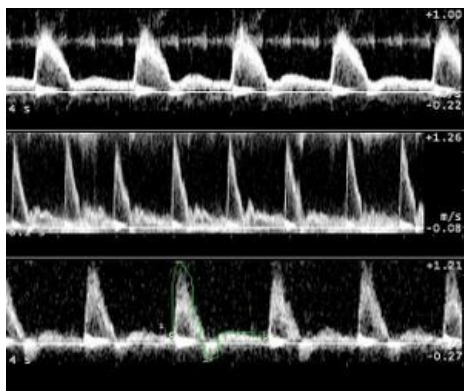


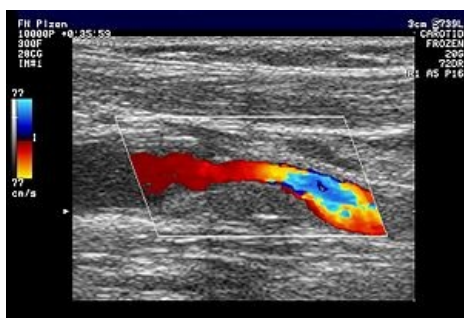
Dopplerovská zobrazení

Dopplerovská zobrazení jsou metody přijímání a zpracování dat, která se získají při dopplerovské ultrasonografii. Obecně je můžeme rozdělit na spektrální a barevné, ale existují i další metody, které se zaměřují na práci se specifickými daty přijímaného ultrazvuku.

Spektrální záznam



Různé příklady spektrálního zobrazení toku krve proudící směrem k sondě.



Barevný doppler stenózy vnitřní karotidy.

Slouží k zaznamenání spektra rychlostí určitého vzorkovacího objemu v čase. Svislá osa grafu (tzv. Dopplerovského spektra) zobrazuje dopplerovský posun, nebo rychlost, kterou přístroj vypočítá z daných hodnot úhlu insonance, rychlosti šíření zvuku v prostředí, frekvence vysílaného zvuku a z naměřené hodnoty přijaté frekvence. Pokud se sledovaný předmět pohybuje směrem k sondě, jsou hodnoty jeho rychlostí zobrazovány nad horizontální (časovou) osou, pokud se pohybuje od sondy, je jeho rychlost zaznamenávána pod osou. Protože se v průměru cévy nepohybuje krev (jednotlivé krvinky) vždy stejnou rychlostí, naměříme v jednom okamžiku více rychlostí. Této skutečnosti odpovídá v grafu zesílení křivky v různě široký pruh namísto tenké čáry.

Výhodou spektrálního zobrazení je přesná kvantifikace výstupních dat.

Barevný dopplerovský záznam (BD)

Barevný dopplerovský záznam, tzv. „barevný doppler“, je metoda **barevného kódování toku**. Rychlost toku je zobrazena *červeně*, směřuje-li pohyb k sondě, nebo *modře*, směřuje-li pohyb od sondy (je vhodné si uvědomit, že při mapování průtoku krve v cévách tyto barvy nerepresentují odlišení žilní a tepenné krve). **Jas barvy** je funkcí rychlosti toku – čím rychleji se kapalina pohybuje, tím je odstín dané barvy jasnější. Turbulentní proudění je zobrazeno *zelenou* barvou.

Barevné dopplerovské mapování průtoku (CFM, CDI)

(Color Flow Mapping = **CFM**, Color Doppler Imaging = **CDI**)

Barevné dopplerovské mapování průtoku nám na monitoru zobrazuje dva přes sebe položené, do sebe zakomponované, obrazy (jedná se o **duplexní metodu** zobrazení). Je to jednak **B obraz** v tónech šedi zobrazující morfologii zkoumané oblasti (ultrazvukový obraz), jednak **obraz barevný**, jenž reprezentuje změřený frekvenční posuv odraženého nebo rozptýleného vlnění a v podobě barvy vypovídá o směru a rychlosti pohybu toku.

Hlavní **výhodou** této metody je zjednodušení při orientaci v cévních strukturách. Snadno totiž díky barevným rozdílům odlišíme cévy, jimiž proudí krev, a jiné tkáňové prostory.

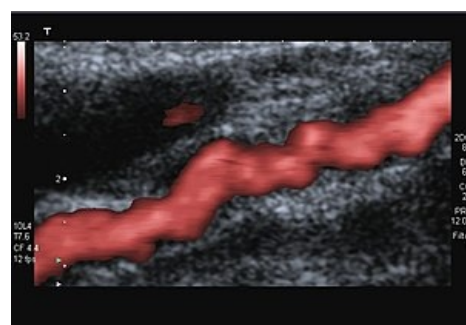
Nevýhodou je nemožnost zobrazit kompletní informaci o toku – zobrazována je průměrná rychlost toku a směr toku.

Barevný energetický doppler (CDE, ED, CPA, CAI)

(Colour Doppler Energy = **CDE**, Energetický Doppler = **ED**, Colour Power Angio = **CPA**, Colour Amplitude Imaging = **CAI**, Barevné kódování energie toku, Doppler Power Mode, Power Mapping)

Tato metoda zobrazuje energii, která vzniká na pohybujících se strukturách. Barevný odstín pouze jedné barvy (nejčastěji oranžové) v každém pixelu odpovídá intenzitě odražené zvukové vlny, tedy vlastně hustotě erytrocytů. Větší hustota pohybujících se objektů se standardně vyjadřuje světlejším odstínem, menší hustota tmavším odstínem.

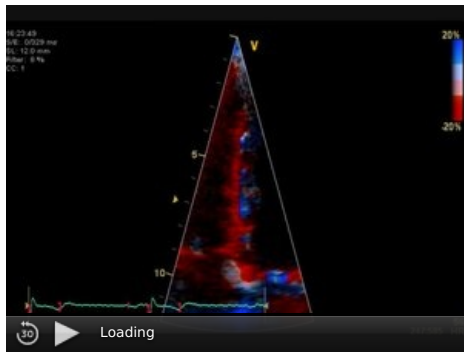
Hlavní **nevýhoda** tohoto zobrazení spočívá v tom, že nemůžeme zároveň odečítat informace o rychlosti či směru toku krve. Tento nedostatek můžeme obejít použitím metody **směrového energetického dopplera** (Directional Power Doppler) nebo kombinací se spektrálním zobrazením, v tzv. **triplexním režimu**. Dále je metoda citlivá k pohybovým artefaktům, takže při aplikaci se musí dávat pozor na výběr místa, kde se těmito rušivým elementům lze vyhnout.



Energetický doppler v růžovém provedení. Velmi časté je také použití oranžové barvy.

Velkými **výhodami** jsou nezávislost na rychlosti toku a dopplerovském úhlu. Proto se energetický doppler používá na zobrazení malých cév, ve kterých krev neproudí tak rychle a je také vhodný na zobrazení perfuze orgánů. Nedochází také k aliasing efektu a je potlačen šum.

Dopplerovské zobrazení pohybů tkání (TDI)



TDI mezikomorové přepážky srdeční.

(*Tissue Doppler Imaging = TDI*)

Barevné zobrazení pohybů tkání umožňuje barevně zobrazit rychlost a směr i řádově **pomalejších pohybů** (1–10 mm/s), než je např. proudění krve v cévách.

Využití nachází především v *kardiologii* (<https://cs.wikipedia.org/wiki/Kardiologie%7C>) (pohyby srdeční stěny), dále v *angiologii* (<https://cs.wikipedia.org/wiki/Angiologie%7C>), kde se s její pomocí hodnotí elastické vlastnosti cévních stěn, či v *ortopedii* (<https://cs.wikipedia.org/wiki/Ortopedie%7C>), kde je předpokládáno její uplatnění při posuzování svalové kontrakce a pohybů šlach.

Harmonické zobrazení (THI)

(*Tissue Harmonic Imaging = THI*)

Modifikace kontrastního ultrazvukového vyšetření, nazývaná „harmonické zobrazení“, má za cíl odstranění **pohybových artefaktů**, kvůli kterým je až 20 % pacientů konvenčním dvourozměrným ultrazvukovým zobrazením obtížně vyšetřitelných.

Ke zvýšení intenzity dopplerovského signálu se používají kontrastní látky, v tomto případě takové, které obsahují plynové bubliny o velikosti několika mikrometrů. Tyto bubliny při interakci s ultrazvukovými vlnami rezonují a vysílají vlnění vracející se zpět ke zdroji ve směru odrazu. Ono vlnění nevysílají o jedné jediné frekvenci, ale i o jejích *vyšších harmonických násobcích*. Nastaví-li se přijímač tak, aby nezpracovával odrazy základní frekvence, nýbrž pouze vlnění očekávané harmonické frekvence, bude výsledná informace vypovídat jen o strukturách obsahujících mikrobubliny (pohybové artefakty v základní frekvenci tak budou potlačeny).

Výhodou metody je zkrácení doby vyšetření pacientů obtížně ultrazvukem vyšetřitelných a zvýšení kontrastu při zachování rozlišovací schopnosti, což vede k snadnějším interpretacím výsledků.



Ultrazvuk srdce (bez THI).



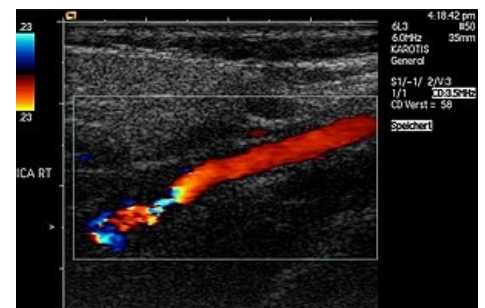
Ultrazvuk srdce (s THI).

Parametry měření

Pulzní repetiční frekvence (PRF)

(*PRF, Doppler scale, vzorkovací frekvence*)

Označuje množství impulsů, které přístroj emituje a přijme za jednu sekundu (o PRF tedy mluvíme pouze u pulzního dopplera, **PW**). Je třeba dát si pozor na Shannonův vzorkovací teorém (https://cs.wikipedia.org/wiki/Shannon%C5%AFv_teor%C3%A9m) a nastavit **vzorkovací frekvenci** nejméně na dvojnásobek nejvyšší frekvence vzorku. Omezení nejvyšší měřitelné rychlosti při dané PRF bývá označována jako **Nyquistův limit**. **Nyquistova frekvence** odpovídá hodnotě frekvence dopplerovského posunu (= rychlost), kterou ještě nevnímáme při dané PRF zkresleně.



Aliasing: uprostřed obrázku si můžeme všimnout ostrých přechodů z červené do modré. (Triplexní metoda spojující barevného dopplera, B zobrazení a spektrální zobrazení.)

■ Aliasing:

je zobrazení těch dopplerovských posuvů, které leží nad **Nyquistovou frekvencí**, na opačné straně nulové hladiny. Odpovídá to nečekaným signálům na opačné straně spektrálního zobrazení a náhlého přechodu z nejjasnější červené do nejjasnější modré při barevném doppleru. Dá se potlačit změnou **PRF**, nebo posunem **nulové hladiny**.

■ Separace toků:

se dá splést v barevném zobrazení s *aliasingem*. Jendá se také o přechod z červené do modré, ale v tomto případě je to přechod postupný, přes barvy odpovídající malým rychlostem a zobrazuje skutečnou bifurkaci (<https://cs.wikipedia.org/wiki/Bifurkace>) toku krve.

Dopplerovský kurzor

(*vzorkovací objem, Doppler gate length*)

je definovaná oblast, ze které přístroj snímá signál, v praxi tomu odpovídá průměr dané cévy. Nastavit se dá nejjednodušeji v **duplexním režimu**, který kombinuje barevné dopplerovské zobrazení a **zobrazení B** klasického ultrazvuku.

Větší rozsah vzorkovacího objemu, než je daná céva, zobrazuje i okolní tkáň, které mohou rušit signál. Při nastavení menšího rozsahu není k dispozici informace o průběhu toku v celé cévě a je třeba zesílit signál, takže vzniká šum.

Dopplerovský úhel

(*Doppler angle*)

je ostrý úhel, který svírá směr vysílaného ultrazvuku a směr toku snímaného předmětu. Teoreticky nejlepší výsledky by se měli pořádit při úhlu 0°, tato situace však v praxi skoro nenastává. Naopak při velikosti úhlu 90°, nemůžeme naměřit žádnou hodnotu (v praxi se kvůli nejednotnosti směru šíření všech vysílaných paprsků získá, nemá však dostatečnou vypovídající hodnotu).

Dopplerovský úhel musíme navolit tak, aby co nejvíce odpovídal skutečnosti. Při malých hodnotách úhlu se výsledná rychlost příliš nezmění, pokud uděláme malou chybu. Avšak při hodnotách 60° a výše již malá chyba může výsledek zkreslit až o desítky procent. Znovu platí, že *dopplerovský úhel* lze snáze zvolit, pokud je k dispozici **duplexní režim**.

Při použití lineárních sond se za účelem zmenšení *dopplerovského úhlu* dá také stranově posunout vysílaný zvuk.

Filtr

(*wall filtr, thump filtr*)

slouží k odstranění nežádoucích signálů z výsledného obrazu. Ultrasonografický přístroj přijímá informace i o pohybu okolních tkání, které jsou způsobeny například dýcháním nebo pulzací. Tyto pohyby odpovídají velmi nízkým dopplerovským posunům, které se dají z výsledku odstranit, pokud nastavíme dolní hranici přijímaných frekvencí. Spodní mez se může pohybovat od 25 do 1500 Hz, prakticky využitelné jsou hlavně hodnoty 50 až 300 Hz.

Při odstranění nízkofrekvenčních signálů můžeme ztratit i některé důležité údaje, například informace o pomalu tekoucích žilách. Některé moderní přístroje si umí poradit i s tímto nedostatkem a sami eliminují ty frekvence, které odpovídají pouze pohybům tkání v diagnosticky neatraktivním okolí (**Dynamic Filter, Dynamic Motion Differentiation**).

Další parametry

▪ Priorita barevného záznamu

určuje místo ve výsledném obraze, které bude vybarvováno podle přijatých signálů. Pro krev (která se v ultrazvuku zobrazuje černě, je **anechogenní**) se navolí stupeň šedi pixelu, kterému bude přiřazen barevný záznam. Tato metoda ovšem může zabránit zabarvení pomalých toků a malých cév (ty nemusí být vždy naplněny krví).

▪ Citlivost barevného záznamu

zvyšuje počet vyslaných impulsů na jednotku plochy, ale zároveň zpomaluje obrazovou frekvenci.

▪ Perzistence barevného záznamu

ovlivňuje, jestli bude výsledná barva obrazu více proměnlivá, nebo vypočítaná z průměru několika na sebe navazujících hodnot přijatých signálů. Při snížení *perzistence* máme k dispozici vypovídající záznam proměnlivosti toku, zvýšená hodnota zase umožňuje zbavit se šumu.

▪ Výstupní výkon

Množství energie, které se vyšle do vyšetřované oblasti označujeme *výstupní výkon*. Při jeho nadměrném navýšení může hrozit poškození organismu.

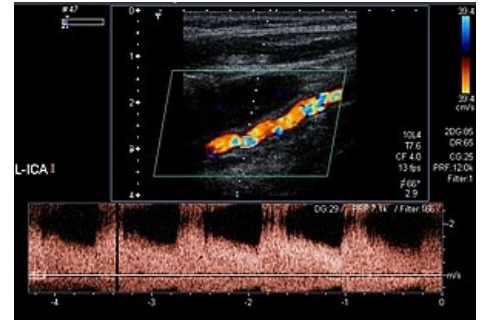
▪ Příjmové zesílení

neboli *zesílení přijímače* je charakteristika zpracování přijatého signálu. Zvýšením této hodnoty zjasňujeme výstupní graf, ale také zvětšujeme šum.

▪ Frekvence ultrazvuku

jedná se o frekvenci vysílaného vlnění. Přitom platí, že zvuk s vyšší frekvencí je snadněji absorbován tkání, takže neproniká tak hluboko jako zvuk s nižší frekvencí.

▪ Inverze spektra



Na obrázku je patrný dopplerovský kurzor jako přerušování bílé tečkované čáry. Dále si můžeme povšimnout aliasingu. (triplexní metoda)

slouží k přetočení grafu spektrálního zobrazení kolem osy **nulové hladiny**. Toky směrem k sondě jsou v tomto případě zobrazovány pod osou a toky od sondy nad osou.

Odkazy

Související články

- Dopplerovská ultrasonografie v medicíně • Dopplerovská ultrasonografie
- Dopplerovská echokardiografie • Transkraniální dopplerovská ultrasonografie • Fetální Dopplerometrie • Dopplerovský průtokoměr
- Dopplerův jev

Externí odkazy

- Lékařská ultrasonografie (Wikipedia) (https://cs.wikipedia.org/wiki/L%C3%A9ka%C5%99sk%C3%A1_ultrasonografie)
- Medical ultrasonography (Wikipedia) (https://en.wikipedia.org/wiki/Doppler_sonography#Doppler_sonography)

Použitá literatura

- ROSINA, Jozef, et al. *Lékařská biofyzika*. 1. vydání. Praha : Manus, 2000. 0 s. ISBN 80-902318-5-3.
- ELIÁŠ, Pavel a Jan ŽIŽKA. *Dopplerovská ultrasonografie*. 1. vydání. Hradec Králové : Nucleus, 1998. ISBN 80-901753-5-X.
- NIEDERLE, Petr. *Dopplerovská echokardiografie*. 1. vydání. Praha : Maxdorf, [1996]. ISBN 80-85800-41-1.
- HRAZDIRA, Ivo. *Úvod do ultrasonografie : v otázkách a odpovědích pro studenty lékařské fakulty* [online]. ©2008. [cit. 2013-11-17]. <http://www.med.muni.cz/dokumenty/pdf/uvod_do_ultrasonografie1.pdf>.
- BAJGAR, Robert. *Dopplerovské ultrazvukové metody* [online]. [cit. 2013-11-17]. <<http://ulb.upol.cz/praktikum/doppnav.pdf>>.