

Princip Dopplerovského zobrazení

Tomáš Jůza

Biofyzikální ústav LF MU
KRNM FN Brno

Dopplerův jev

Přibližuje-li se zdroj zvuku o konstantní výšce (frekvenci) tónu směrem k pozorovateli, vnímá pozorovatel výšku tónu vyšší, rozdíl mezi frekvencemi záleží na rychlosti pohybu.

Johann Christian Doppler, 1845



Při ultrazvukovém Dopplerovském zobrazení je zdrojem frekvenčního posunu zpětně rozptýlené vlnění od pohybujících se krevních elementů.

Zdroj dopplerovského posunu

Krev v B-modu anechogenní – neobsahuje zdroj odrazu UZ vlnění

Krevní elementy (především červené krvinky) menší než vlnová délka ultrazvukového vlnění

Vlnová délka UZ 5 MHz = $300\text{ }\mu\text{m}$, velikost erytrocytů $7,4\text{ }\mu\text{m}$

Rozptyl – část vln se vrací i po stejné dráze k UZ měniči

Potřebná větší intenzita ultrazvuku

(analogie Rayleighova-Tyndalova rozptylu pro EM záření)

Matematický základ

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

Δf – rozdíl frekvencí – vysílané ultrazvukové a dopplerovsky posunuté

f_0 – vysílaná frekvence zdroje ultrazvuku

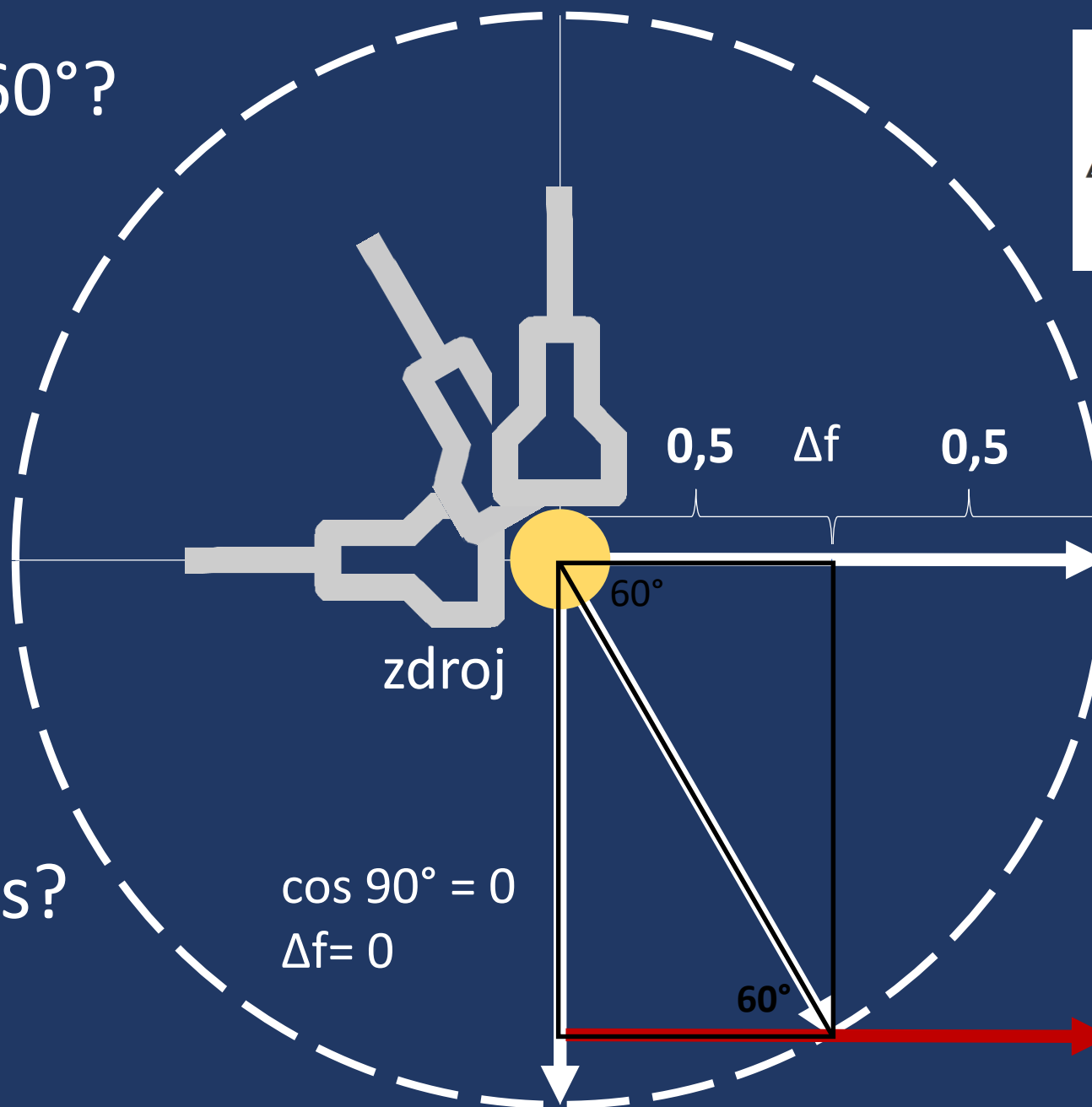
v – rychlost toku krve v cévě

α – úhel mezi vysílaným ultrazvukem a směrem toku krve

c – rychlost šíření ultrazvuku prostředí

Proč úhel 60°?

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



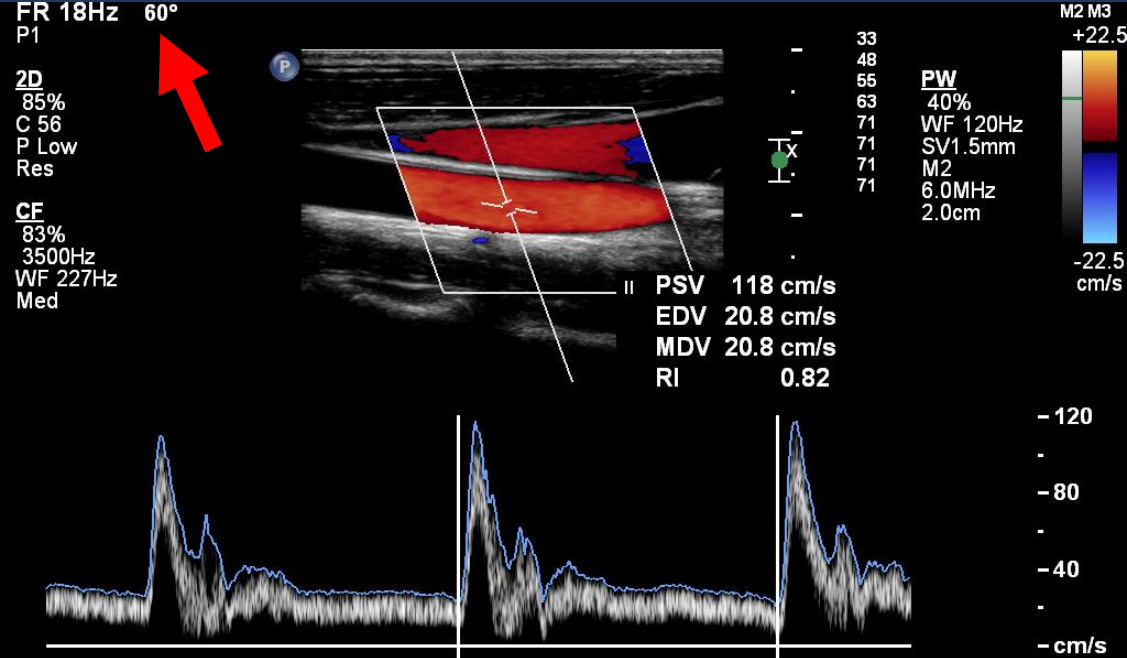
Směr a rychlost toku (v)

$$\cos 0^\circ = 1$$
$$\Delta f = (2f_0 v) / c$$

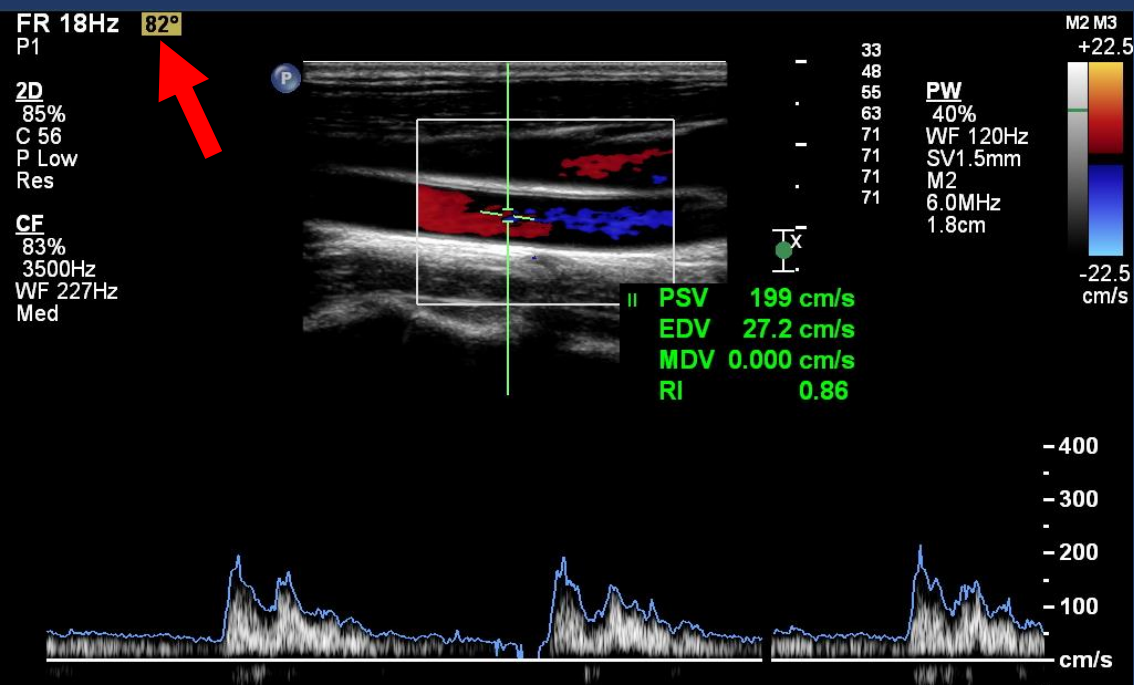
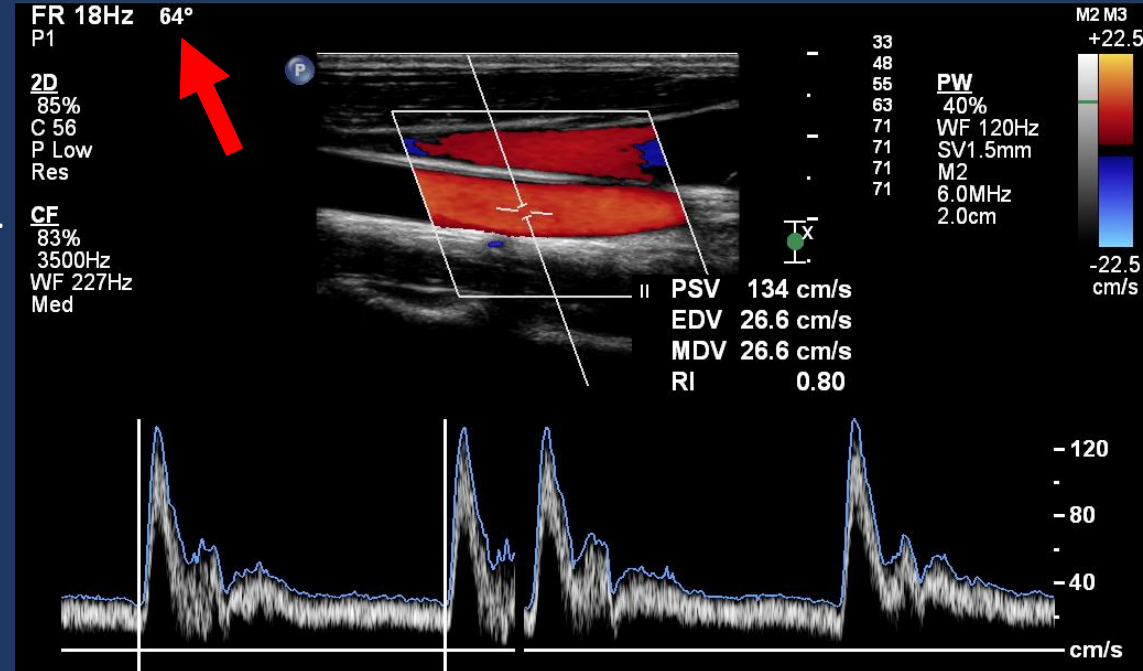
Proč cosinus?

$$\cos 90^\circ = 0$$
$$\Delta f = 0$$

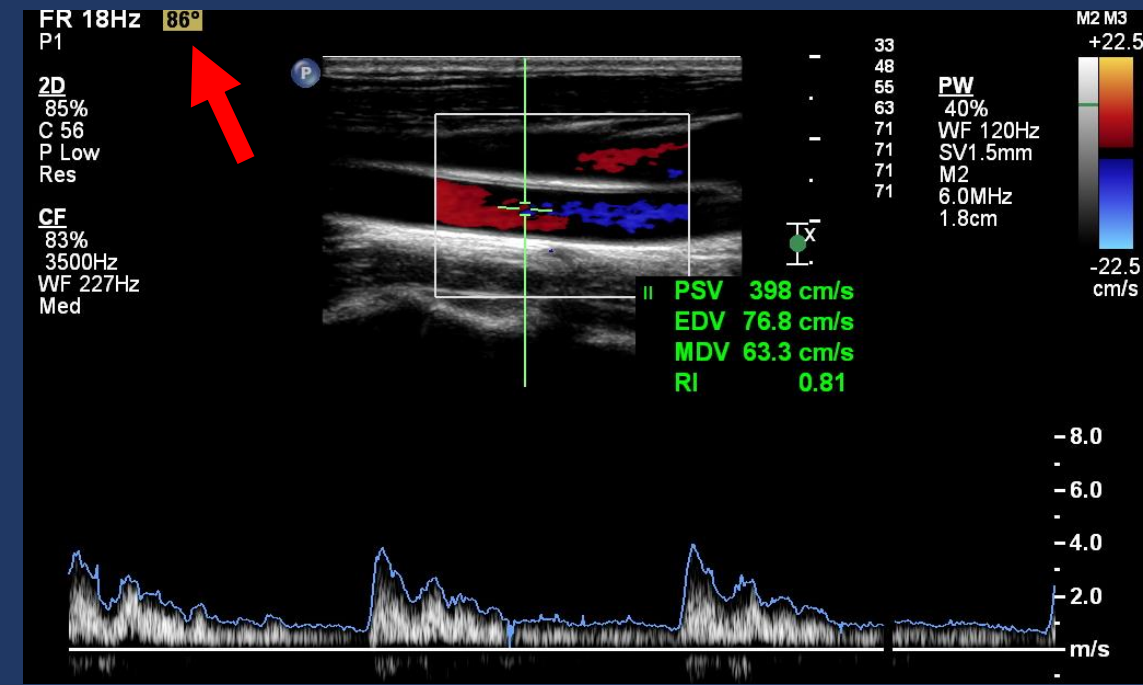
$$\cos 60^\circ = 0,5$$
$$\Delta f = (f_0 v) / c$$



60° vs. 64°
118 vs 134



82° vs. 86°
199 vs 398



FR 6Hz
RP

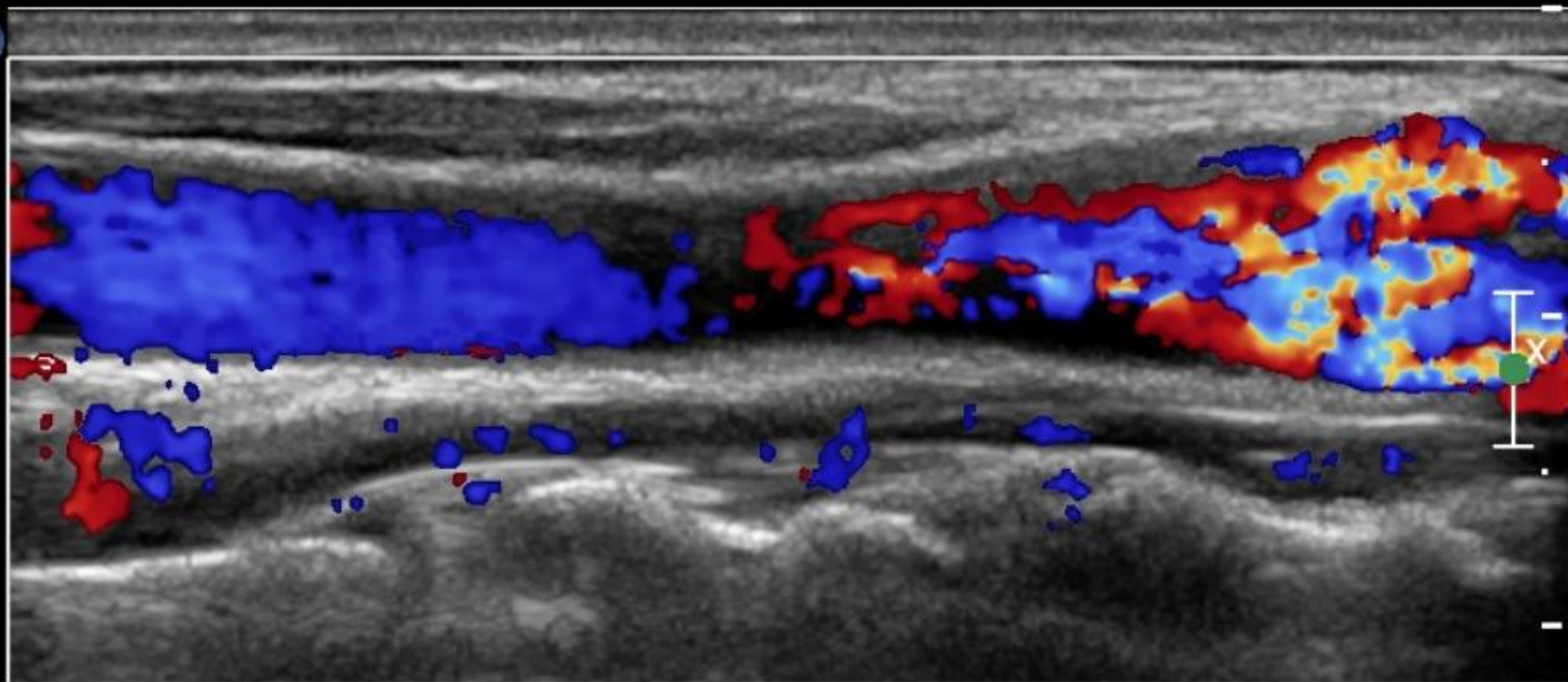
2D

84%
C 64
P Med
Res

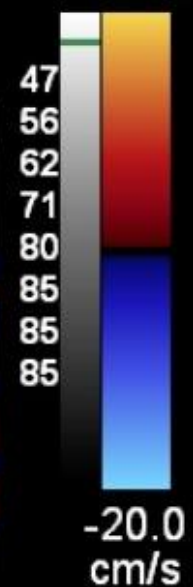
CF

77%
3247Hz
WF 162Hz
Low

P



M3 M3
+20.0



Dopplerovské techniky

Kontinuální doppler

S kontinuální nosnou vlnou (continuous wave - CW)

Dva měniče – vysílač a přijímač

Výstupem spektrální záznam (změny rychlosti v čase)

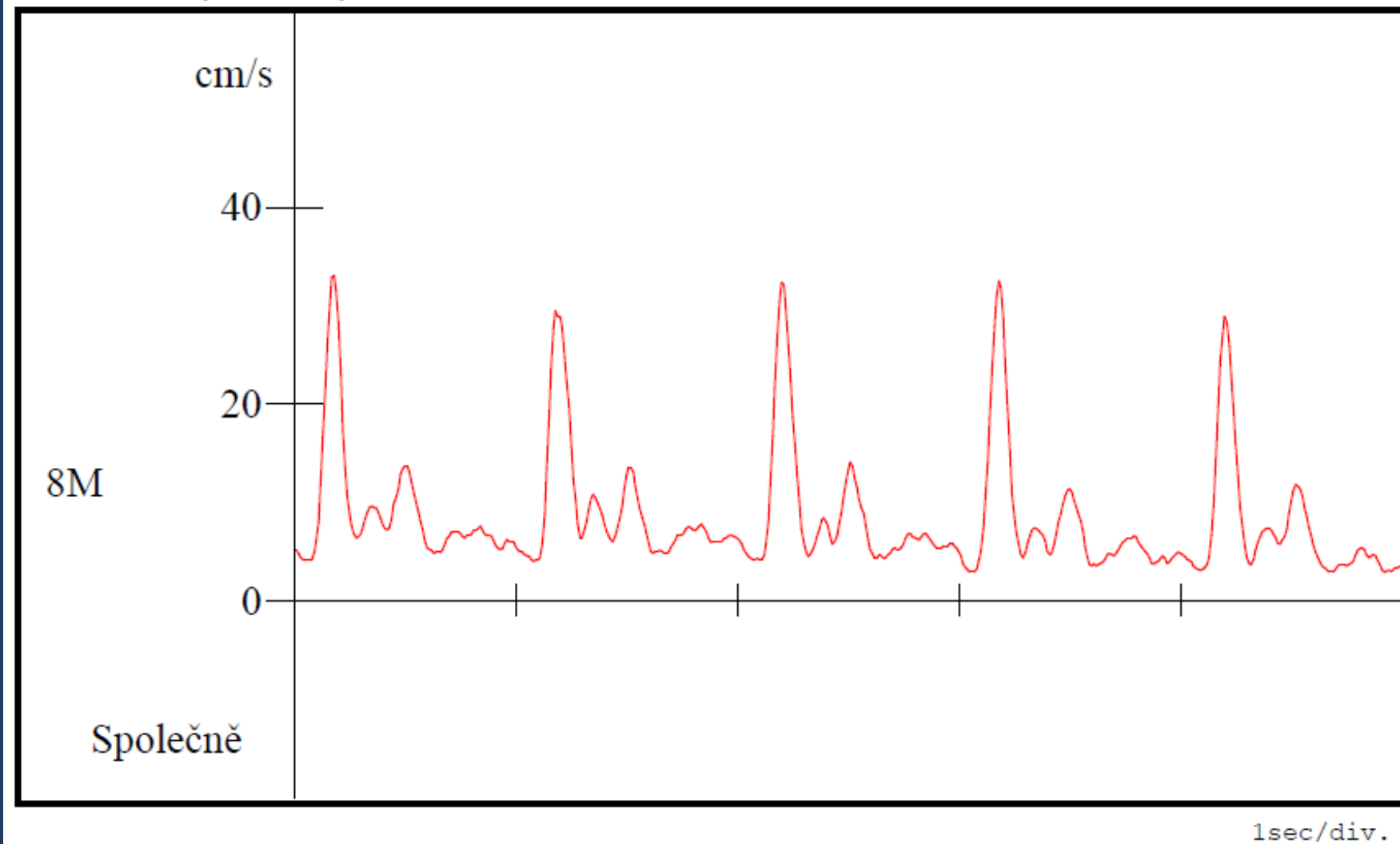
Signál je součtem všech posunů v dráze vlnění

- Nelze určit hloubka, ze které signál přichází

Měří libovolně velké rychlosti

Tužkové Dopplery pro vyšetření periferních cév





Numerická data

Max	31,6 cm/s	SD	7,71
Prům.	8,9 cm/s	RP	0,87
D	4,1 cm/s	PI	3,09
Min	4,1 cm/s	Puls	60 BMP

Pulzní doppler

S pulzní nosnou vlnou (pulse wave – PW)

Jeden měnič, střídavě vysílá a přijímá

Doba mezi vysláním a příjmem UZ impulzu je úměrná vzdálenosti cévy od ultrazvukové sondy

Umožňuje záznam rychlostního spektra toku krve v konkrétní cévě v kombinaci s B-modem - duplexní zobrazení

Fyzikální limitace frekvencí vysílaných pulzů - pulzní repetiční frekvence (PRF)

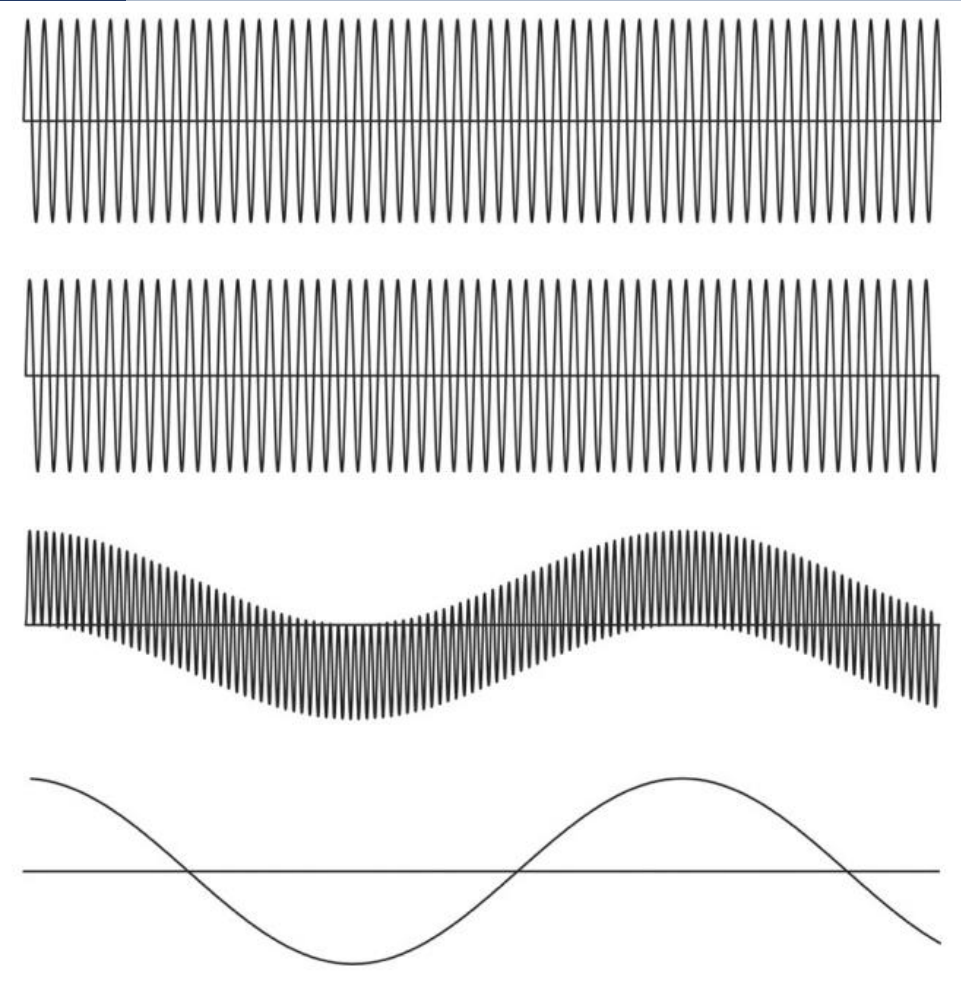
- Hloubka cévy

- Rychlost toku v cévě (Nyquistův vzorkovací teorém)

Kontinuální

vs.

Pulzní doppler



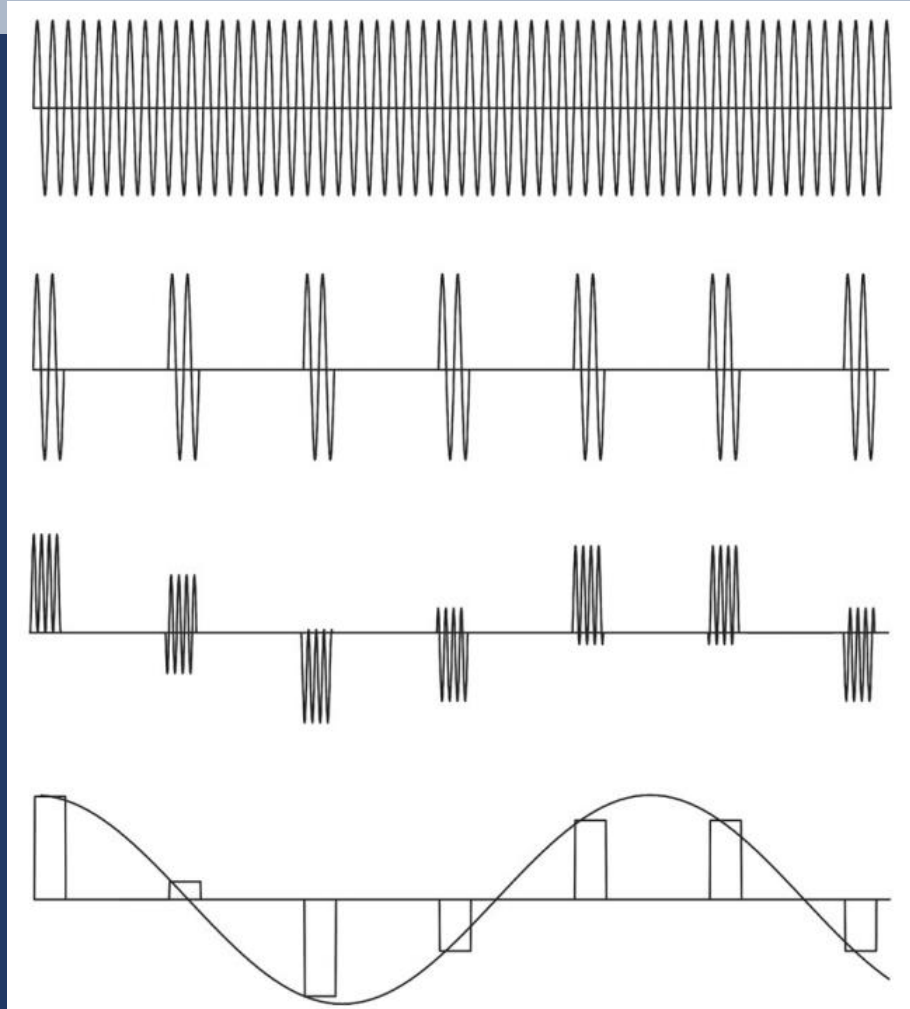
referenční frekvence

přijatý signál

násobek přijatého
signálu a ref. f

(Low pass filter)

výsledný signál
(frekvence posunu)



Barevný doppler

Barevné mapování, color doppler

V B-obrazu definovaná výseč, ze které je pomocí techniky pulzního Dopplera opakovaně jedné ose sbírána informace o rychlosti a směru toku, která následně vykreslena do obrazu v podobě barevných pixelů (BART)

Obvykle vykreslena průměrná hodnota fázových posunů pro jednotlivý bod obrazu

Semikvantitativní hodnocení

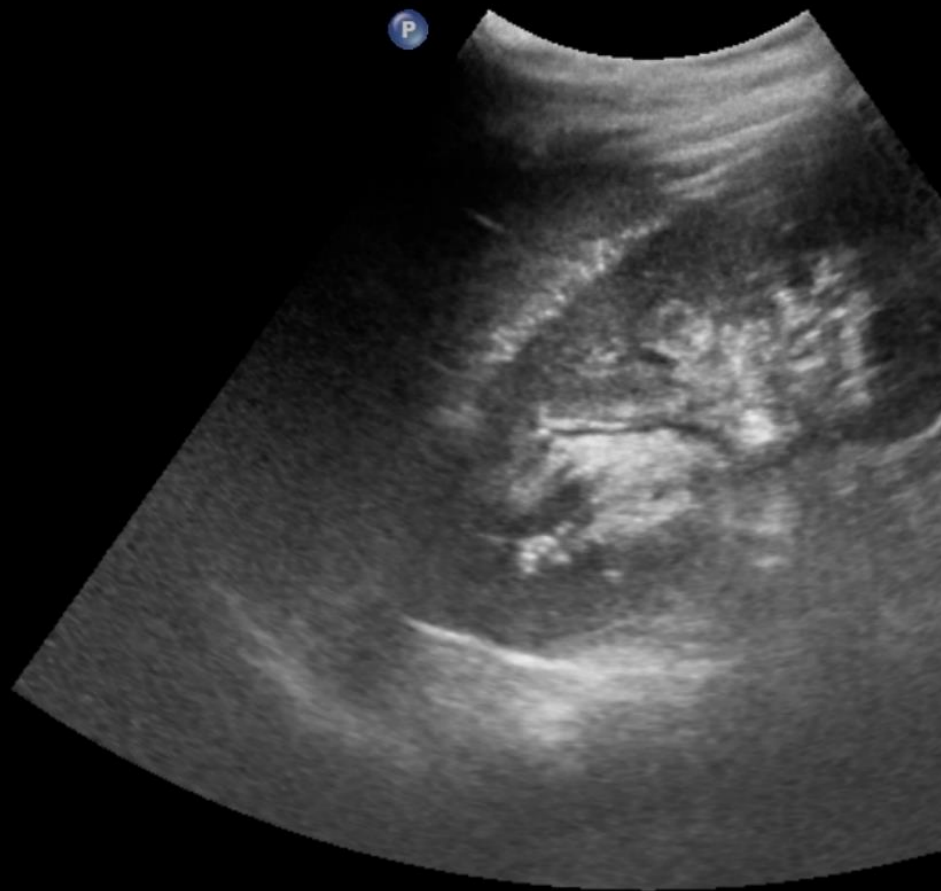
V kombinaci se spektrálním záznamem pulzního Dopplera – triplexní zobrazení

FN Brno

C5-1/Abd Renal

FR 28Hz
RS2D
84%
C 48
P Low
HGen

M3

46
62
76
83
89
95

PHILIPS

TIS0.2 MI 1.2

FN Brno

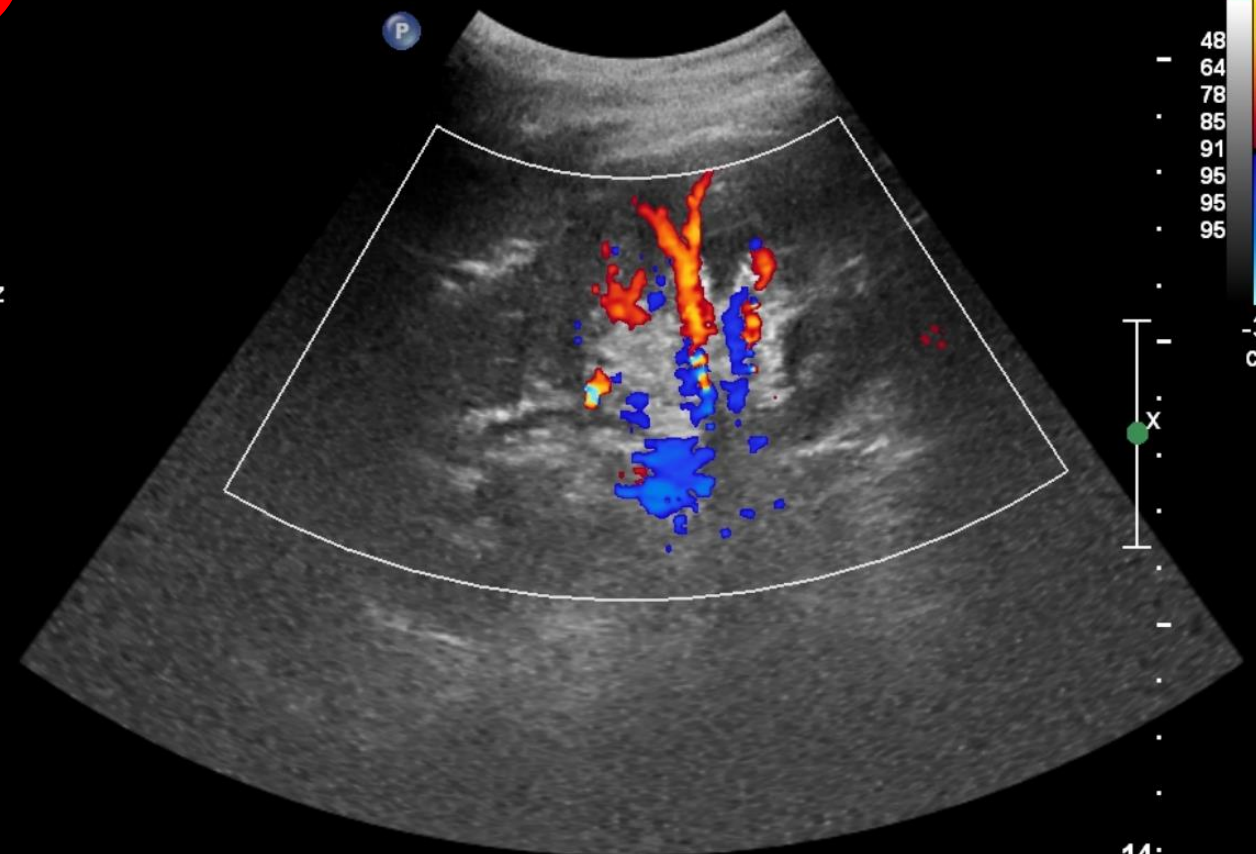
C5-1/Abd Renal

FR 5Hz
RP2D
86%
C 48
P Med
HGen

CF
61%
2200Hz
WF 109Hz
Med

M3 M6

+30.8

48
64
78
85
91
95
95
95-30.8
cm/s

Pokles vzorkovací frekvence
obrazu – FR (frame rate)

Energetický doppler

Power doppler, (CPA color power angio)

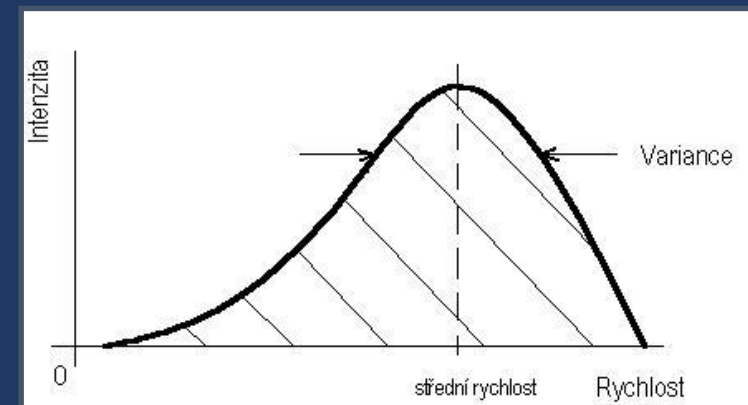
Obdoba barevného mapování

Zobrazuje celou energii dopplerovského signálu – krom rychlosti započítává i intenzitu signálu (energie úměrná ploše vymezené spektrální křivkou)

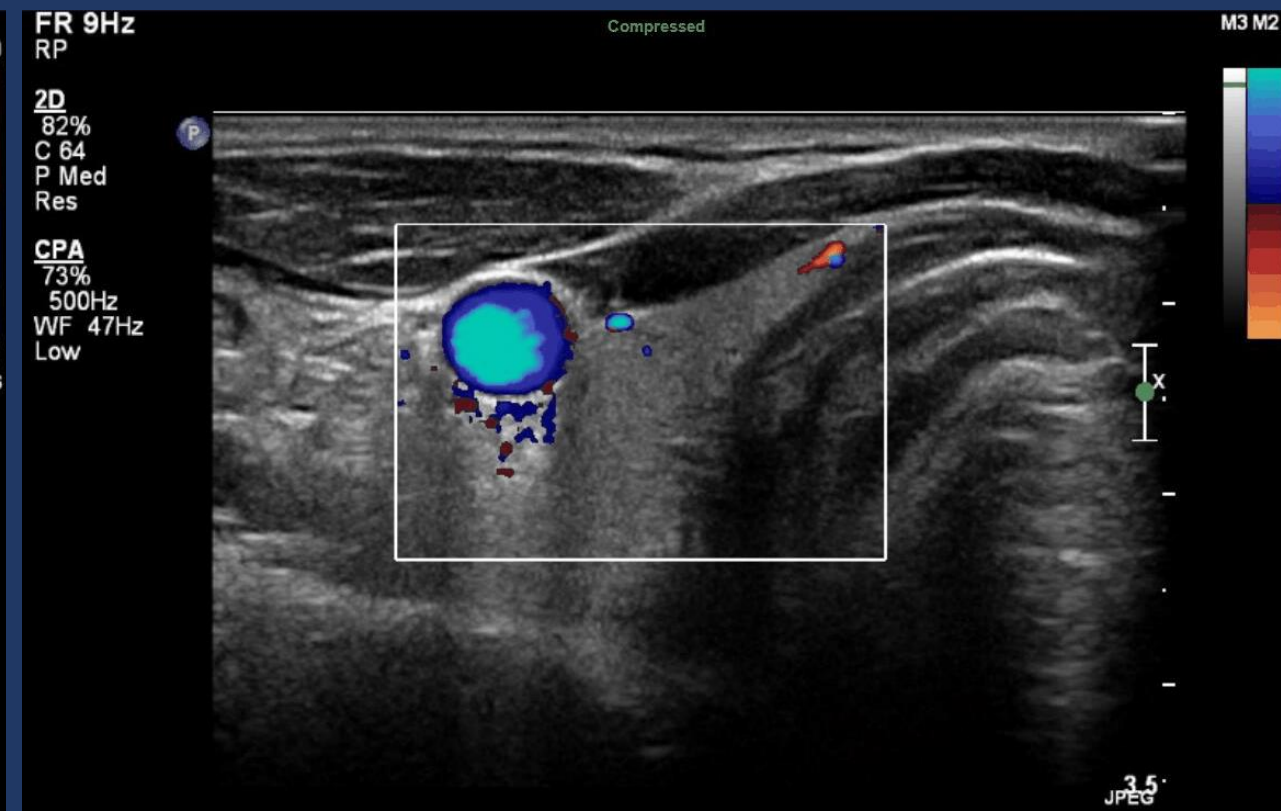
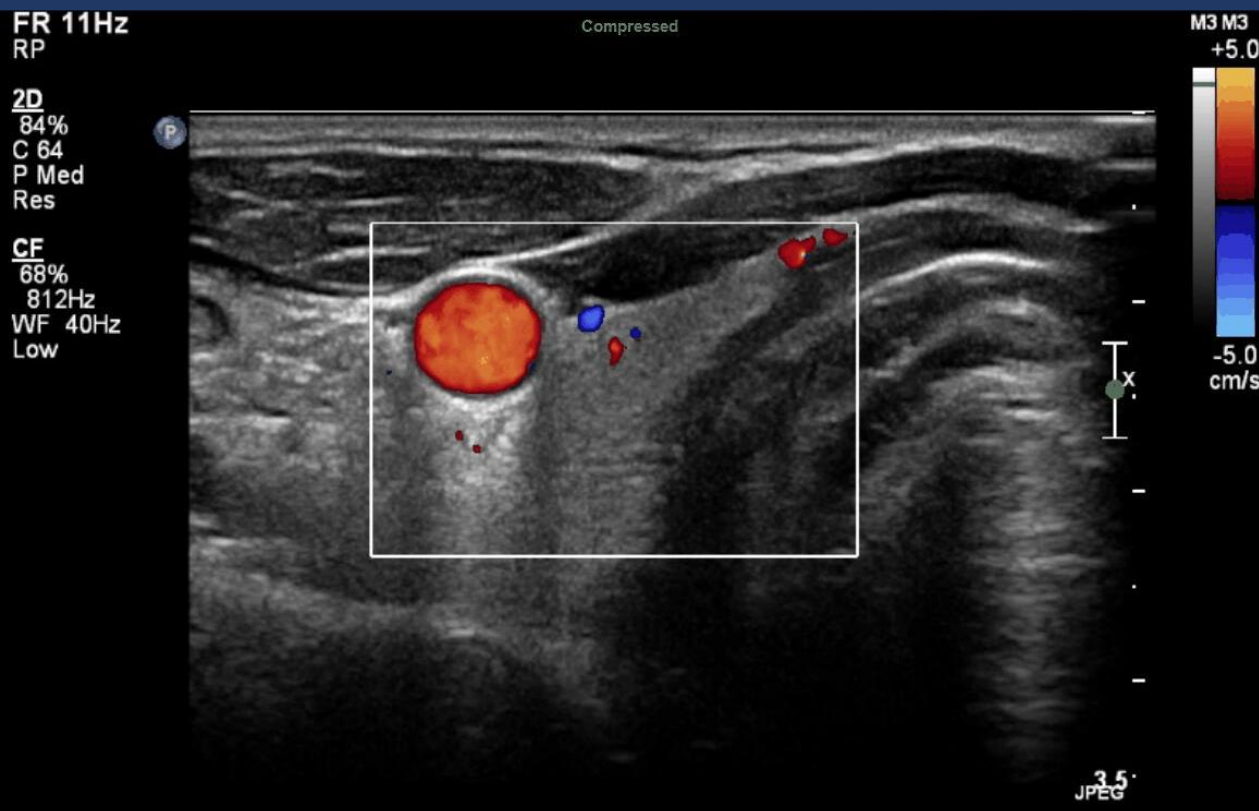
Citlivost pro velmi pomalé toky

Málo ovlivněna úhlem

Nevhodná k určení rychlosti



Barevný doppler vs. energetický doppler

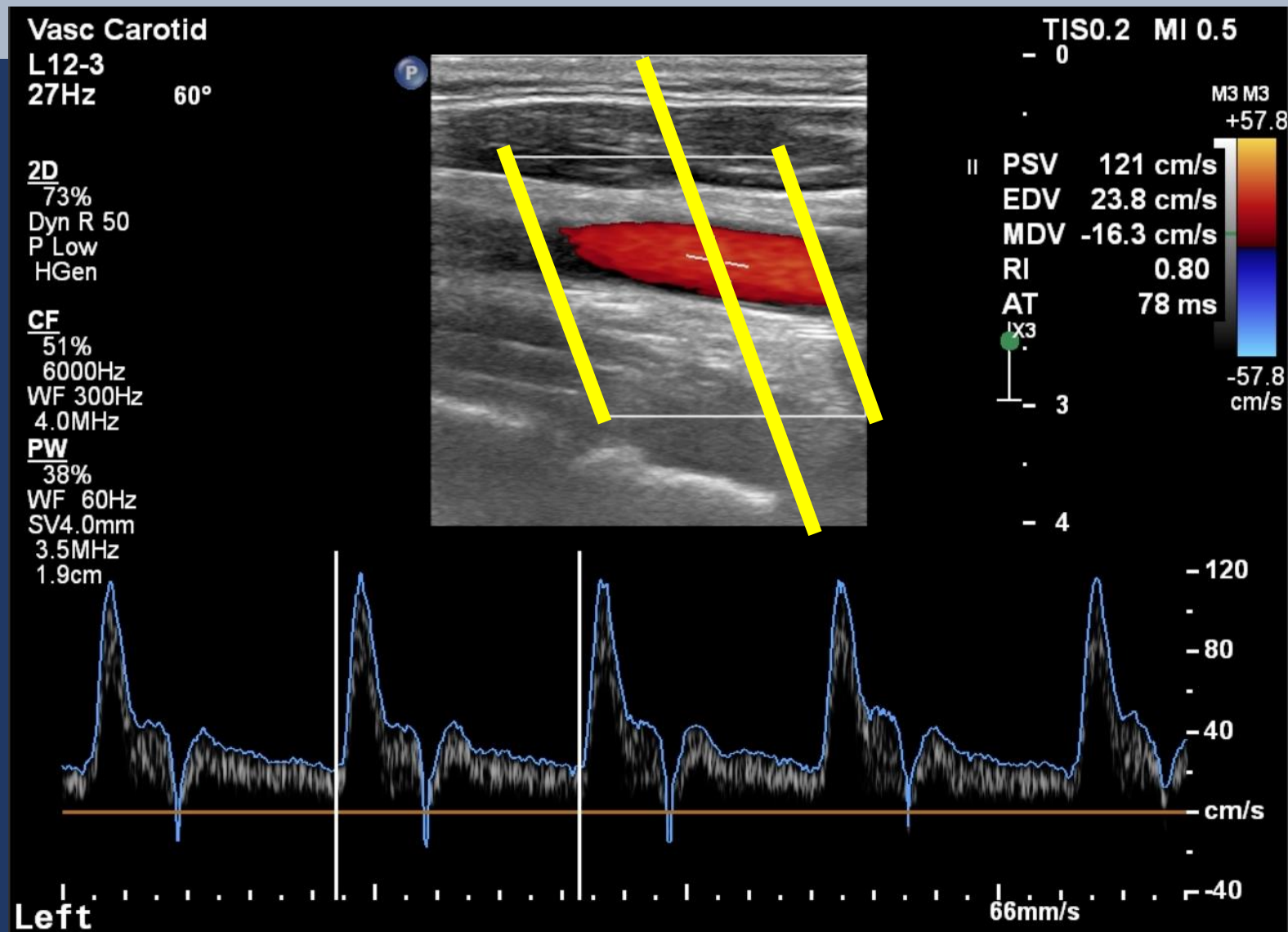


Praktická nastavení dopplerovského ultrazvuku

Steer – vychýlení UZ svazku pro získání vhodného dopplerovského úhlu

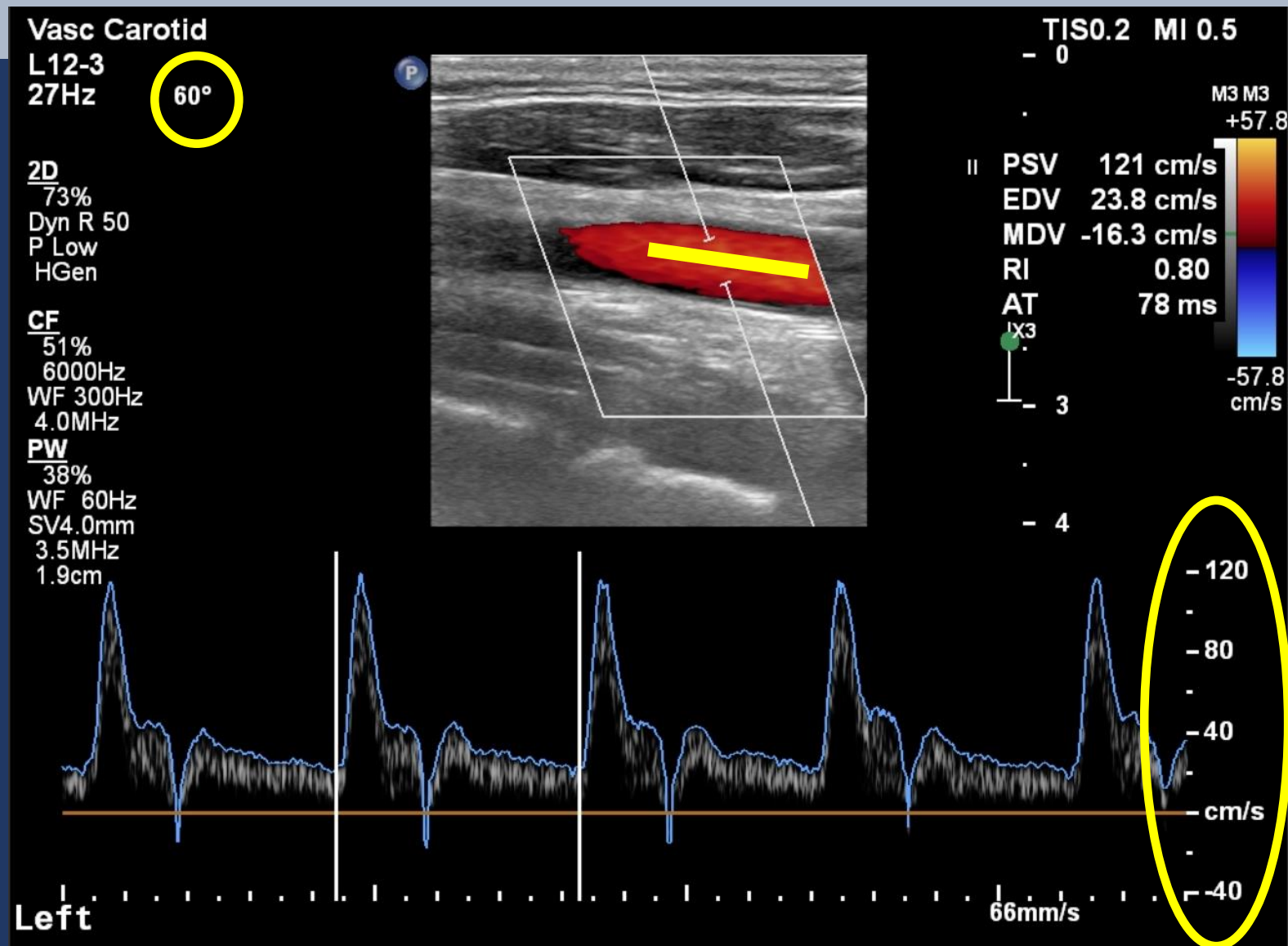
Pro barevný i spektrální záznam

Definuje vlastní úhel mezi UZ vlněním a cévou



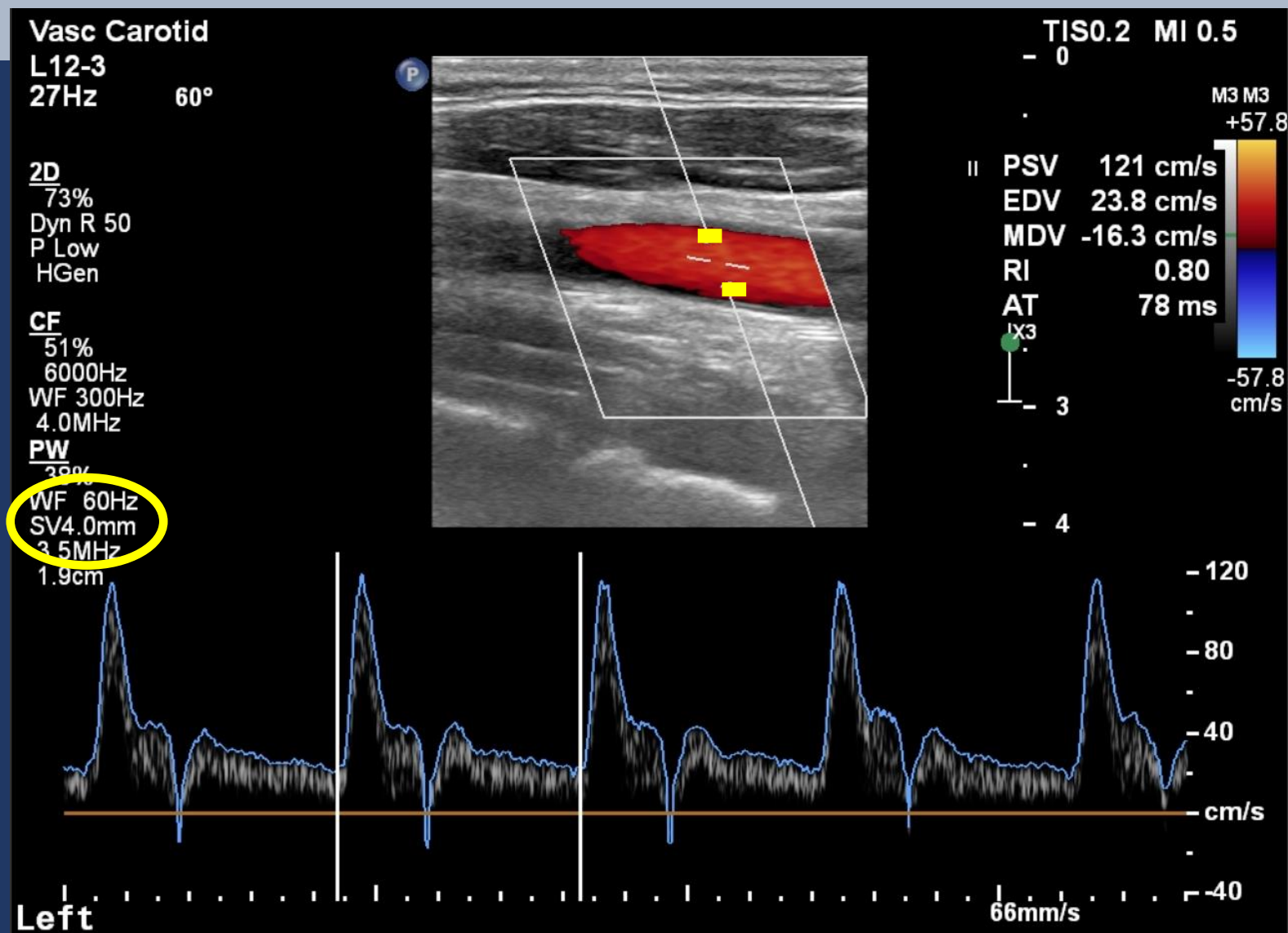
Praktická nastavení dopplerovského ultrazvuku

Angle correct – úhlová korekce, pro správný výpočet rychlosti spektrálního záznamu



Praktická nastavení dopplerovského ultrazvuku

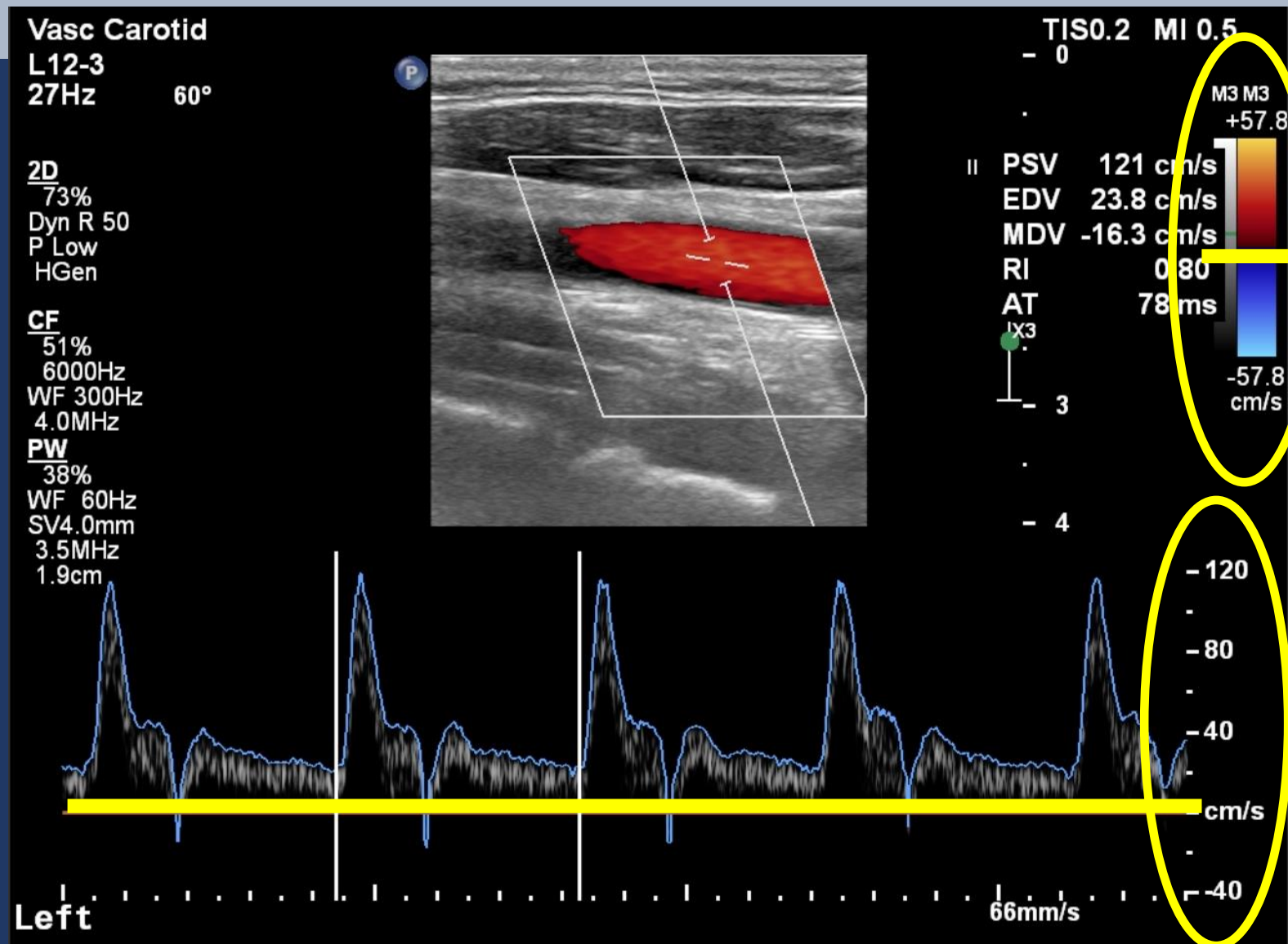
Sample volume –
vzorkovací objem,
odpovídá rozsahu
měřené cévy



Praktická nastavení dopplerovského ultrazvuku

Scale – škála, definuje rozsah měřených hodnot, pro barevný i spektrální záznam

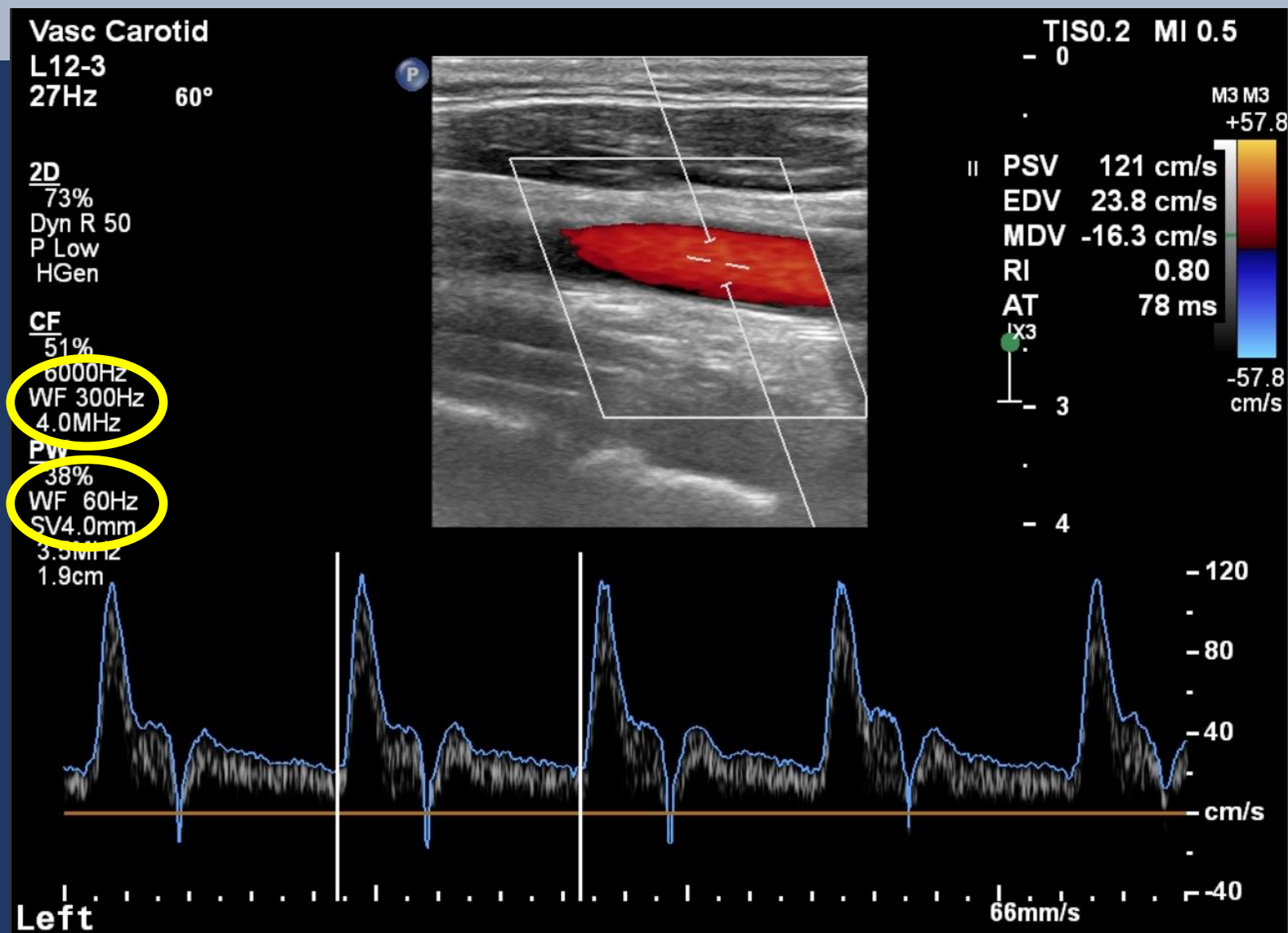
Baseline – základní (nulová) linie pro barevný i spektrální záznam



Praktická nastavení dopplerovského ultrazvuku

WF – wall filter

hranice filtrovaných
nízkých frekvencí pro
odstranění šumu



Hodnocení dopplerovského záznamu

Velocities – rychlosti

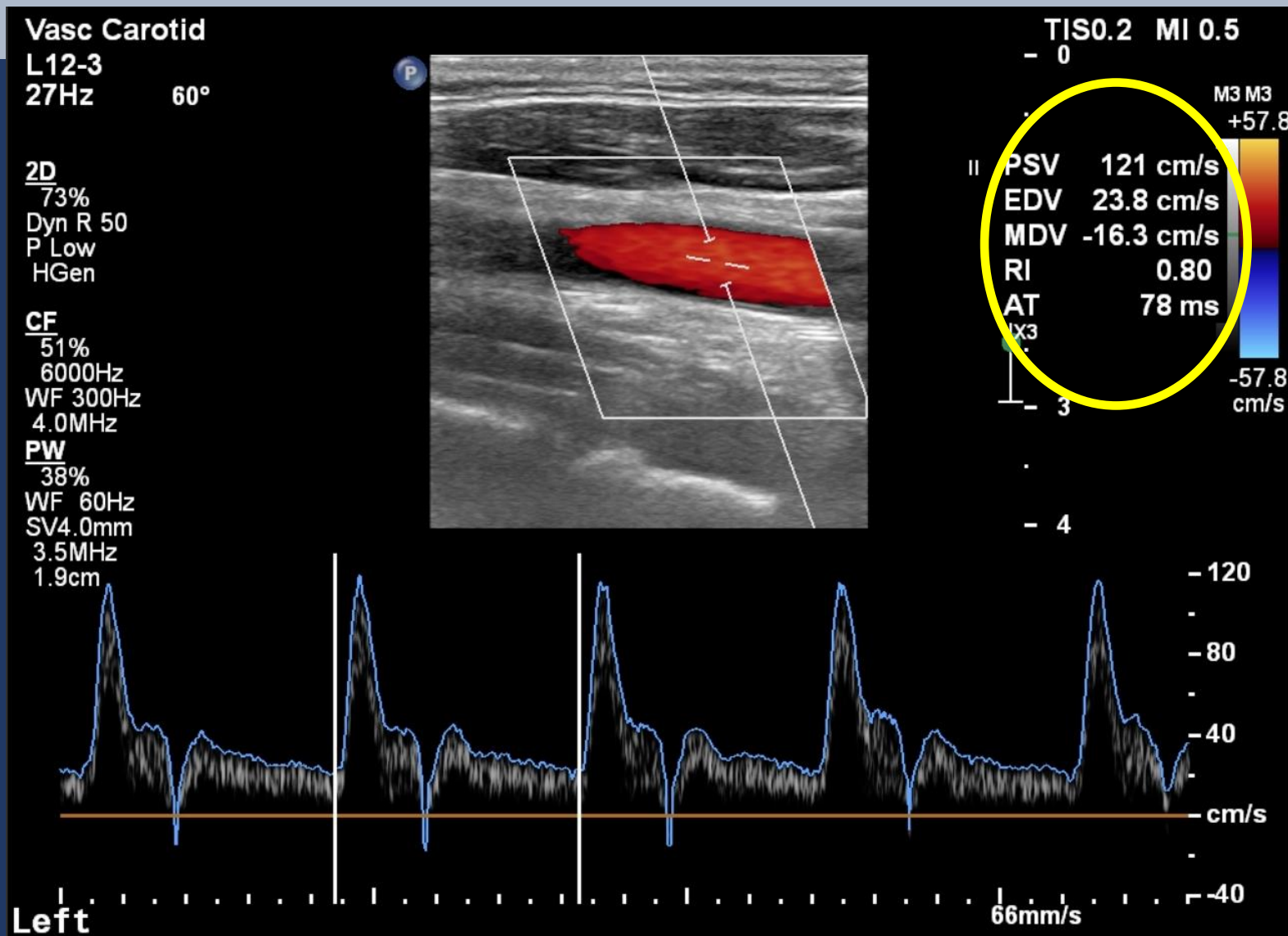
PSV – peak systolic velocity

EDV – end diastolic velocity

MDV – minimal diastolic velocity

RI – resistance index

AT – acceleration time



Závěr

Dodržovat správné nastavení

- Co nejmenší úhel (do 60°) – steering!
- Úhlová korekce dle skutečného průběhu cévy
- Přizpůsobení baseline a scale – odstranění artefaktů
- Vhodný přednastavený program

Děkuji za pozornost



"I love hearing that lonesome wail of the train whistle as the magnitude of the frequency of the wave changes due to the Doppler effect."

