

# Ultrazvuk



A. Neumann  
Radiologická klinika FN Brno

# literatura

- **Radiologie**  
(J. Nekula, Olomouc)
- Kompendium diagnostického zobrazování  
(J. Neuwirth, Triton)
- Dopplerovská ultrasonografie  
(P. Eliáš, J. Žižka, Nucleus)
- Stručné repetitorium ultrasonografie  
(I. Hrazdira, Audioscan)
- Kurz sonografie  
(M. Hofer, Grada)



# historie

- B mode od 1952
- konec 60 let – dynamické zobrazení
- 1974 duplexní technika



# zvuk

- mechanické vlnění ve hmotném prostředí
- rychlost šíření ve vzduchu 330 m/s
  
- Infrazvuk                    0-16 Hz
- Slyšitelný zvuk            20 Hz-20 kHz
- **Ultrazvuk**                    **20 kHz-10 MHz**
- Hyperzvuk                    >10 MHz



# ultrazvuk

- **podélné mechanické vlnění** s frekvencí nad 20 kHz
  - částice kmitají ve stejném směru kolem své rovnovážné osy a to ve směru šíření zvuku
  - nositelem energie jsou samotné molekuly prostředí
  - šíření vlnění není spojené s přenosem hmoty, přenáší se pouze energie
  - může se šířit jen hmotou, nikdy ne ve vakuu
  - jde o periodické zahušťování a zředování prostředí, ve kterém se šíří

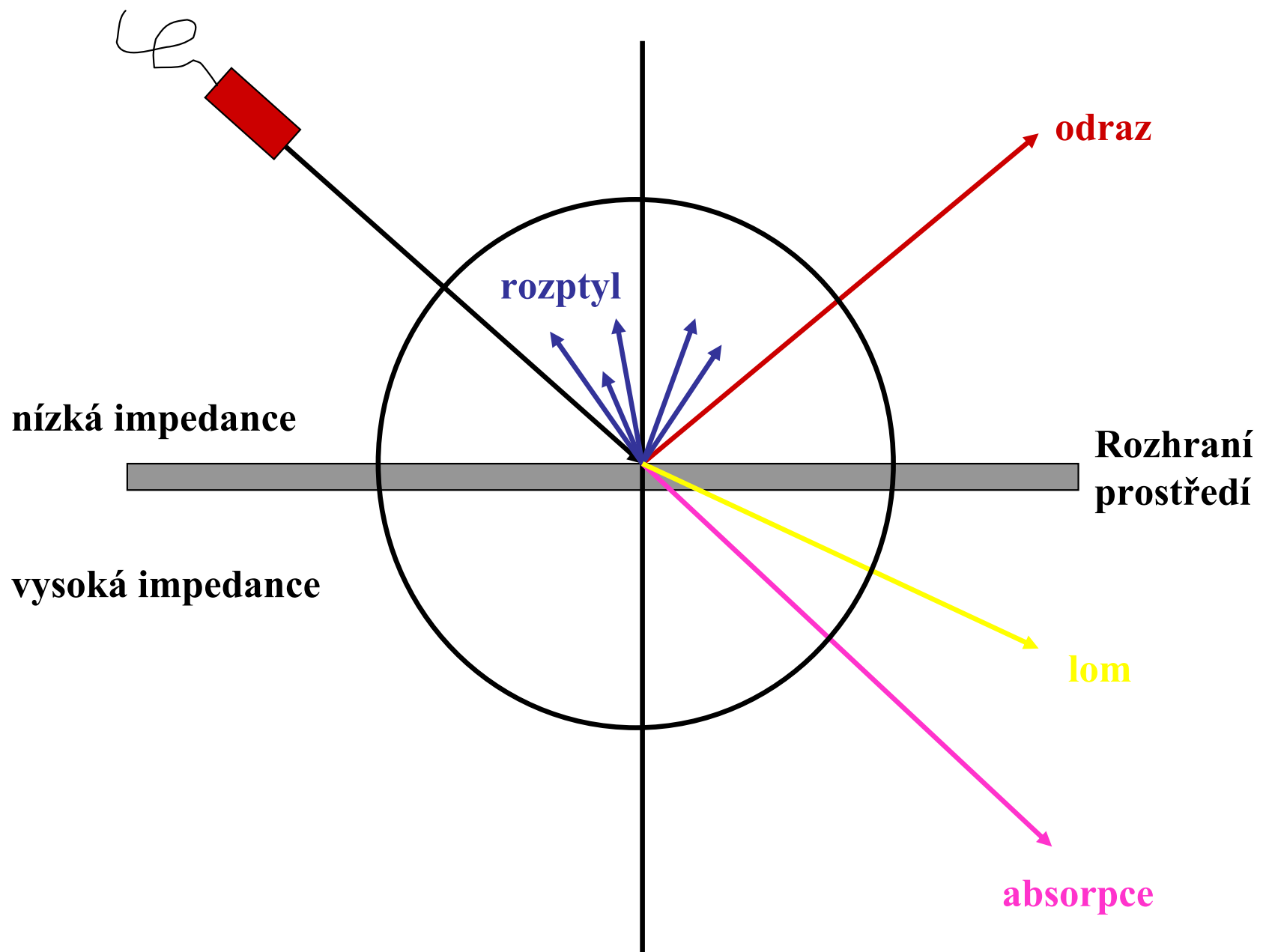
# rychlost šíření

- závisí na hustotě prostředí  
(jak daleko jsou od sebe jednotlivé částice a jak rychle jsou schopné si předat svůj kmitavý pohyb)
- měkké tkáně            1540 m/s
- kosti                      4000 m/s
  - mají vysokou hustotu a blízko u sebe uložené molekuly
- vzduch                    330 m/s
  - molekuly daleko od sebe

# fyzikální vlastnosti

- **odraz**
  - na rozhraní dvou prostředí s výrazně rozdílnou hustotou, a to tím více, čím větší je rozdíl mezi jejich hustotami
- **rozptyl**
  - vzniká na mikroskopických rozhraních, kterých velikost je menší než vlnová délka vysílaného ultrazvuku
- **ohyb, lom**
  - vzniká na rozhraní dvou prostředí, když vlnění nedopadá kolmo
- **absorpce**
  - postupně ztrácí svoji energii při průchodu hmotou (formou tepelné energie)

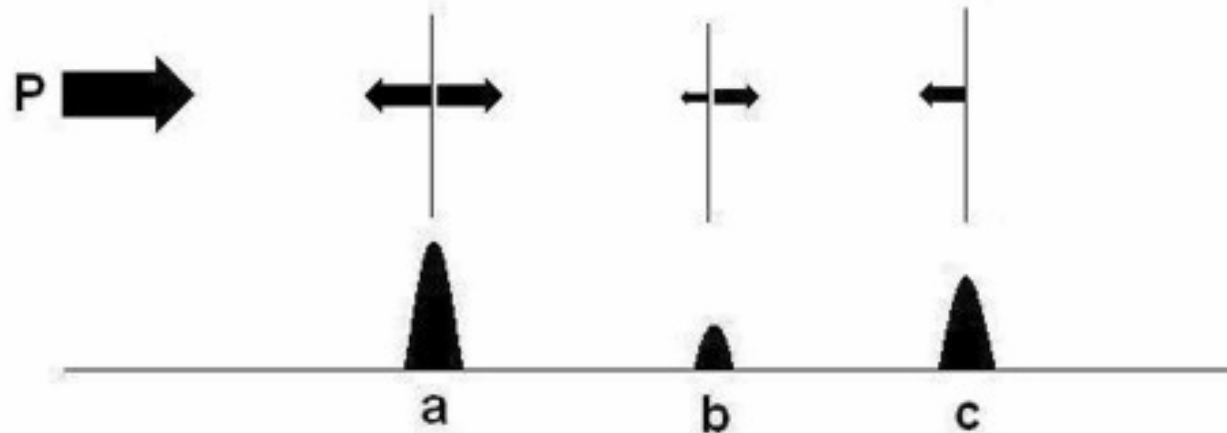






# princip

- Na rozhraní dvou prostředí se část energie odráží a část postupuje hlouběji. Množství odražené energie závisí na rozdílu impedancí dvou tkání.

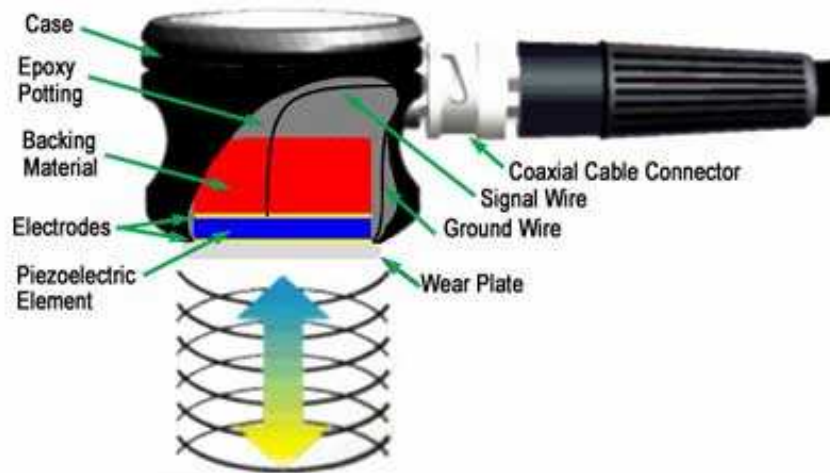


# akustická impedance

- interakci mezi ultrazvukovým vlněním a prostředím, popisuje veličina akustická impedance ( $Z$ )
  - akustická impedance je daná součinem hustoty prostředí a rychlosti, kterou se ultrazvuk v tkáni šíří
  - označuje **odpor, který klade prostředí šíření ultrazvuku**
  - při vysoké hustotě prostředí molekuly těsně vedle sebe způsobují, že jejich zahušťování a ředění je energeticky velice náročné a velká část energie se ztrácí ve formě tepla.
- rozdíly v akustické impedanci umožňují tvorbu dvourozměrného obrazu

# vytváření UZ vlnění

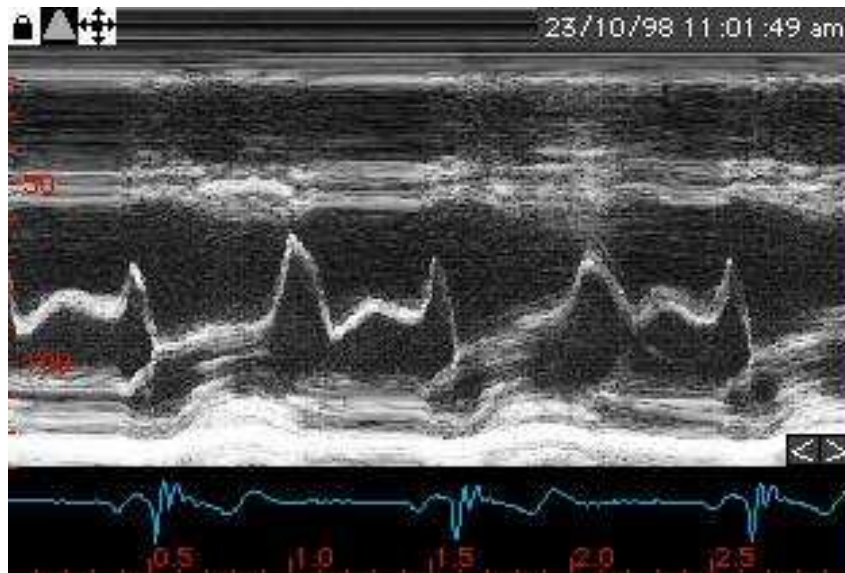
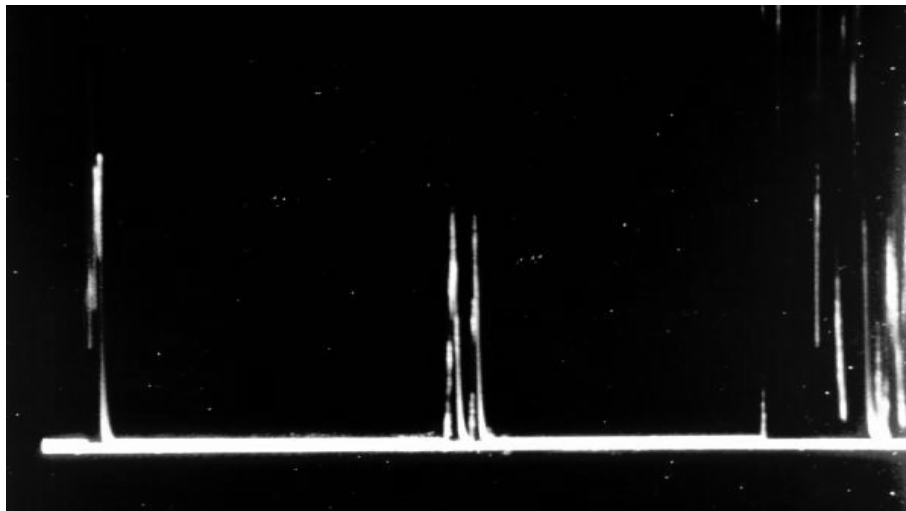
- polykrystalický ultrazvukový měnič
- piezoelektrický efekt
  - rozkmitání pomocí vysokofrekvenčního napětí – zdroj mechanického vlnění



# typy zobrazení

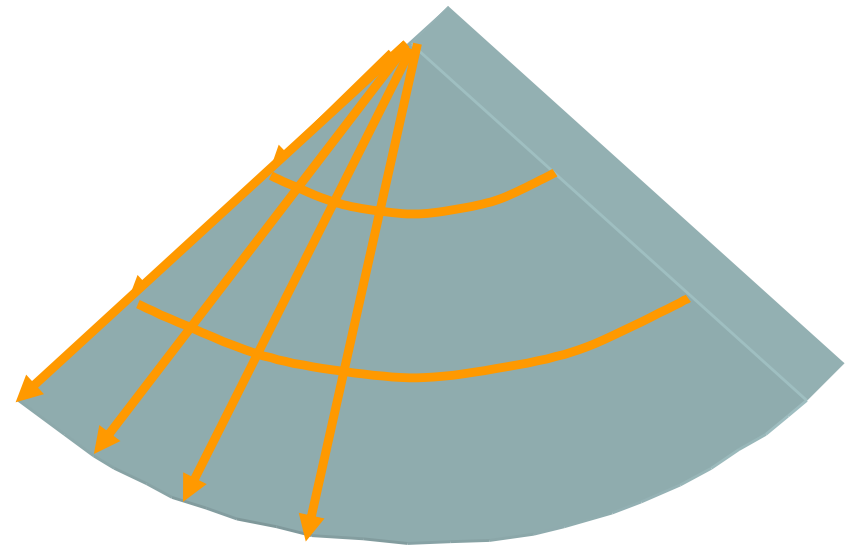
- A – **amplituda**, množství odražené energie
- M – **motion**, zachycení pohyblivé struktury A obrazem, nahrazení výchylek časové základny obrazovými body
- B – **brightness**, dvourozměrné zobrazení
  - intenzita odrazu – echogenita
  - směr a hloubka

# typy zobrazení



# B mode

- sonda vyšle UZ vlnu a detekuje s jakou amplitudou se vrací
- dle doby návratu vypočítá z jaké hloubky byl signál odražen
- dle amplitudy přiřadí bodu intenzitu jasu na obrazovce
- tento bod zobrazí
- totéž se opakuje několikrát v laterálním směru



# echogenita

- nezávisí na fyzikální hustotě látek
  - hyperechogenní  $\neq$  hyperdenzní
- hyperechogenní - **světlé**
- hypoechogenní - **tmavé**
- anechogenní - **černé**
  - krev, moč, žluč, výpotek, cysty

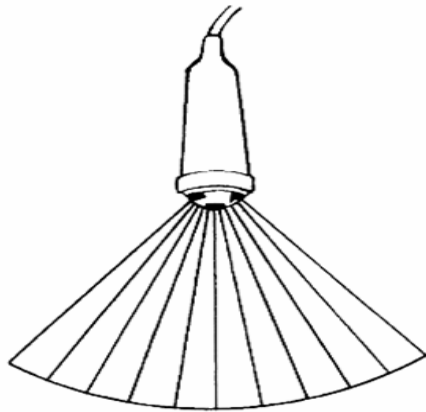
# popis přístroje



- zobrazovací jednotka
- záznamové jednotky
- sondy
- ovládací panel + klávesnice
- elektronické obvody – buzení piezoelektrických elementů sondy

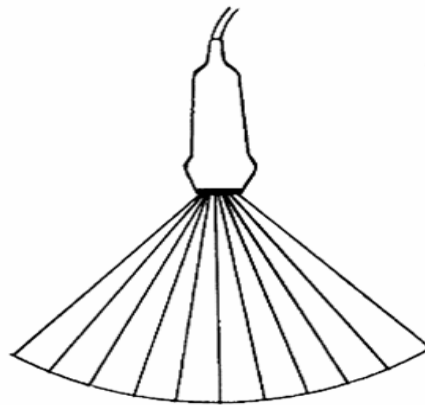


# typy ultrazvukových sond



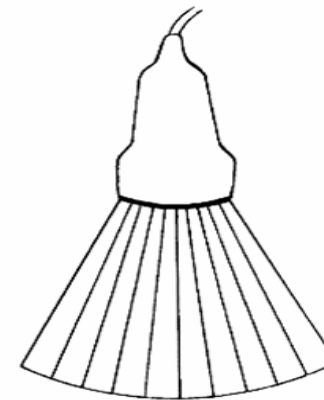
## Mechanická sonda:

umožňují B zobrazení v reálném čase na principu mechanického vychylování svazku, který je generován jedním měničem umístěným na otočné hlavici



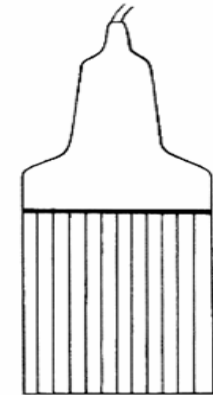
## Sektorová sonda: 2-3 MHz

všechny měniče jsou uspořádána do krátké lineární řady a jsou buzeny současně, ale s různou fází. Dochází k elektronickému vychylování svazku v sondě s úzkou základnou



## Konvexní sonda: 2,5-5 MHz

měníče jsou uspořádány do konvexně vyklenuté řady



## Lineární sonda: 5-10 MHz

měníče jsou uspořádány v jedné řadě a počet vertikálních obrazových řádků je úměrný počtu měničů

**Umožňují spektrální i barevný dopplerovský záznam**



# jiné typy sond

- podle použití
  - povrchová – lineární
  - břišní – konvexní
  - transvaginální
  - esofageální
  - transrektální
  - endoluminální,...

# biologické účinky

- tepelné
  - v důsledku absorpce akustické energie
- netepelné biologické účinky
  - kavitace – prahový jev, vznik plynových bublin v podtlakové fázi UZ vlny – rezonují nebo kolabují
- princip ALARA (as low as reasonably achievable)
- indexy akustického výkonu
  - TI kostní, měkkých tkání, lebeční poměr nastaveného akustického výkonu k výkonu vyvolávajícímu vzestup teploty o 1st. - do 4
  - MI do 1,9

# Doppler



- Christian Doppler (1803-1853)
- princip formulován v roce 1842
- přibližuje-li se zdroj zvuku o konstantní výšce tónu (frekvenci) směrem k pozorovateli, vnímá pozorovatel výšku tónu vyšší, rozdíl mezi frekvencemi záleží na rychlosti pohybu
- platí pro všechny druhy vlnění
  - astronomie

# význam doplerova jevu v UZ

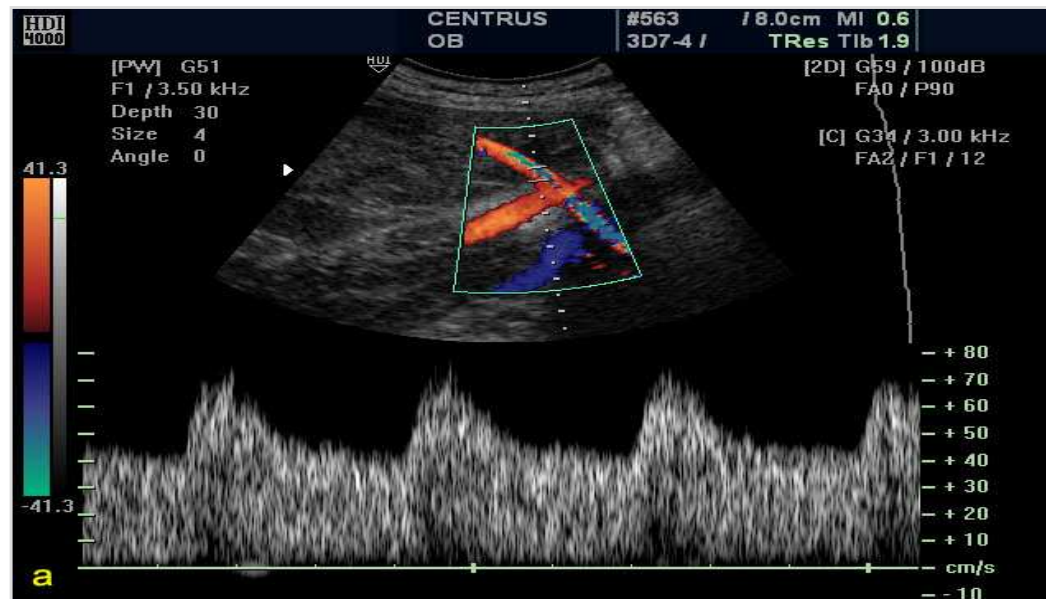
- odraz od suspenze krvinek
- velikost erytrocytů je menší než vlnová délka ultrazvuku – Raileighův – Tyndallův
- rozdíl, mezi přijímanou a vysílanou frekvencí označujeme jako dopplerovský frekvenční posun
- spektrum posuvů při rychlostech v těle a použité frekvenci sondy – rozmezí stovek – tisíců Hz – slyšitelný frekvenční rozsah

# typy dopplerovských záznamů

- barevný záznam
  - umožňuje určit směr a přibližnou rychlost toku
- spektrální záznam
  - grafické vyjádření závislosti rychlosti krevního toku v čase (umožňuje tak přesnou kvantifikaci průtokových parametrů)
- power Doppler

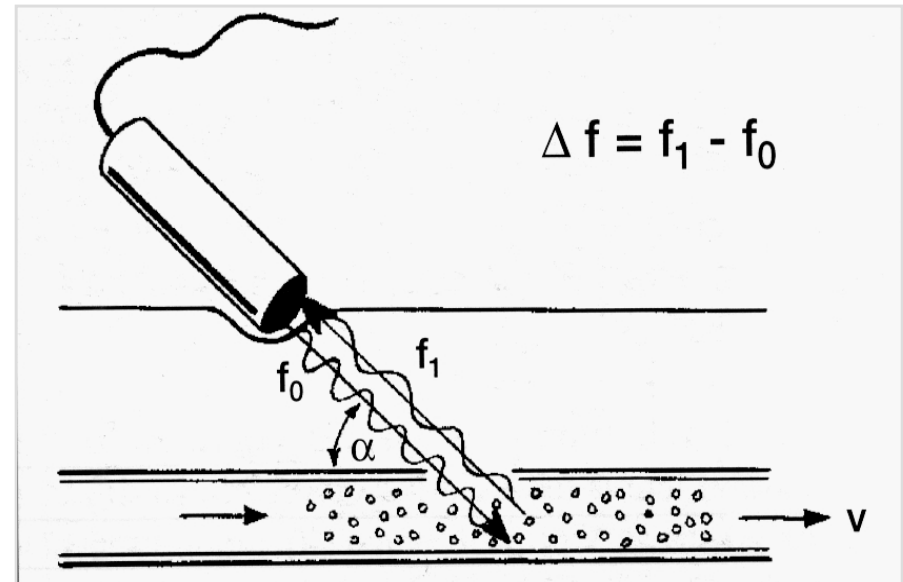
# duplexní a triplexní metoda

- duplexní
  - kombinace dvojrozměrného dynamického zobrazení a impulsního dopplerovského měření
- triplexní
  - kombinace B zobrazení se spektrální křivkou a barevným dopplerem



# spektrální záznam

- velikost frekvenčního posuvu je přímo úměrná rychlosti krevního toku a kosinu úhlu, který svírá směr doppler. signálu a tok krve
  - kritická mez nad 60st.
- grafické vyjádření závislosti rychlosti krevního toku na čase
- tok směrem k sondě se zobrazuje nad nulovou linií



$$\Delta f = \frac{2f_0 v \cos \alpha}{c}$$

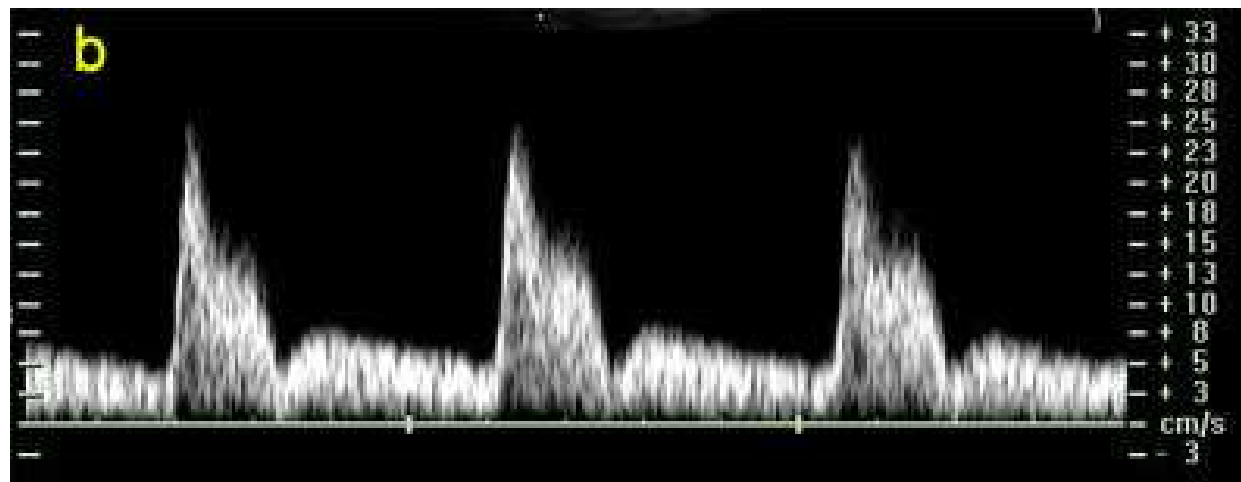


# dopplerovské měniče

- s nemodulovanou nosnou vlnou  
(kontinuální nosná vlna)
  - 2 piezoelektrické elementy
  - chybí jim axiální rozlišení
  - měří libovolně velké rychlosti
- s impulsně modulovanou nosnou vlnou  
(pulzní systémy)
  - střídání vysílání a příjmu
  - přesné určení hloubky, vzorkovací objem
  - rychlostní limit – Nyquistův limit / aliasing
    - neschopnost zaznamenat frekvenční posuny větší než je  $\frac{1}{2}$  hodnota aktuální pulzní repetiční frekvence

# spektrální záznam

- podél jediné vertikální obrazové linie jsou vysílány opakované impulzy
- ve vzorkovacím objemu je dopplerovská informace o rychlosti toku analyzována a zobrazena jako dopplerovské spektrum – časový průběh rychlosti



# barevný doppler

- barevně vyjádřená dopplerovská informace vložená do standardního B obrazu
- semikvantitativní, přibližný rozsah rychlostí
- tok směrem k sondě se zobrazuje červeně

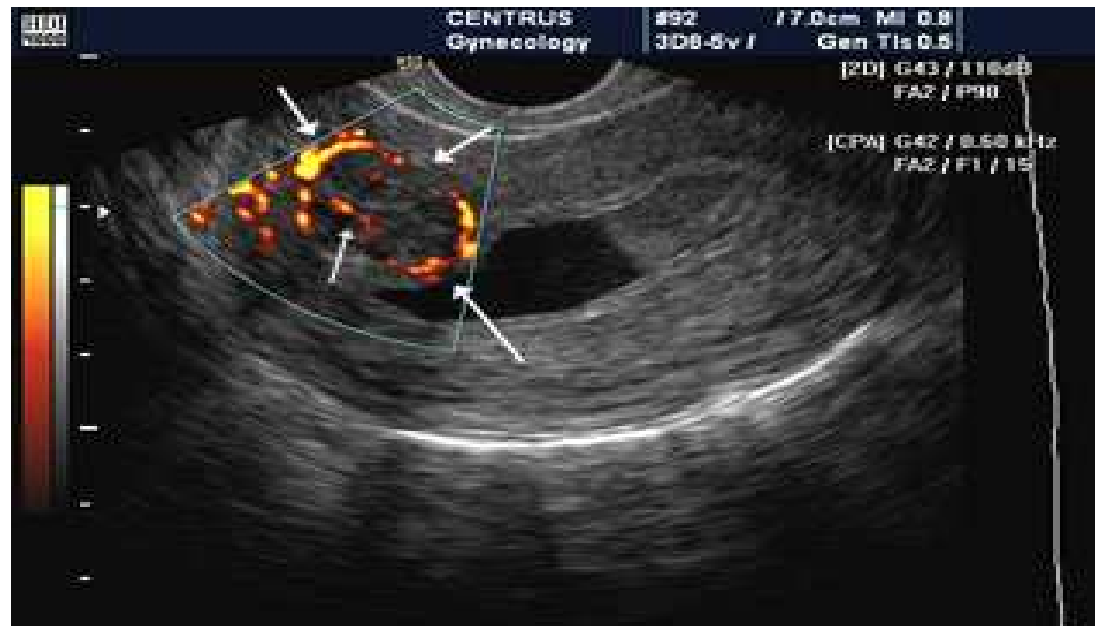


# barevný doppler

- po každém impulzu vyslaném podél jedné vertikální obrazové linie následuje příjem více vzorků odrazů vracejících se s různým zpožděním
- sběr dat podél jedné linie minimálně 3x – snížení obnovovací frekvence
- sady odrazů jsou porovnávány na fázové posuny

# energetický doppler

- zobrazuje celou energii dopplerovského signálu
  - úměrná ploše vymezené spektrální křivkou
- málo závislá na dopplerovském úhlu, nedochází k aliasing efektu
- množství pohybujících se krvinek - energie (amplituda) dopplerovského signálu



# interpretace dopplerovského záznamu

- přítomnost toku
- směr toku
- rychlost toku



# charakteristika toků

- rychlostní profily
  - zátkový profil
    - stejná rychlost v celém profilu, ascendentní aorta, spektrální okno
  - parabolický profil
    - v malých cévách
  - oploštělý parabolický profil
    - střední velikost tepen, úzké spektrální okno
- laminární, turbulentní proudění – Reynoldsovo číslo
  - viskozita krve, průměr cévy, hustota krve
  - ve spektr. záznamu – rozšíření spektra na obě strany



# charakteristika toků

- kvantifikace impedance
  - úhrnný odpor
  - nízkoodporový tok – orgány s potřebou vysokého minutového průtoku – vnitřní karotidy, aa. renales
  - vysokoodporový tok – končetinové tepny
  - $RI = s-d/s$

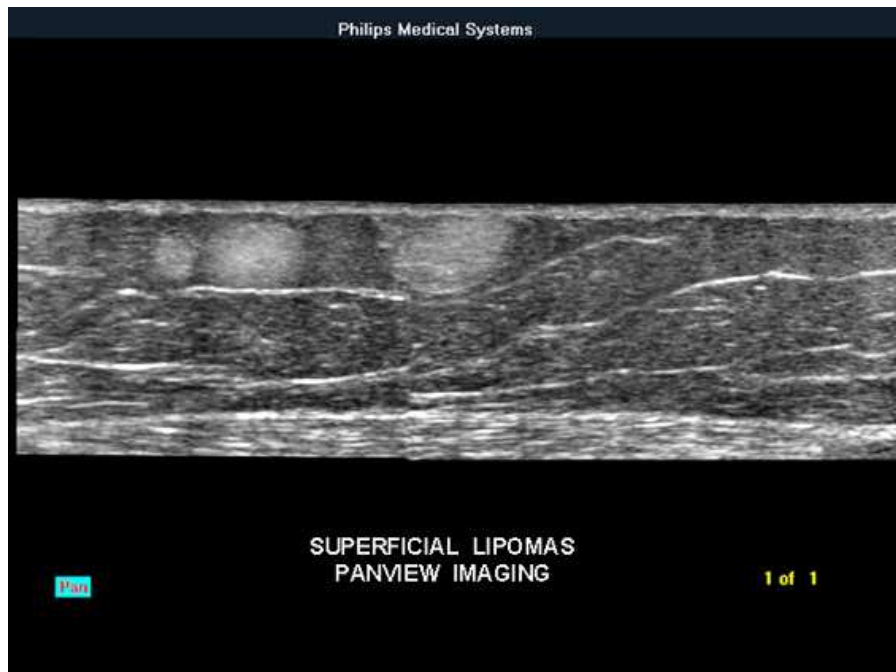


# nové techniky

- Tissue harmonic imaging
  - přijímač zachycuje kmity harmonické – násobky vysílané frekvence, narůstají s hloubkou, nízká amplituda
  - kmity vznikají ve tkáňových strukturách v důsledku nelineárního šíření budícího impulsu
    - dvojnásobky frekvencí – úzkopásmový signál, aby se oblast harmonických frekvencí nepřekrývala s frekvencemi základními
    - technika inverzní fáze – umožňuje použít větší šíří pásma
- kontrastní látky
- sono CT – obraz skládán z několika úhlů

# nové techniky

- panoramatické zobrazení
- 3D zobrazení

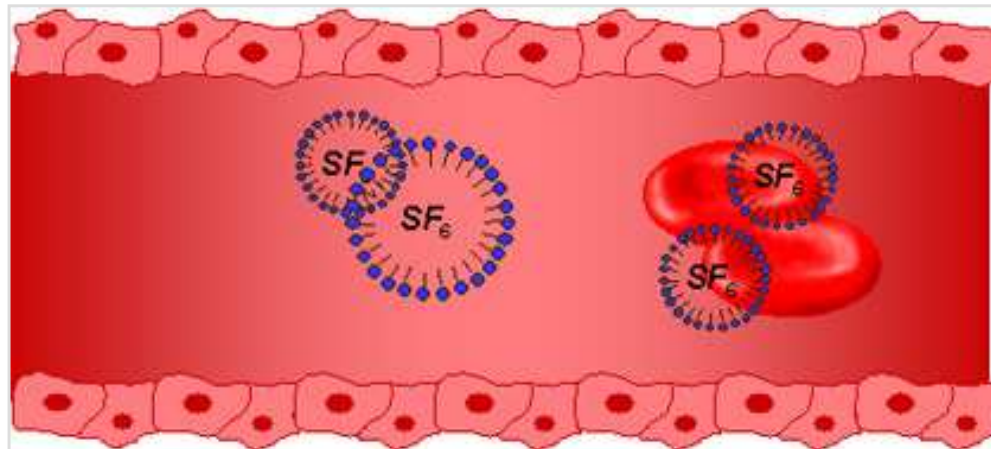


# kontrastní látky

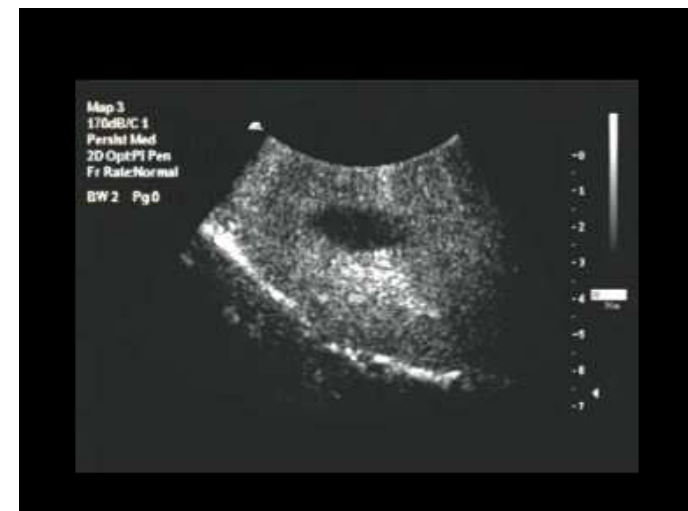
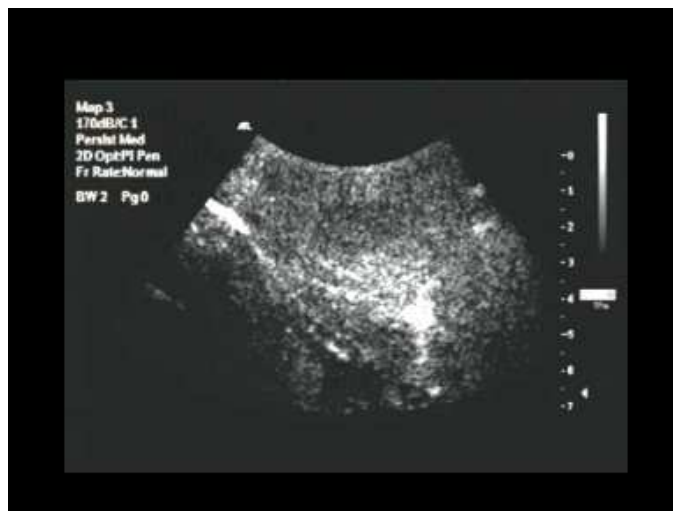
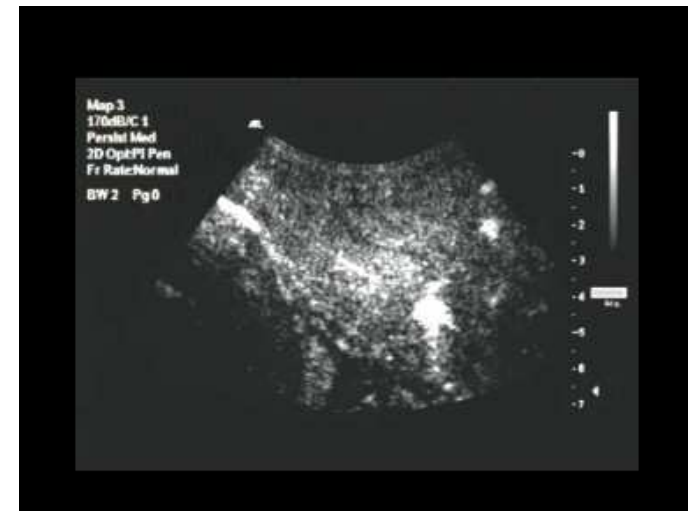
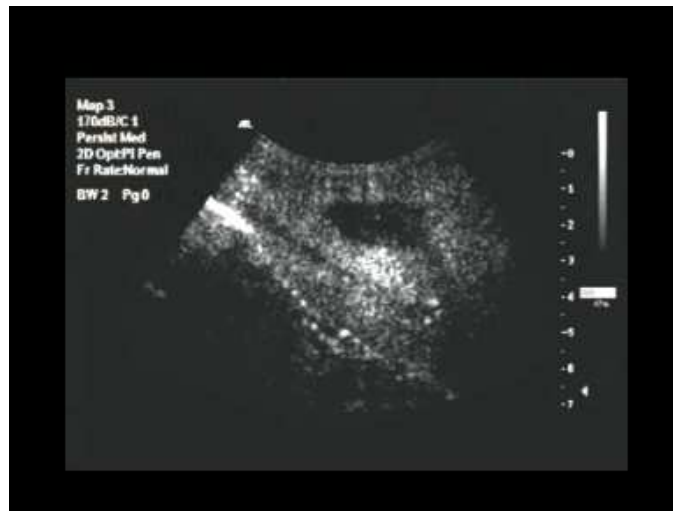
- 1968 - po fyziologickém roztoku
  - rezonance mikrobublin, velikost 1-10um
- první generace – sekundy
- druhá generace – průnik plicním řečištěm, ne změny v echogenitě tkání
- třetí generace – zvyšují echogenitu i tkání
- výhodná kombinace s harmonickým zobrazením

# SonoVue

- UZ kontrastní látka III. generace
- prášek, který po smíchání s fyz. roztokem tvoří disperzi fluoridu sírového v mikrobublinách velikosti kolem  $8\mu\text{m}$
- zvyšuje echogenitu krve, což vede ke zlepšení koeficientu signál – šum
- zvýšení intenzity signálu 3-8 min.



# SonoVue – hepatocellular carcinoma



# postup vyšetření

- zadání údajů o pacientovi
- výběr sondy
- orientace sondy
- vyšetření ve třech směrech
- záznam



# použití UZ

- dutina břišní
  - hlavně parenchymové orgány, ale i tenké a tlusté střevo
- štítnice, prsa, prostata, varlata
- povrchové měkké tkáně obecně
- klouby, šlachy, svaly
- UZ mozku u malých dětí (fontanela)

# **výhody UZ vyšetření**

- bezpečná, levná a dostupná metoda
- prakticky neexistují kontraindikace
- dostupnost u lůžka pacienta
- značné prostorové rozlišení, především u vysokofrekvenčních sond
- možnost Doppler. zobrazení toku, prokrvení





# nevýhody, limitace

- množství artefaktů
- subjektivní vyšetření
- omezená vyšetřitelnost u obézních pacientů
- špatná přehlednost DB při zvýšené plynatosti GIT (pankreas)