

# Dopplerovská ultrasonografie

## Fyzikální princip

Dopplerovská ultrasonografie je diagnostická metoda založená na Dopplerově jevu za použití ultrazvukových zobrazovacích metod.

- Dopplerův jev – popisuje změnu frekvence vlnění při nenulové vzájemné rychlosti vysílače a přijímače.
- Ultrazvuk – akustické vlnění s frekvencí nad 20 kHz, neslyšitelný pro lidské ucho.

**Aplikace Dopplerova jevu v diagnostice** využívá ultrazvukových vln zejména k měření rychlosti a směru průtoku krve. Na základě Dopplerova jevu dochází ke změně frekvence vyslaného a přijatého signálu při nenulové rychlosti protékající krve. Ultrazvuk se při průchodu cévou částečně odráží od červených krvinek, ty poté fungují jako zdroj vln a v závislosti na rychlosti a směru jejich pohybu dojde ke změně frekvence ultrazvukového vlnění. Rozdíl frekvencí vyslaného a přijatého signálu je označován jako dopplerovský posun ( $f_D$ ), který je popsán rovnicí:

$$f_D = \frac{2vf_0 \cos \alpha}{c}$$

kde  $v$  je rychlost průtoku krve,  $\alpha$  je úhel dopadu ultrazvukového svazku na cévu (také označován jako tzv. dopplerovský úhel),  $f_0$  je frekvence vlnění vyslaného sondou a  $c$  je rychlost šíření ultrazvukové vlny ve tkáni.

Na základě odečtených hodnot dopplerovského posunu ( $f_D$ ) je možné zobrazit rychlost a směr průtoku krve cévami. Pro přesnější zobrazení lze využít **kontrastních látek** – zpravidla ve formě intravenózně aplikovaných mikroskopických bublin plynu, vykazujících vysokou odrazivost. Tyto látky rozpuštěné v krvi pak zvyšují množství zpětně zachycených vln a tak zpřesňují výsledný obraz. Aby nedocházelo k téměř úplnému odrazu ultrazvukových vln na rozhraní vzduchu a kůže díky velkému rozdílu hodnot akustické impedance vzduchu a tkání (hodnota velmi podobná vodě), nanáší se na vyšetřovanou část těla vrstva gelu s hodnotou akustické impedance blízkou hodnotě tkáně.

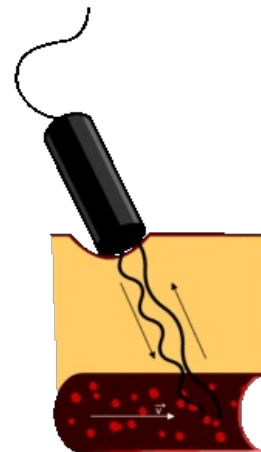


Schéma užití dopplerovské ultrasonografie při měření rychlosti průtoku krve

## Dopplerovské systémy

Existují dva základní dopplerovské systémy, využívané v dnešní době pro zobrazování, a liší se hlavně (jak již jejich názvy napovídají) způsobem vysílání a přijímání vln. V praxi je doporučováno kombinované využití obou metod, protože se vzájemně doplňují.

- CW (ang. continuous wave)

CW využívá dva samostatné krystaly: jeden neustále vysílá a druhý neustále přijímá. Vysílají do oblasti nepřetržitě ultrazvukové vlnění a detekují frekvenčně posunutý signál. Hlavní výhodou této technologie je možnost změřit velmi přesně rychlost toku krve, avšak po celé délce zobrazované oblasti, takže nemůžeme přesně určit měřené místo bez znalosti anatomických souvislostí. Právě toto je největší nevýhodou tohoto měření, kdy je pevně dán vyšetřovací objem, který ultrazvukový svazek překryje. To také prakticky znemožňuje zvolit hloubku, ve které má být rychlost změřena.

- PW (ang. pulse wave)

Oproti CW využívá pouze jednoho krystalu pro vysílání a zároveň přijímání ve formě krátkých impulzů ultrazvukového vlnění, které se šíří po určitý čas  $t$ , dokud se neodrazí od červené krvinky a nevrátí se zpět za stejnou dobu, ale s jinou frekvencí, a je tedy možné přesně určit vzdálenost a přesné místo měření. Doba mezi vysláním impulzu a začátkem příjmu určuje vzdálenost vzorkovacího objemu od sondy a doba, po kterou je signál přijímán určuje velikost vzorkovacího objemu. Můžeme ale měřit jen rozměr (délku) vzorkovacího objemu ve směru shodném s šířením ultrazvukového záření. Nedokáže ale přesně měřit vysoké rychlosti toku krve a může tak docházet při měření k tzv. aliasingu, což se projeví zobrazením určité části rychlostní křivky v opačné oblasti grafu.

## Parametry spektrálních dopplerovských systému

**Výstupní výkon** – určuje množství akustické energie vysílané do vyšetřované oblasti. Zvýšení výstupního výkonu může zvýšit potenciální riziko negativních účinků na organismus.

**Zesílení přijímače** – ovlivňuje elektronické zpracování přijatých signálů. Zvýší jas na obrazovce přístroje, zvyšuje ovšem také úroveň šumu.

**Frekvence ultrazvuku** – frekvencí ovlivňujeme maximální hloubku, ve které rychlost toku krve můžeme měřit. S rostoucí hloubkou roste absorpce ultrazvukového vlnění a hloubka měření se snižuje. U PW systému se určuje pulzní opakovací frekvence, která udává počet pulzů, které jsou do vyšetřované oblasti vyslány za 1 sekundu. Zvyšování pulzní opakovací frekvence zvyšuje rozsah dopplerovské škály – frekvenční nebo rychlostní. U CW systémů neexistuje žádné omezení v maximální měřitelné rychlosti právě proto, že je signál měřen kontinuálně.

**Filtr** – abychom odstranili nechtěné zdroje frekvenčně posunutého signálu, kterými mohou být jiné posuvné tkáně (např. cévní stěna), používáme filtru. Filtr využívá toho, že takové dopplerovské posuvy mají nízkou frekvenci, ale vysokou amplitudu (protože např. na cévních stěnách dochází k odrazu vlnění). Při nastavování filtru je ale třeba dát pozor na to, že takto mohou vypadat i posuvy způsobené odražením od pomalu tekoucí krve.

**Dopplerovský úhel** – používá se pro přepočít dopplerovského posuvu na rychlost toku krve. Platí, že při správném měření by neměl přesahovat 60°. Úhel můžeme odhadnout z aktuální pozice sondy a předpokládaného průchodu cévy. V dnešních přístrojích si úhel můžeme sami nastavit, především jsou nám tuto informaci schopny zobrazit.

## Dopplerovská zobrazení

### Spektrální dopplerovské zobrazení

Zobrazuje přijímaný signál jako graf rychlosti na čase. Vo zvoleném řezu cévou (vzorkovacím objemu) umožňuje samostatně mimo 2D okno zobrazit graf rozložení celého spektra rychlostí v závislosti na čase. Na svislou osu grafu je vynesena buď frekvence nebo přímo rychlost, popřípadě obojí. Kladné frekvenční posuvy jsou znázorněny nad časovou osou (tok krve k sondě) a záporné frekvenční posuvy jsou znázorněny pod časovou osou (tok od sondy).

 *Podrobnější informace naleznete na stránce Dopplerovská zobrazení.*

### = Barevné mapování průtoku (CFM)

Rychlost toku krve v cévě je přiřazena barva, nejčastěji odstíny **červené**, charakterizující různé rychlosti laminárního toku krve směrem k sondě (frekvenční posun je kladný), naopak odstíny **modré** vyjadřují totéž v případě toku směrem od sondy, kdy dopplerovský posuv je záporný (pozor! Tyto barvy nemají nic společného s rozlišením žilní a tepenné krve). V případě turbulentního proudění nelze směr určit a situace je znázorněna **zelenou** barvou. Barevné dopplerovské zobrazení se využívá v kombinaci s 2D k barevnému zvýraznění cév ve sledované struktuře.

### Barevný energetický doppler (CDE)

Nazývaný též barevné kódování energie toku – metoda, kterou se zobrazí výsledná dopplerovská energie. Tento způsob zobrazení je obdobou dopplerovského barevného zobrazení s tím rozdílem, že nesledujeme jen rychlost, t.j. frekvenční posun, ale i intenzitu a tudíž energii ultrazvukových vln odražených od pohybujících se krevních elementů. Velikost této energie pak odpovídá hustotě krvinek. Barevný odstín pixelu na monitoru odpovídá velikosti této energie – počtu krvinek, které se sledovaným objemem pohybují.

### Dopplerovské zobrazení pohybů tkání (TDI)

Metoda barevného zobrazení tkání a pomalejších toků. Umožňuje získat barevnou informaci o rychlosti a směru pohybu tkání. Potlačuje zachycení vysokých rychlostí proudící krve.

### Harmonické (THI)

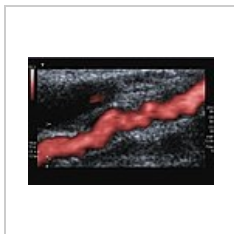
pomocí kontrastních látek snižuje četnost artefaktů.



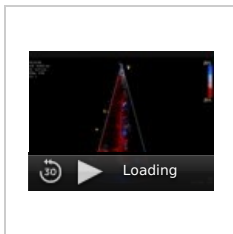
Spektrálního zobrazení toku krve.



Barevné mapování průtoku (stenóza karotidy).



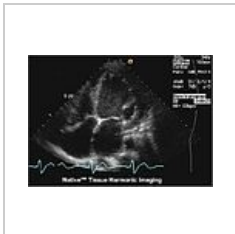
Energetický doppler.



TDI komorového septa.



Ultrazvuk srdce bez THI.



Ultrazvuk srdce s  
THI.

## Dopplerovská ultrasonografie v medicíně

 Podrobnější informace naleznete na stránce *Dopplerovská ultrasonografie v medicíně*.

- Dopplerovská echokardiografie
- Transkraniální dopplerovská ultrasonografie
- Fetální Dopplerometrie
- Dopplerovský průtokoměr

## Odkazy

### Související články

- Dopplerovská zobrazení • Dopplerův jev
- Dopplerovská echokardiografie • Transkraniální dopplerovská ultrasonografie • Fetální Dopplerometrie • Dopplerovský průtokoměr
- Ultrazvuk • Akustická impedance
- Dopplerovská sonografie (2. LF UK)

### Použitá literatura

- NAVRÁTIL, Leoš a Jozef ROSINA, et al. *Medicínská biofyzika*. 1. vydání. Praha : Grada Publishing, a.s., 2005. ISBN 80-247-1152-4.
- BAJGAR, Robert. *Dopplerovské ultrazvukové metody* [online]. [cit. 2013-11-17]. <<http://ulb.upol.cz/praktikum/doppnav.pdf>>.