

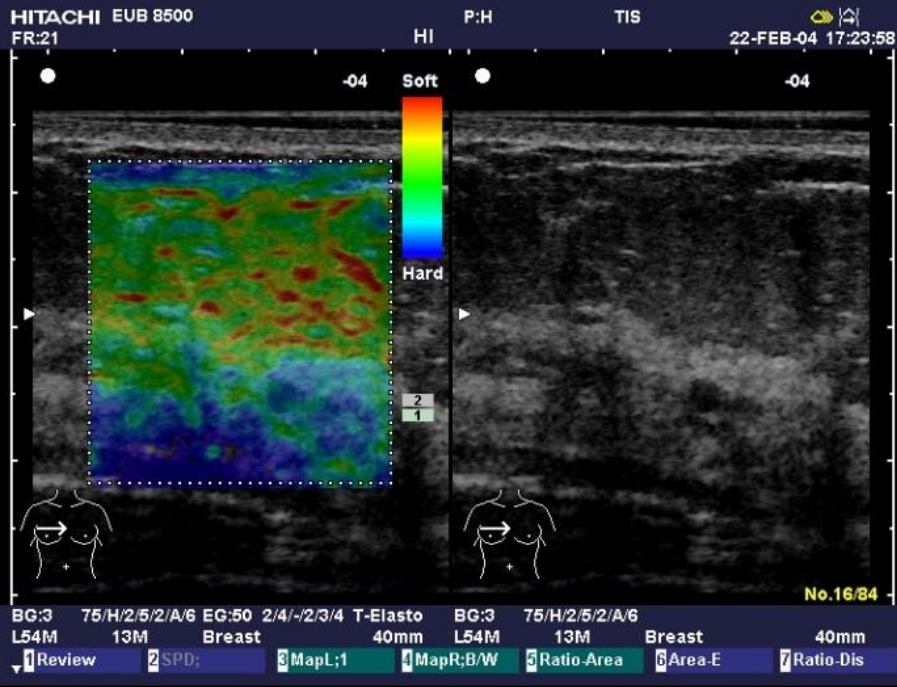
Metoda tkáňového Dopplera:

- Prostřednictvím dopplerovského měření je při deformaci počítána rychlost pohybu tkáně.
- Z časové sekvence obrazů rychlosti pohybu tkáně se následně vyhodnocuje gradient rychlosti.
- Na základě gradientu rychlosti je nakonec odhadována elasticita zobrazovaných tkání.
- Pro dosažení rychlostí pohybu dostatečných pro výpočet musí být tkáň stlačována až o několik milimetrů.

Statická (kompresní) elastografie

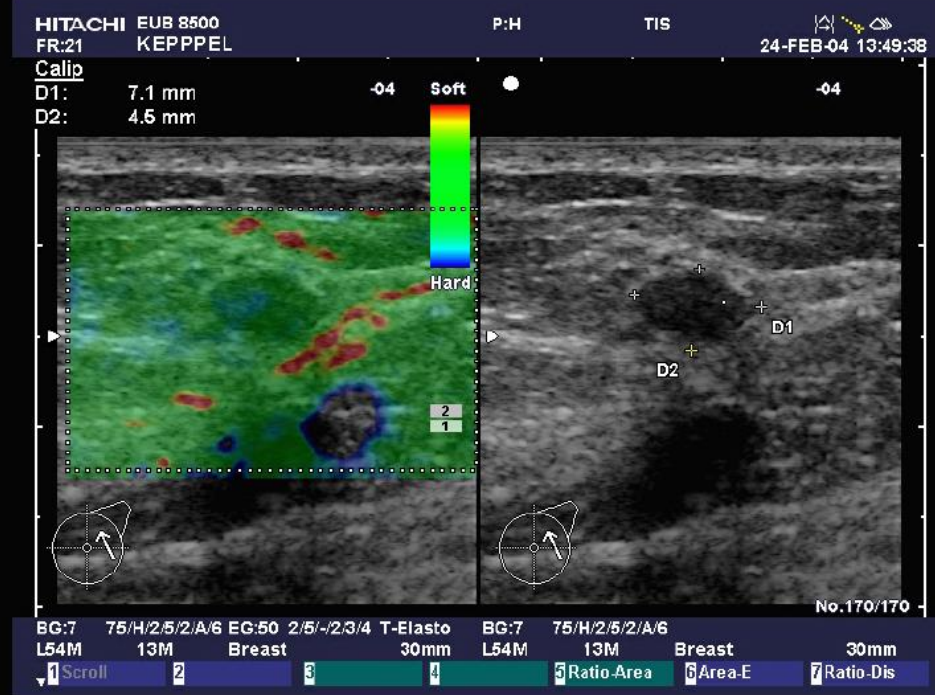
Metoda založená na radiační síle UZ paprsku (ARFI):

- Využívá velkého akustického tlaku fokusovaného UZ ke kompresi tkáně. Velikost radiační síly roste s intenzitou UZ a je největší ve fokusační zóně.
- K vytvoření měřitelných posunů tkáně je zapotřebí velmi intenzivního UZ pulzu.
- Posun tkáně se zjišťuje zobrazovacími (čtecími) pulzy vyslanými před a po aplikaci intenzivního pulzu.
- Posuny jsou vyhodnoceny jako změny UZ signálu (paprsky A-módu) před a po kompresi tkáně.

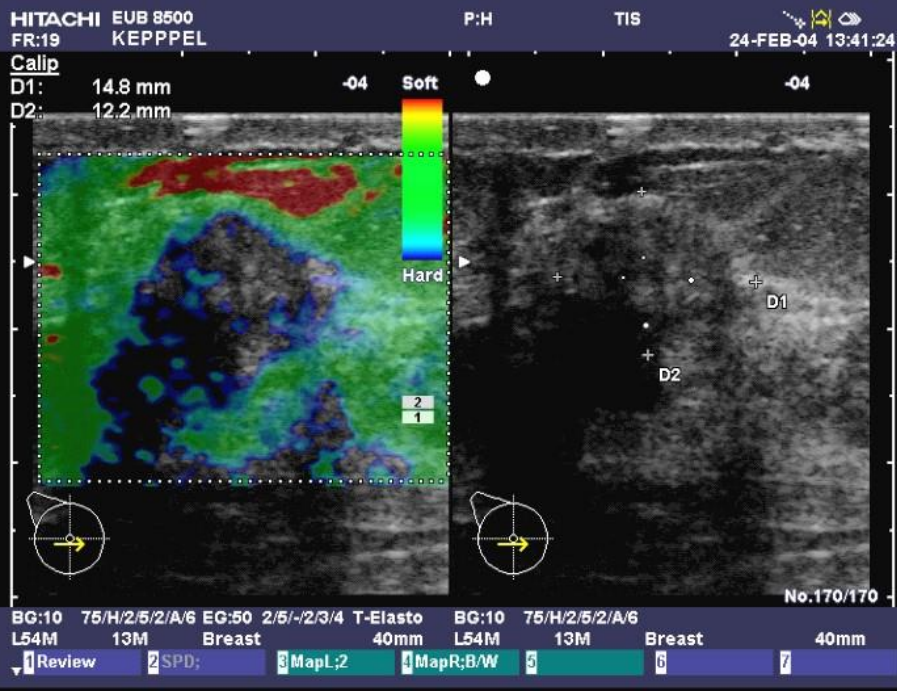


ELASTOGRAM
ZDRAVÉHO PRSU

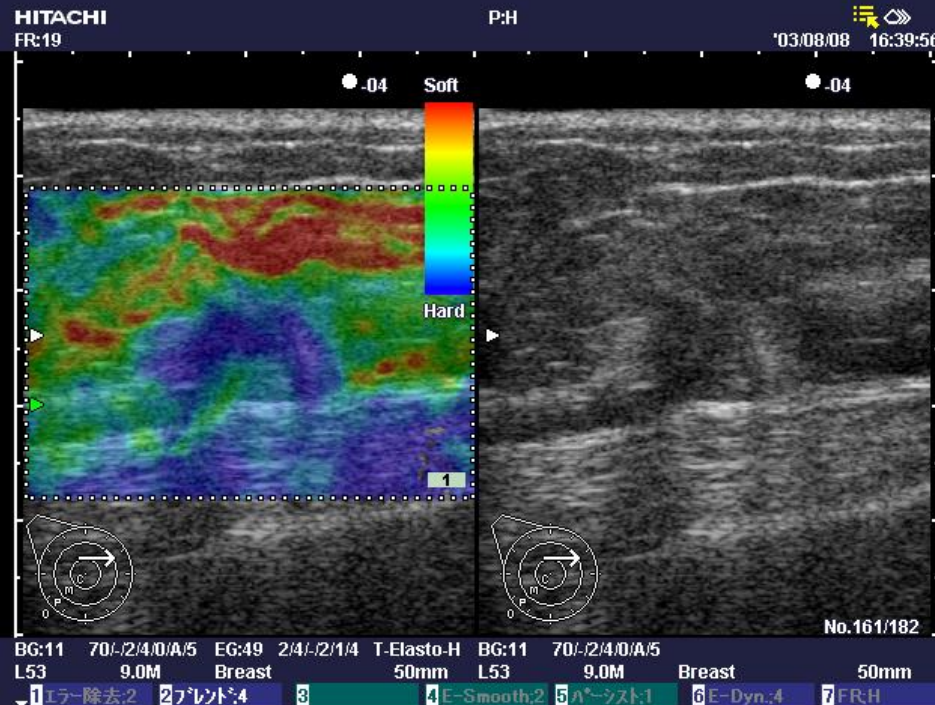
ELASTOGRAM
BENIGNÍ LEZE V
PRSU



ELASTOGRAM
MALIGNÍ LEZE V PRSU



ELASTOGRAM MALIGNÍHO
LOŽISKA V PRSU



Dynamická (shear waves) elastografie

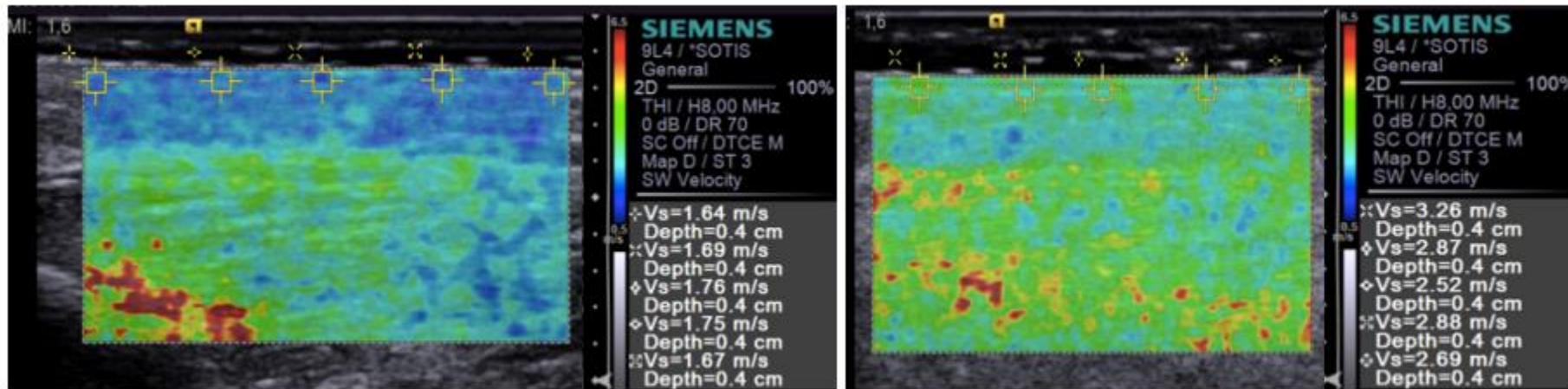
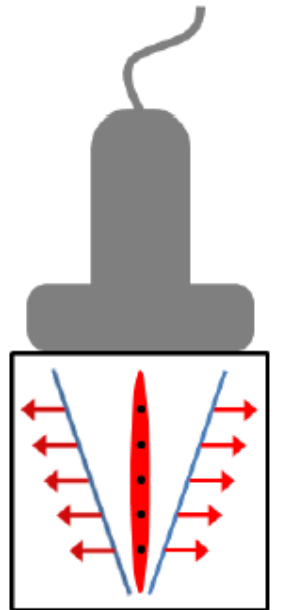
- Je založena na střižných vlnách (shear waves), které vznikají jako odezva tkáně na mechanické vibrace s nízkou frekvencí a šíří se tkáněmi v příčném směru.
- Zdroje vibrací: fyziologické pohyby v organismu, externí vibrátory nebo pulzy akustického tlaku vytvořené fokusovaným UZ paprskem.
- Rychlost šíření střižných vln je nízká (cca 1-10 m/s) a závisí hlavně na elasticitě (E) a hustotě (ρ) tkání:

$$v_s = \sqrt{\frac{E}{3\rho}}$$

Hustota tkání (ρ) je známá: asi 1047 ± 5 kg/m³.

Dynamická (shear waves) elastografie

- Vytvoření střížných vln pomocí akustického tlaku fokusovaného UZ paprsku.
- Sondy umožňují vytvořit více fokusačních zón v různých hloubkách tkáně.



(A) Healthy Control

(B) Patient

Dynamická elastografie – snímek dorsálního úseku ruky

Dynamická (shear waves) elastografie

Výhody:

- Kvantitativní popis elasticity (Youngův modul).
- Zobrazení v reálném čase.
- Detekce milimetrových lézi a velmi přesná lokalizace.
- Každý elastogram je pořízen stejným způsobem. Obrazy lze snadněji srovnávat a analyzovat (reprodukovatelnost).
- Jednoduchá obsluha. Kompresi tkáně provádí přístroj dle nastavených parametrů.

Dynamická (shear waves) elastografie

Nevýhody:

- Náročná technologie a vyšší cena. Vyžaduje ultrarychlé zobrazování a speciální UZ sondy.
- Při kompresi tkáně akustickým tlakem UZ vlnění je nutné volit dostatečnou intenzitu vln, aby měly generované střížné vlny delší dosah a menší útlum.
- S vyšší intenzitou UZ vln souvisí větší riziko biologických účinků UZ a konstrukční problémy (zahřívání sondy).