

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

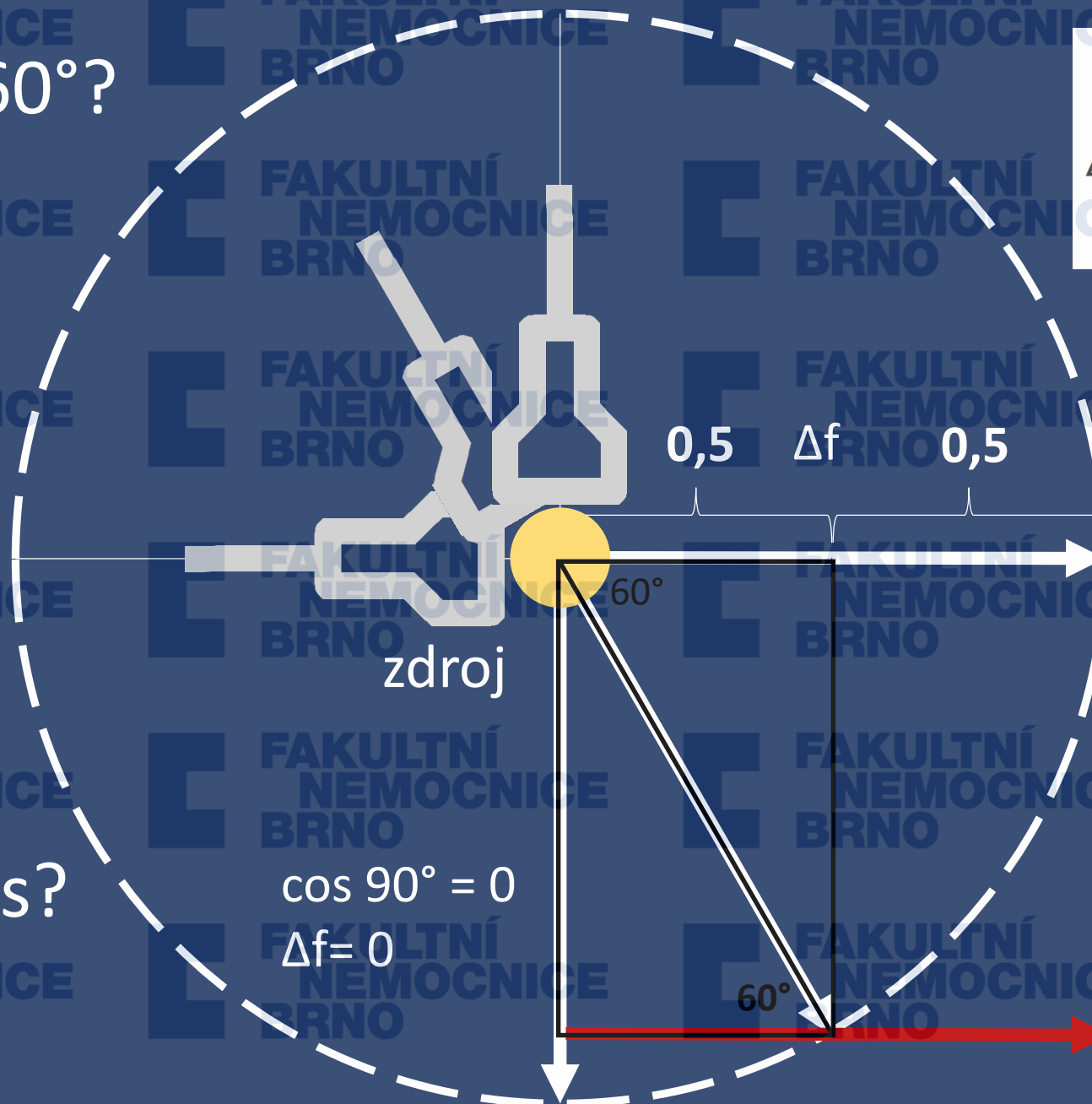
v – rychlost toku krve v cévě

α – úhel mezi vysílaným ultrazvukem a směrem toku krve

c – rychlost šíření ultrazvuku prostředí

Proč úhel 60°?

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



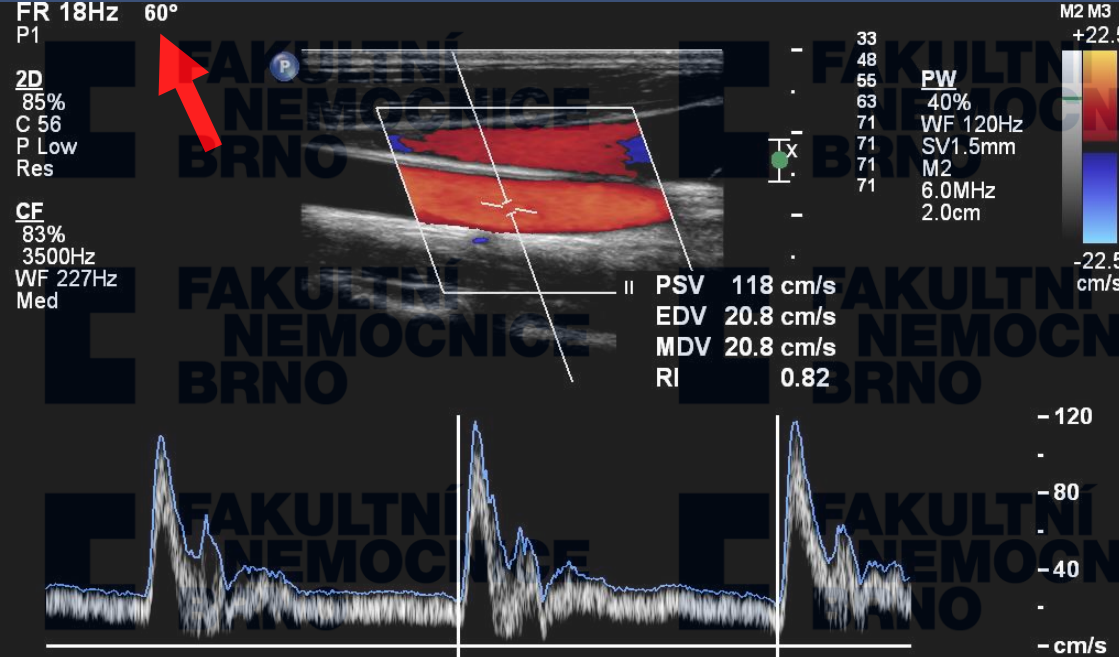
Směr a rychlost toku (v)

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

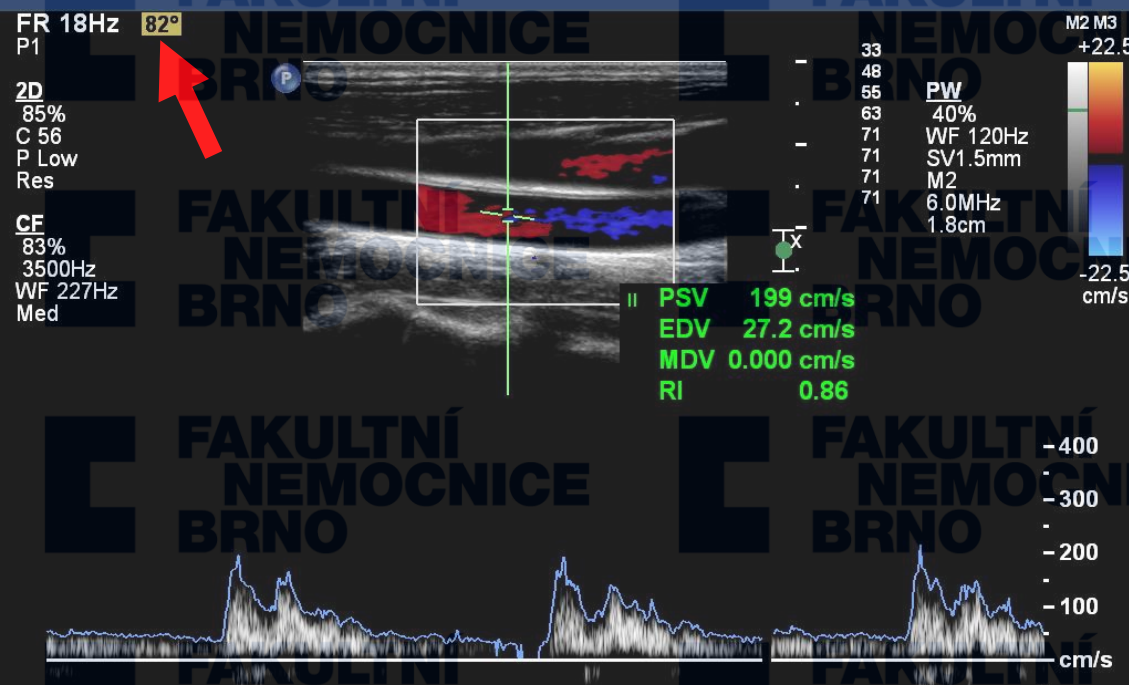
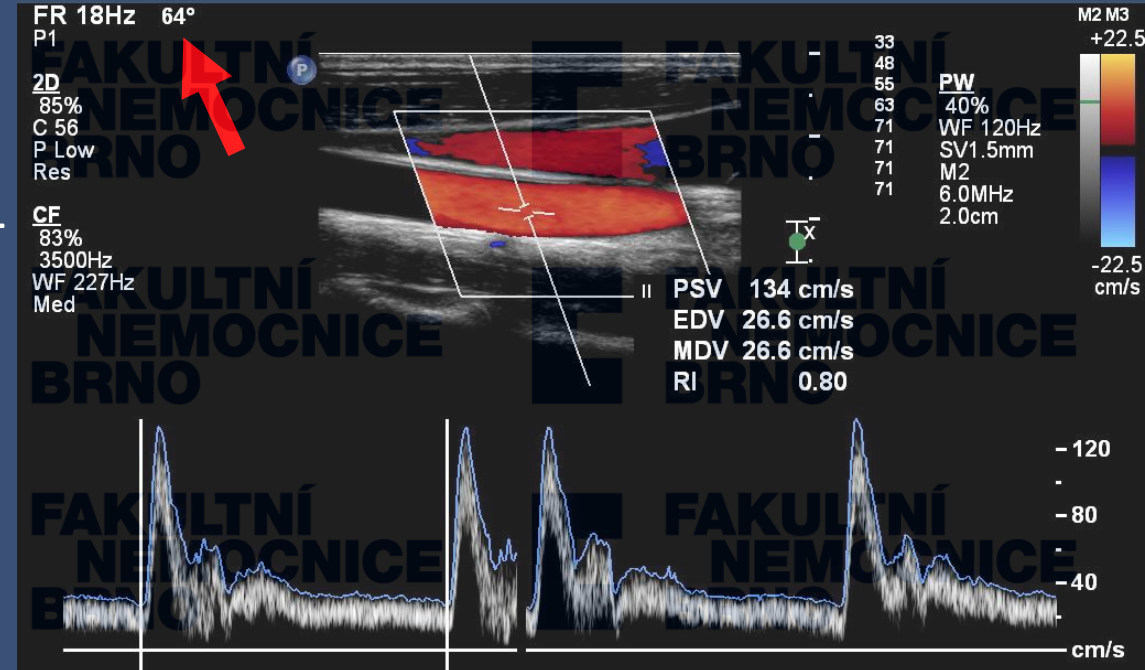
Proč cosinus?

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

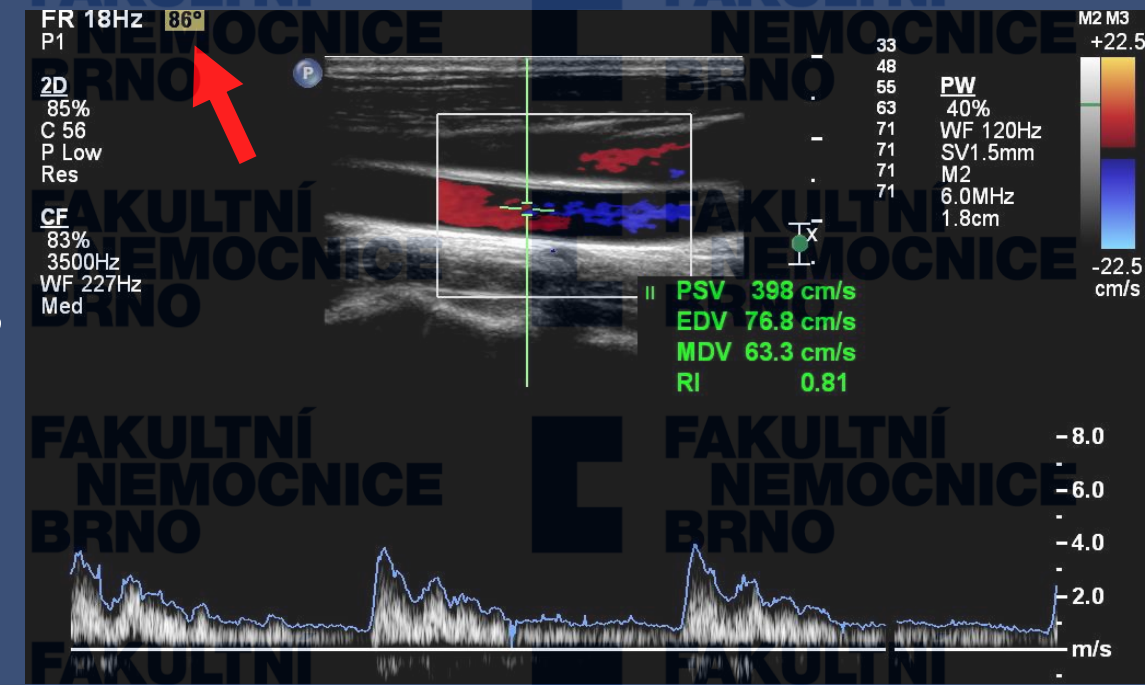
$$\cos 60^\circ = 0,5$$
$$\Delta f = (f_0 v)/c$$



60° vs. 64°
118 vs 134



82° vs. 86°
199 vs 398



FAKULTNÍ
NEMOCNICE

BRNO
FR 6Hz
RP

2D
84%
C 64
P Med
Res

CF
77%
3247Hz
WF 162Hz
Low

FAKULTNÍ
NEMOCNICE
BRNO

FAKULTNÍ
NEMOCNICE
BRNO

FAKULTNÍ
NEMOCNICE

BRNO

FAKULTNÍ
NEMOCNICE
BRNO

FAKULTNÍ
NEMOCNICE
BRNO

FAKULTNÍ
NEMOCNICE
BRNO

FAKULTNÍ
NEMOCNICE
BRNO

FAKULTNÍ
NEMOCNICE
BRNO

FAKULTNÍ
NEMOCNICE

BRNO

FAKULTNÍ
NEMOCNICE
BRNO

FAKULTNÍ
NEMOCNICE
BRNO

FAKULTNÍ
NEMOCNICE
BRNO

FAKULTNÍ
NEMOCNICE
BRNO

FAKULTNÍ
NEMOCNICE
BRNO

FAKULTNÍ
NEMOCNICE

BRNO

FAKULTNÍ
NEMOCNICE
BRNO

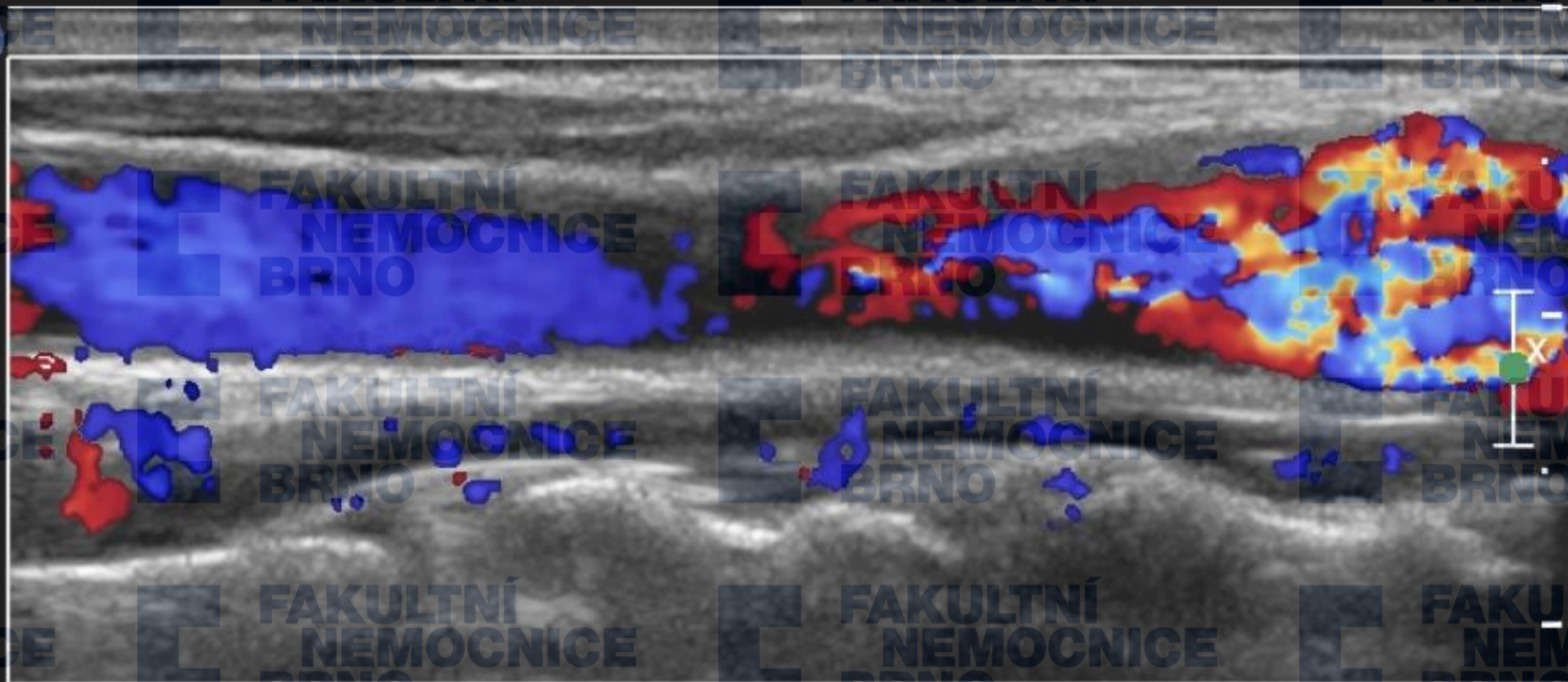
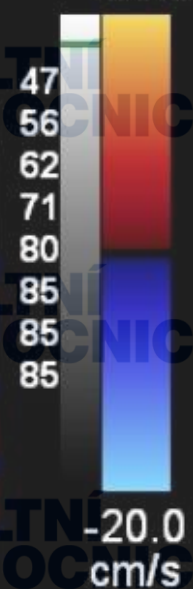
FAKULTNÍ
NEMOCNICE
BRNO

FAKULTNÍ
NEMOCNICE
BRNO

FAKULTNÍ
NEMOCNICE
BRNO

FAKULTNÍ
NEMOCNICE
BRNO

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

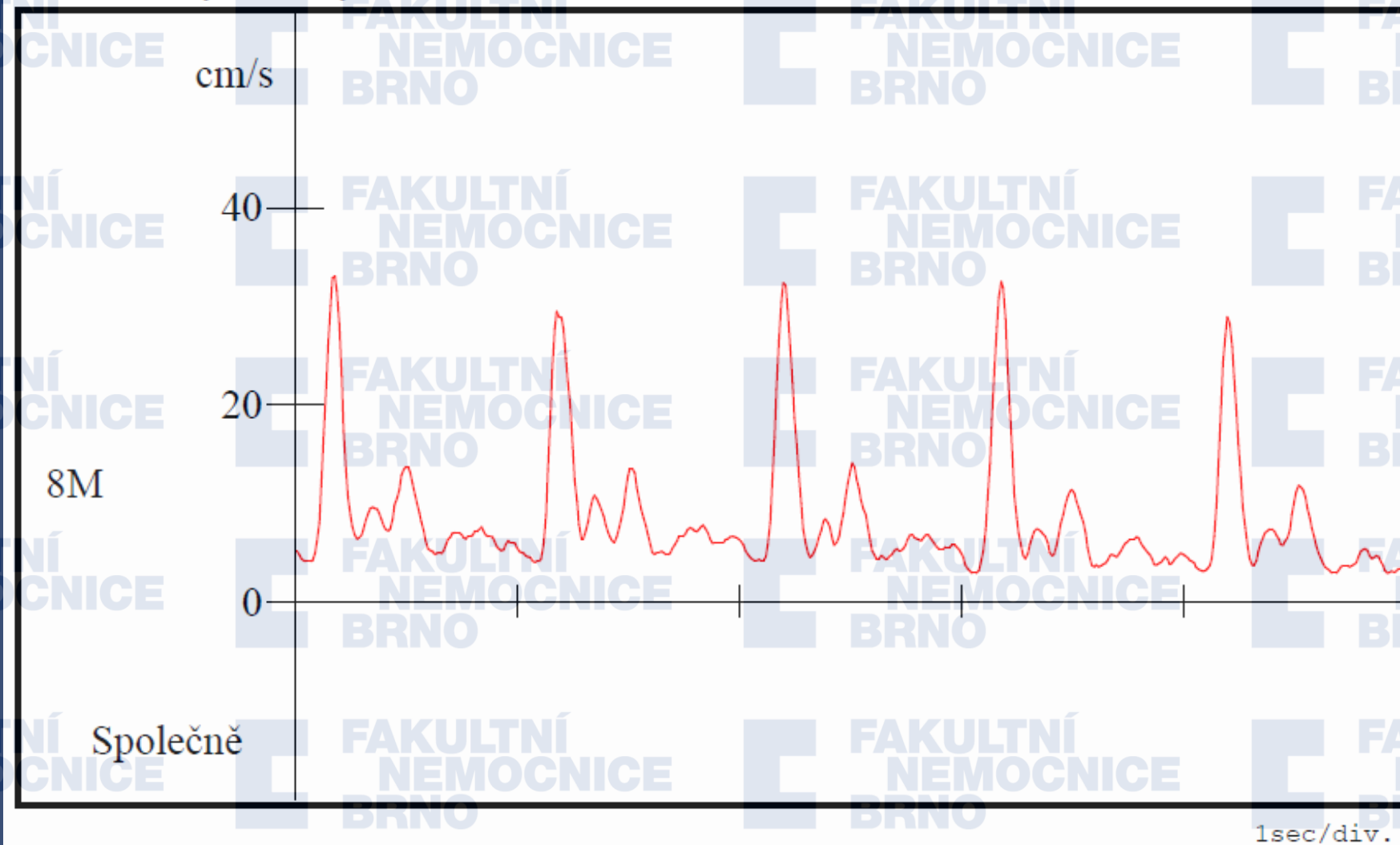
- Nelze určit hloubka, ze které signál přichází

Měří libovolně velké rychlosti

Tužkové Dopplery pro vyšetření periferních cév



Hor.končetiny --- Pravý Radial



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)

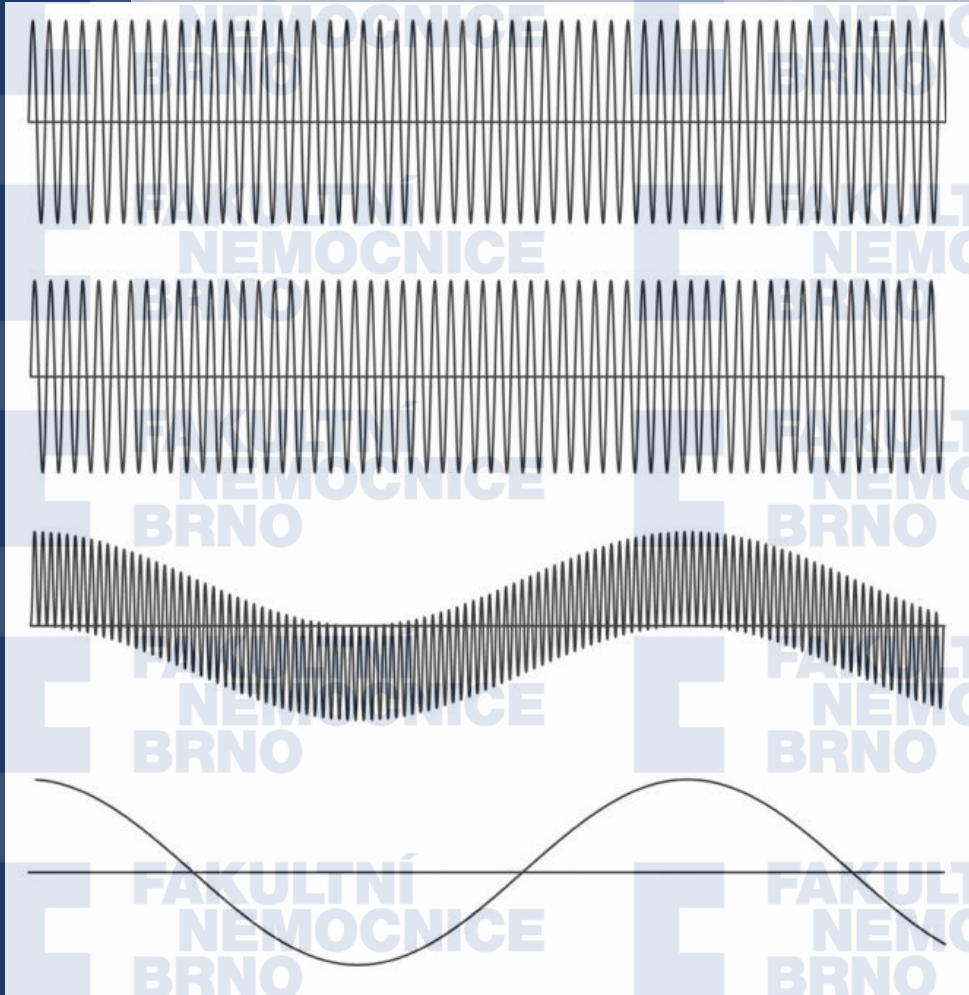
- Hloubka cévy

- Rychlost toku v cévě (Nyquistův vzorkovací teorém)

Kontinuální

vs.

Pulzní doppler



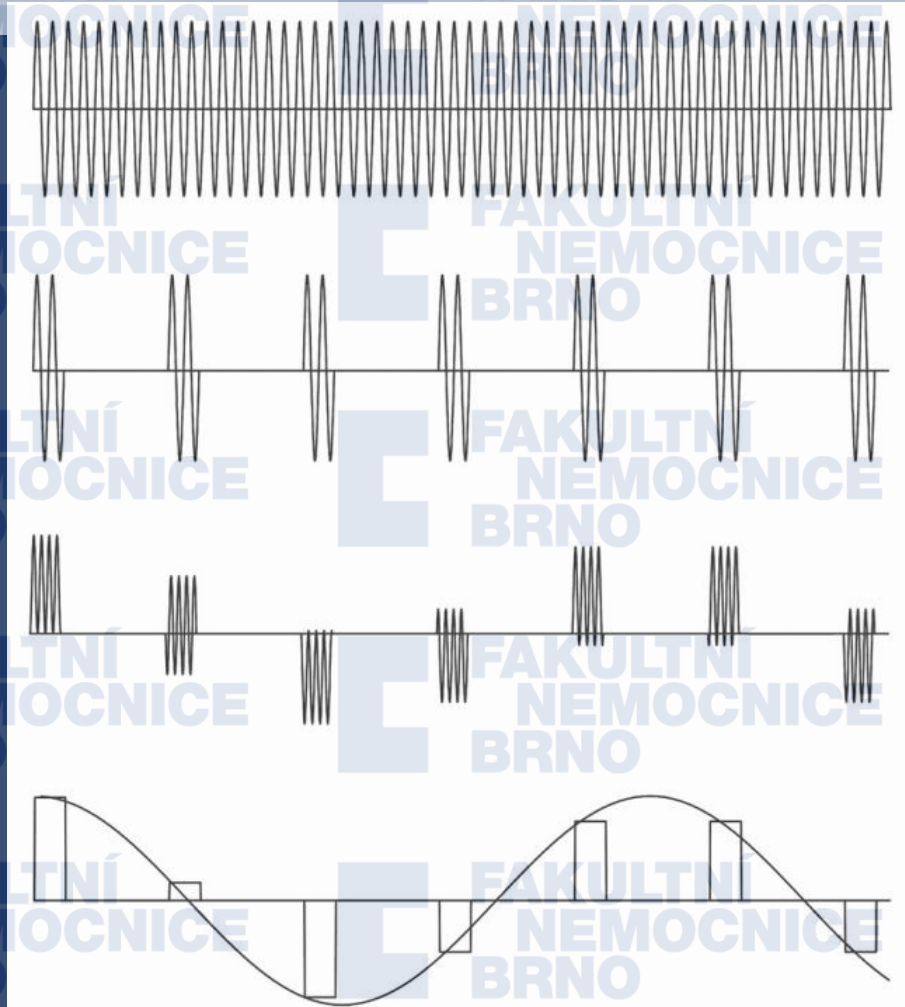
referenční frekvence

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

FR 28Hz
RS

2D
84%
C 48
P Low
HGen

M3

46
62
76
83
89
95

PHILIPS

FN Brno

C5-1/Abd Renal

TIS0.2 MI 1.2

FR 5Hz
RP

2D
86%
C 48
P Med
HGen

CF
61%
2200Hz
WF 109Hz
Med

M3 M6
+30.8

48
64
78
85
91
95
95

-30.8
cm/s

Pokles vzorkovací frekvence
obrazu – FR (frame rate)

Energetický doppler

Power doppler, (CPA color power angio)

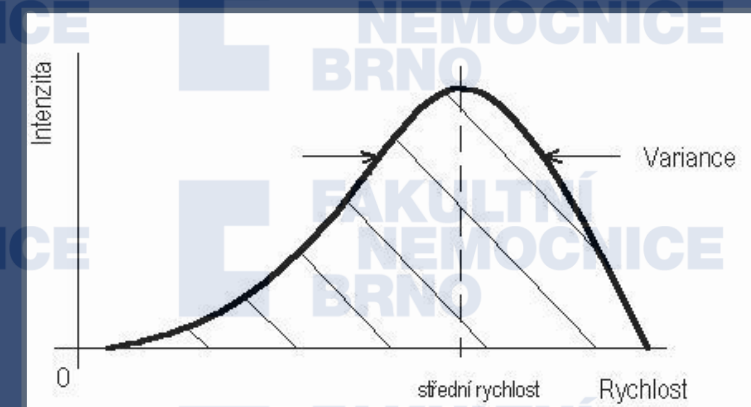
Obdoba barevného mapování

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

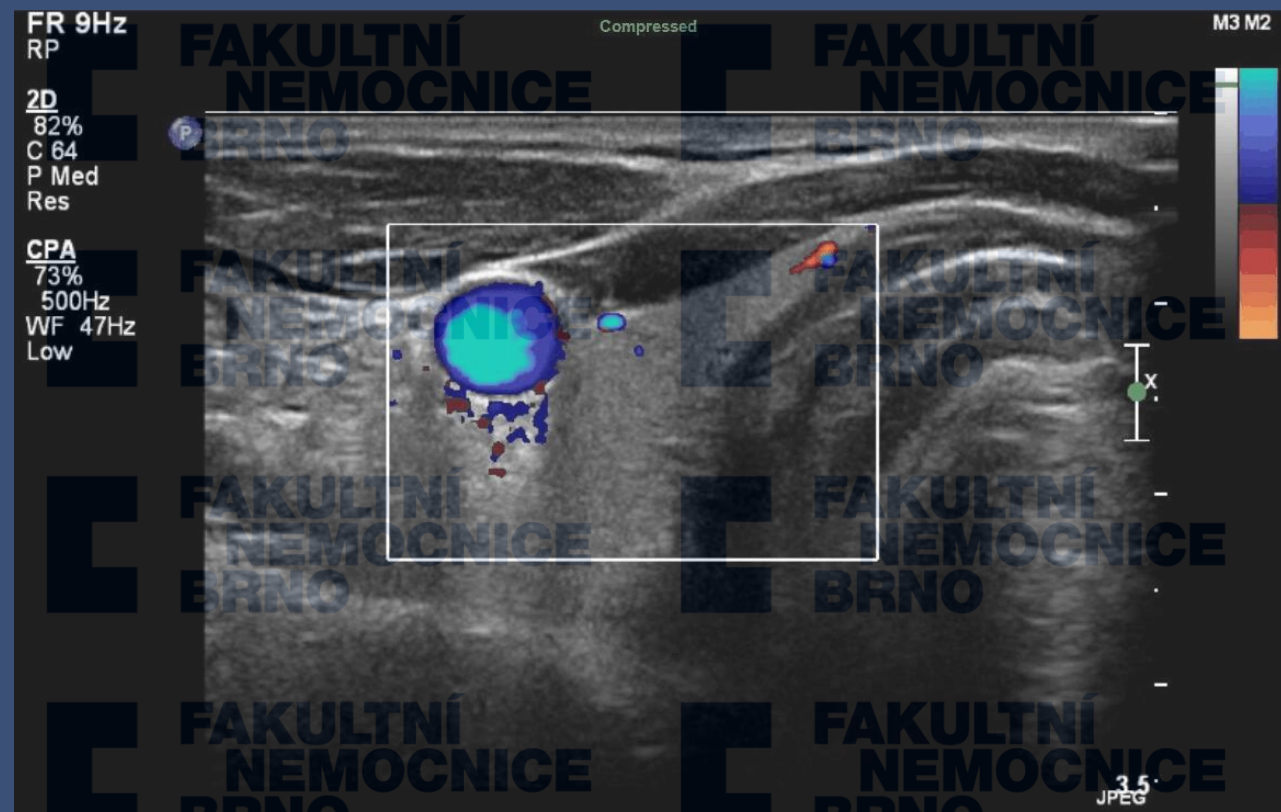
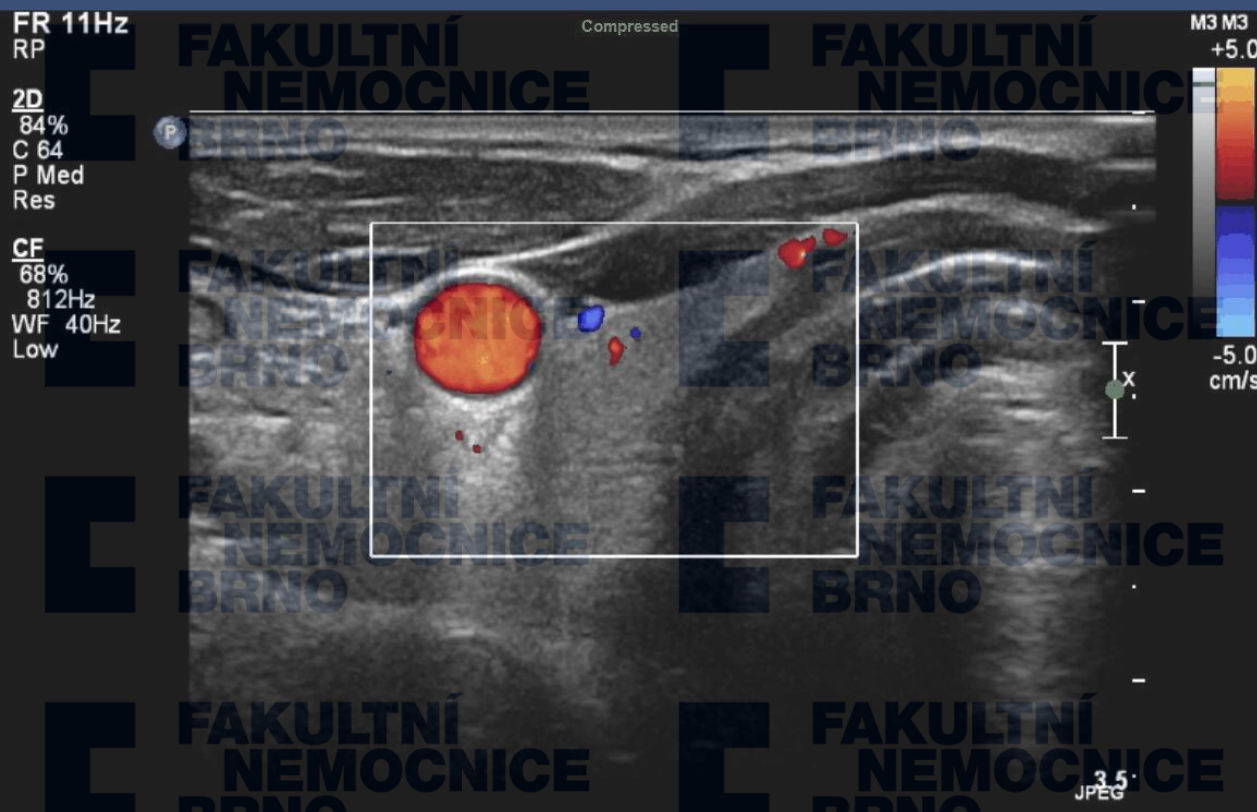
Citlivost pro velmi pomalé toky

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

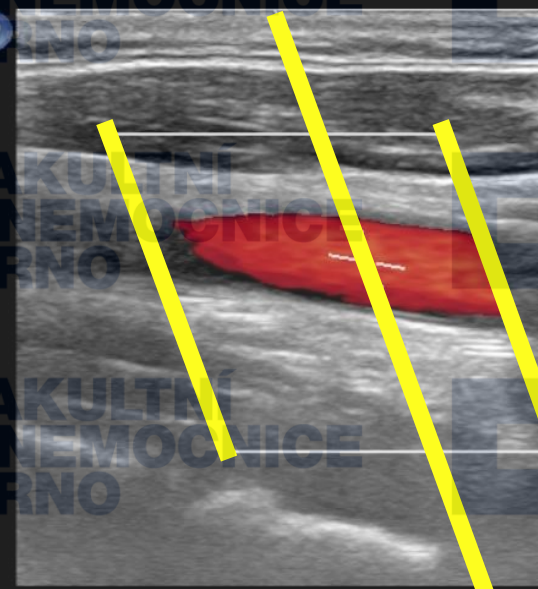
Pro barevný i spektrální záznam

Definuje vlastní úhel mezi UZ vlněním a cévou

Vasc Carotid
L12-3
27Hz 60°

2D
73%
Dyn R 50
P Low
HGen

CF
51%
6000Hz
WF 300Hz
4.0MHz
PW
38%
WF 60Hz
SV4.0mm
3.5MHz
1.9cm

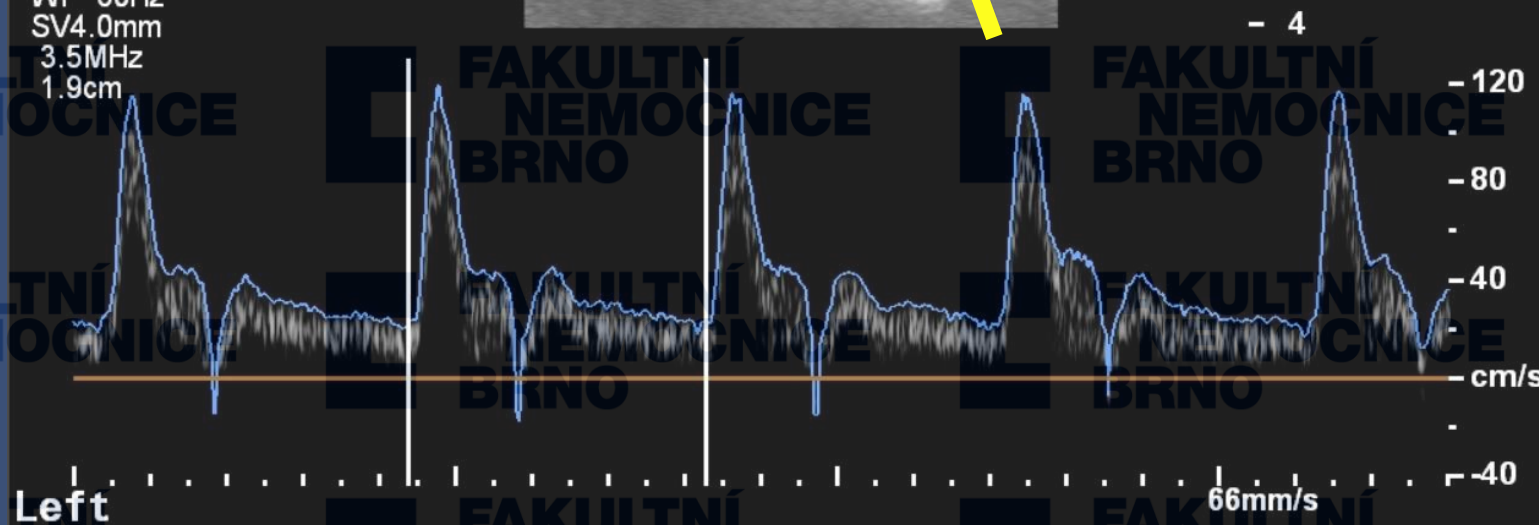


TISO.2 MI 0.5
0

PSV 121 cm/s
EDV 23.8 cm/s
MDV -16.3 cm/s
RI 0.80
AT 78 ms
IX3

M3 M3
+57.8

-57.8
cm/s



Praktická nastavení dopplerovského ultrazvuku

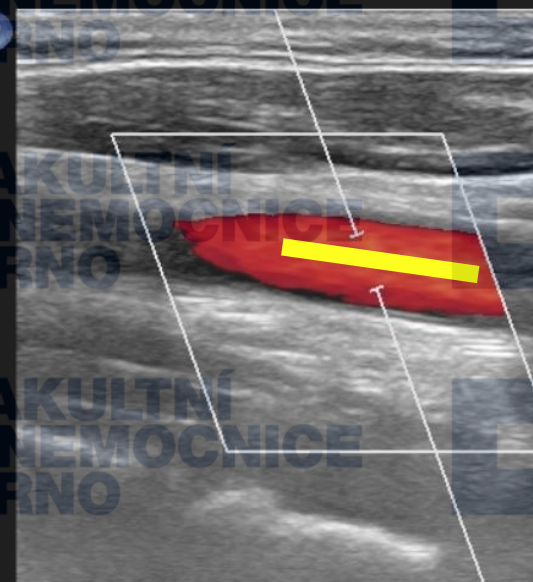
Angle correct – úhlová korekce, pro správný výpočet rychlosti spektrálního záznamu

Vasc Carotid
L12-3
27Hz

60°

2D
73%
Dyn R 50
P Low
HGen

CF
51%
6000Hz
WF 300Hz
4.0MHz
PW
38%
WF 60Hz
SV4.0mm
3.5MHz
1.9cm

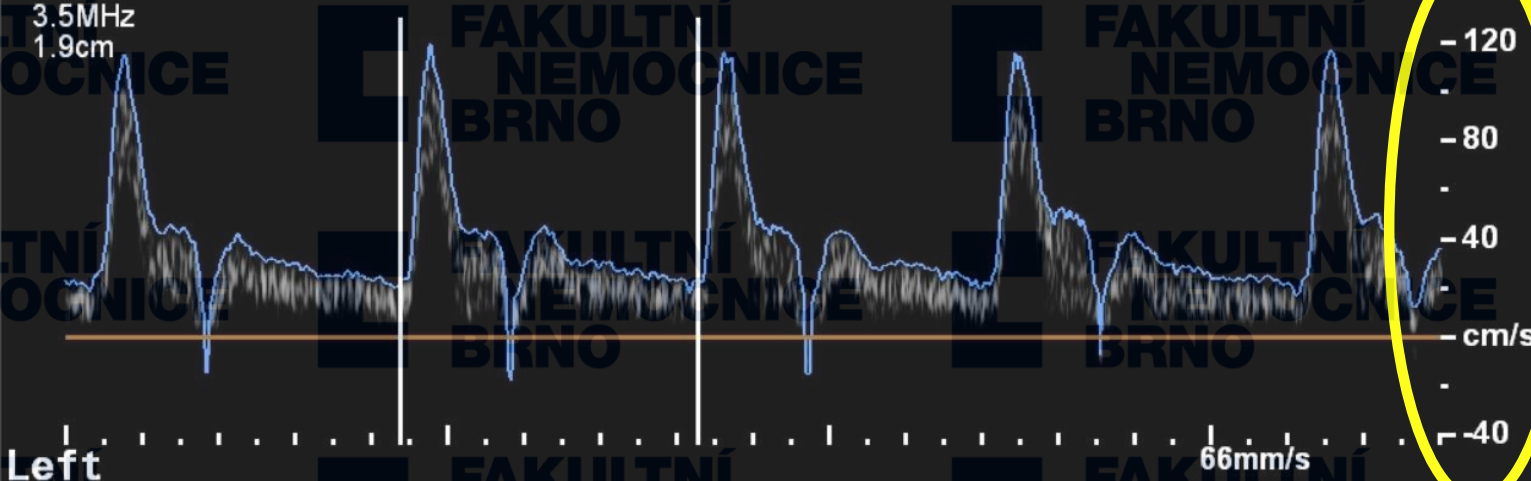


TISO.2 MI 0.5
0

M3 M3
+57.8

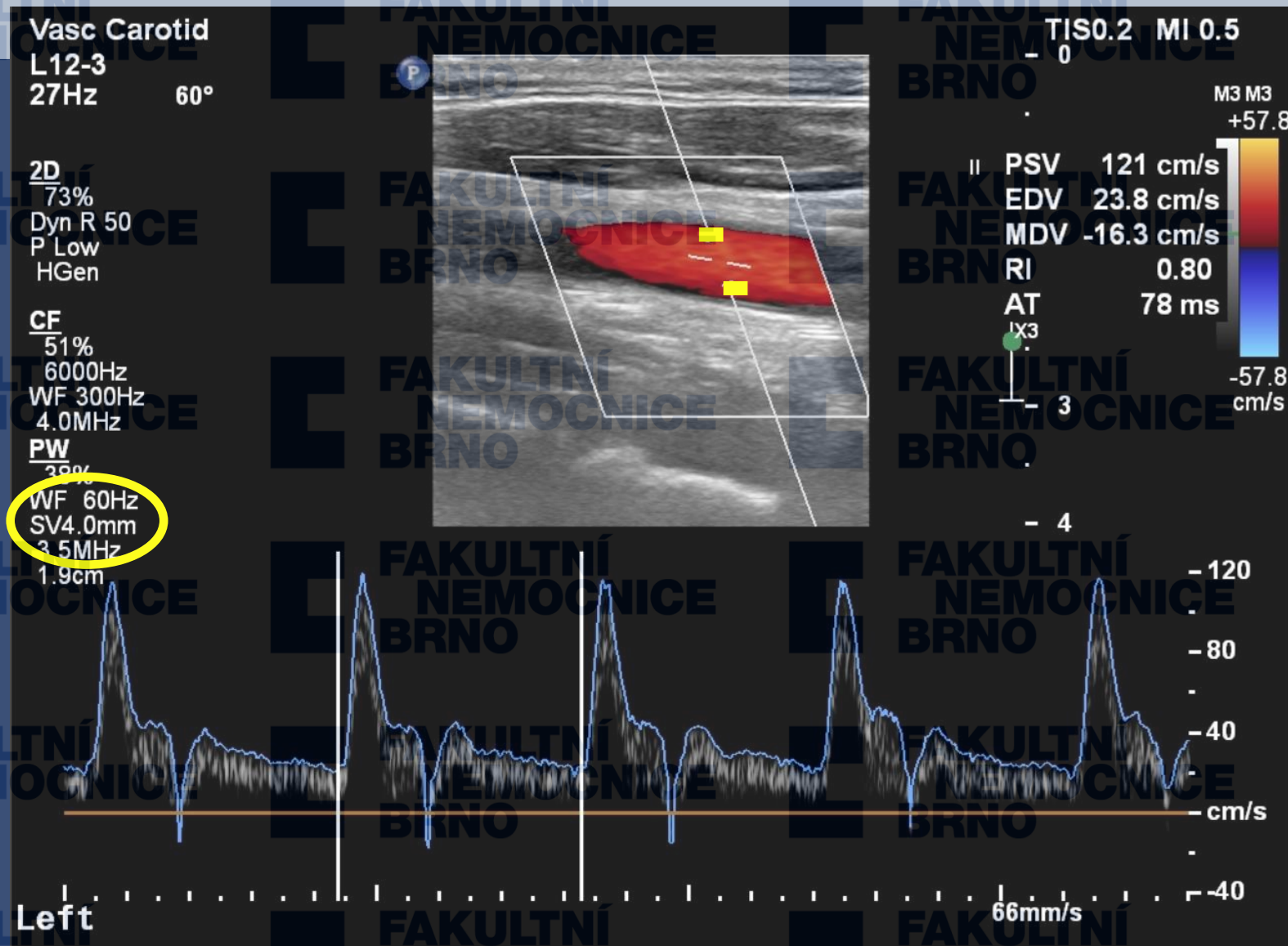
PSV 121 cm/s
EDV 23.8 cm/s
MDV -16.3 cm/s
RI 0.80
AT 78 ms

-57.8
cm/s



Praktická nastavení dopplerovského ultrazvuku

Sample volume –
vzorkovací objem,
odpovídá rozsahu
měřené cévy



Praktická nastavení dopplerovského ultrazvuku

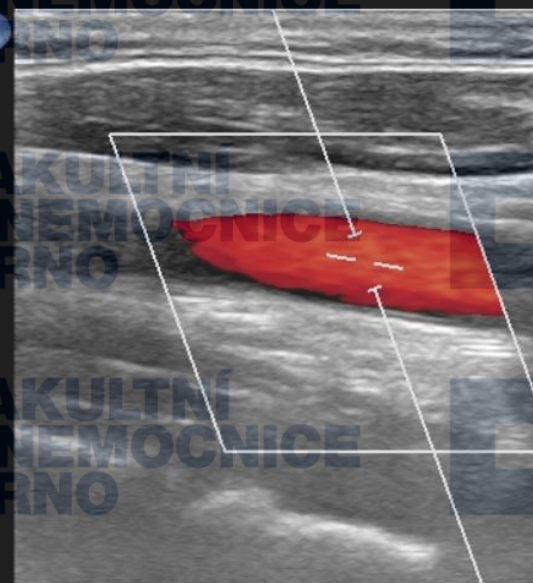
Scale – škála, definuje rozsah měřených hodnot, pro barevný i spektrální záznam

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

Vasc Carotid
L12-3
27Hz 60°

2D
73%
Dyn R 50
P Low
HGen

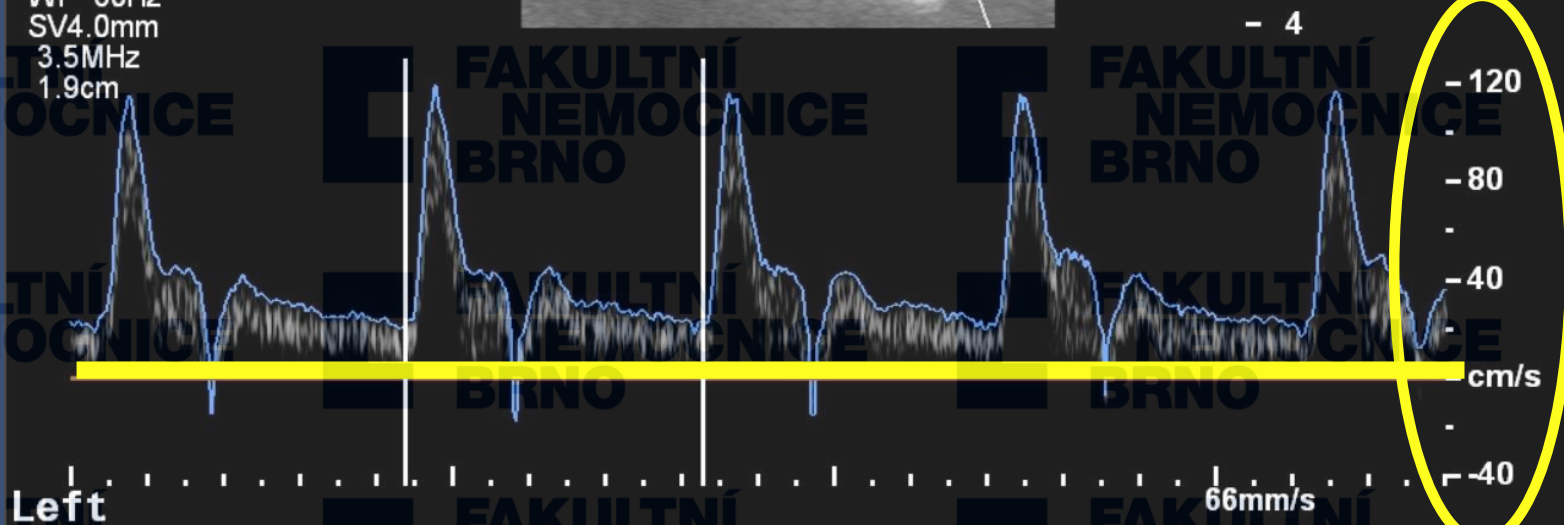
CF
51%
6000Hz
WF 300Hz
4.0MHz
PW
38%
WF 60Hz
SV4.0mm
3.5MHz
1.9cm



TISO.2 MI 0.5
0

PSV 121 cm/s
EDV 23.8 cm/s
MDV -16.3 cm/s
RI 0.80
AT 78 ms
IX3
- 3

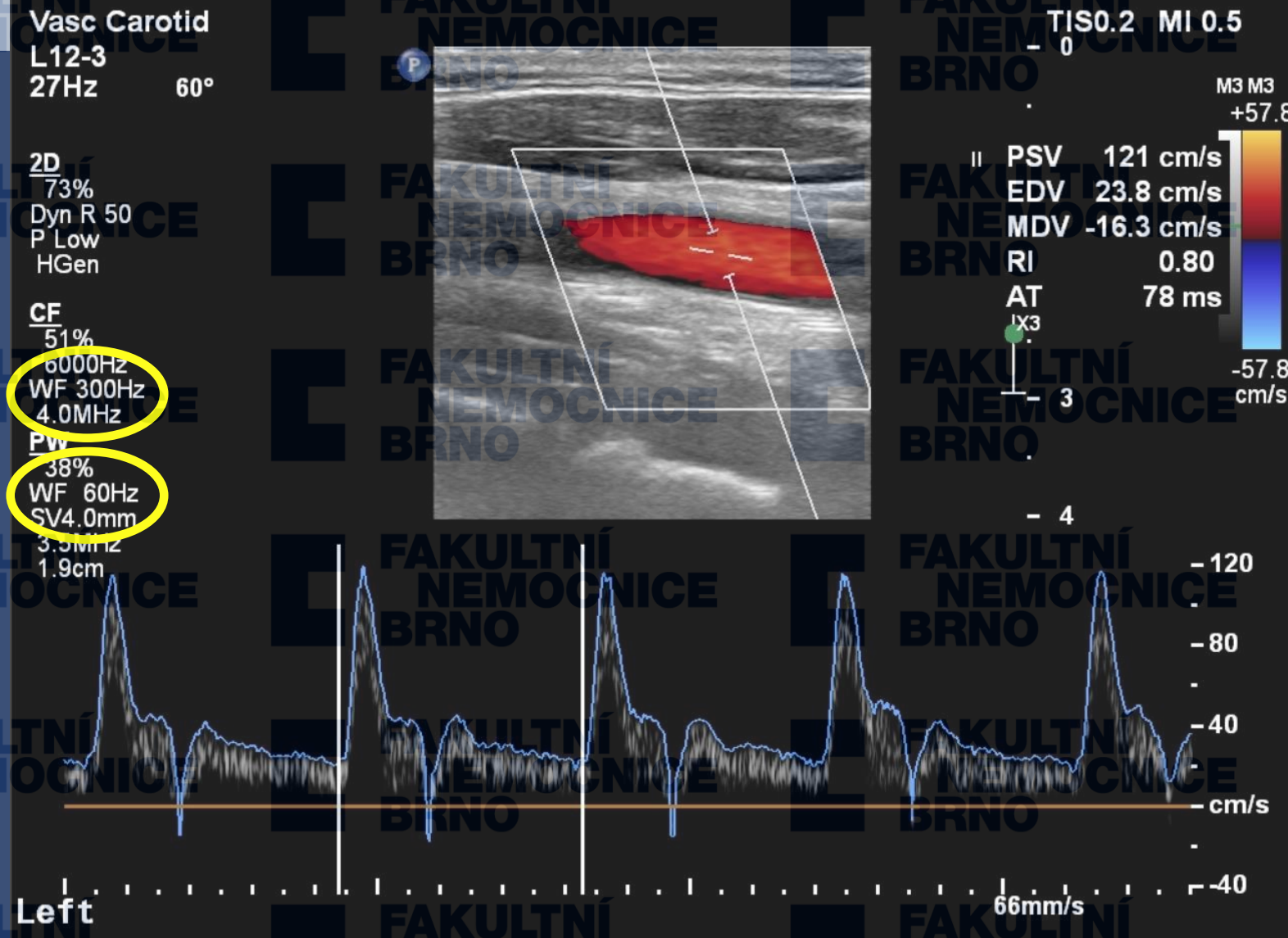
M3 M3
+57.8
-57.8
cm/s



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

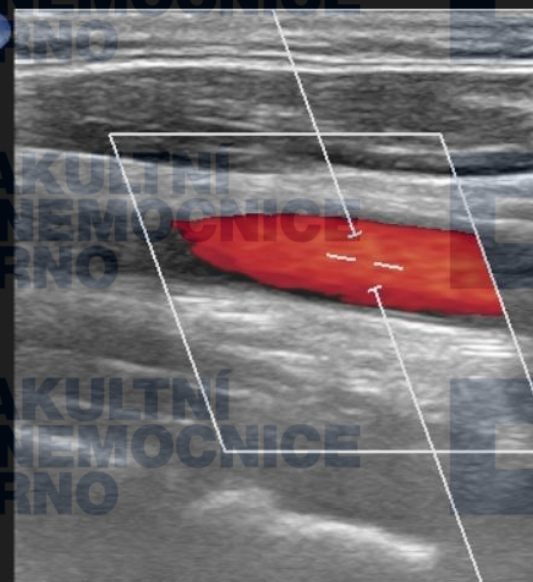
RI – resistance index

AT – acceleration time

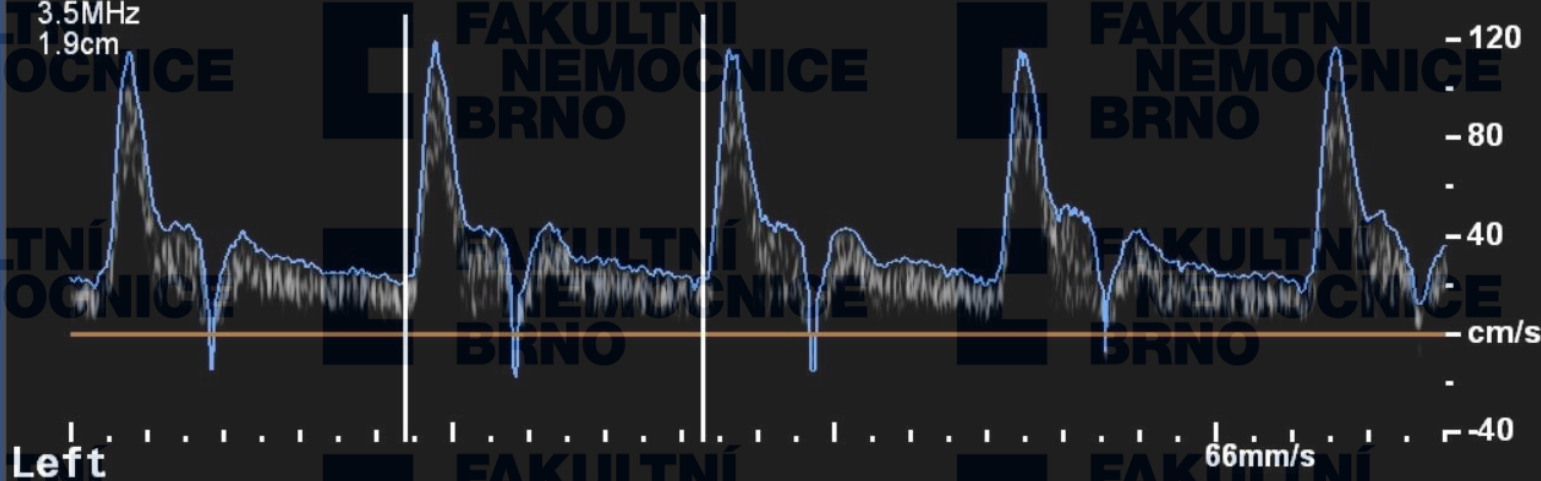
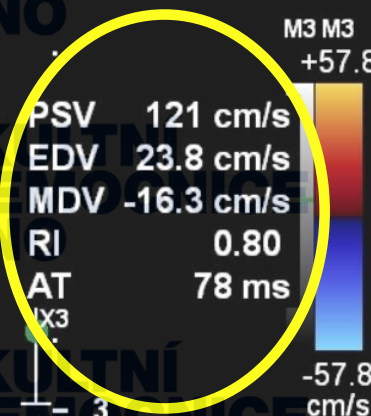
Vasc Carotid
L12-3
27Hz 60°

2D
73%
Dyn R 50
P Low
HGen

CF
51%
6000Hz
WF 300Hz
4.0MHz
PW
38%
WF 60Hz
SV4.0mm
3.5MHz
1.9cm



TIS 0.2 MI 0.5
0

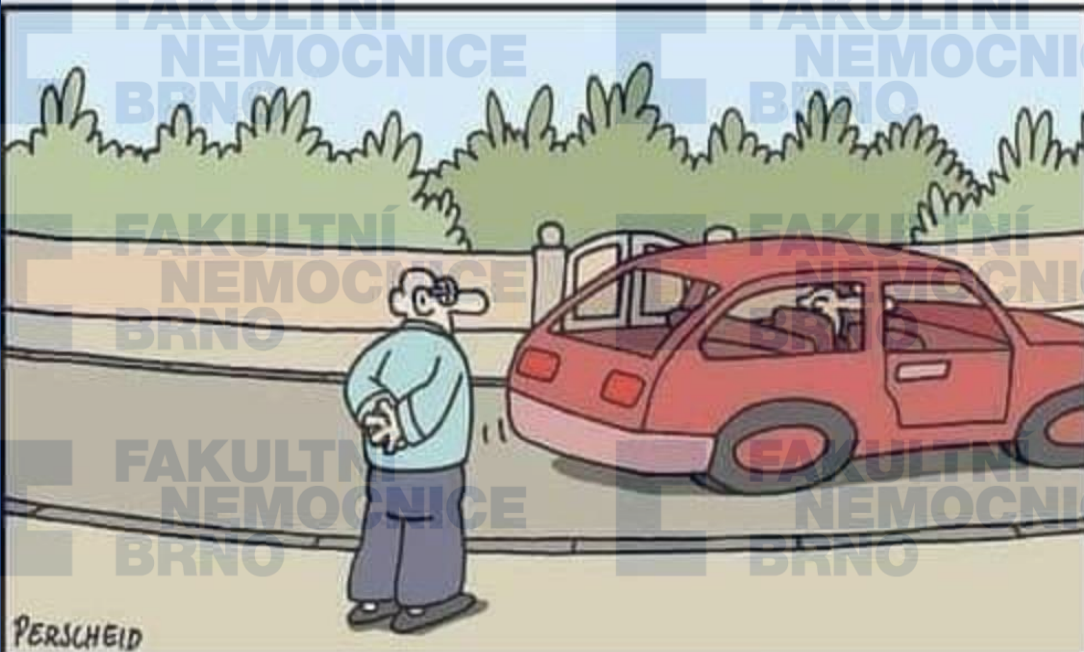
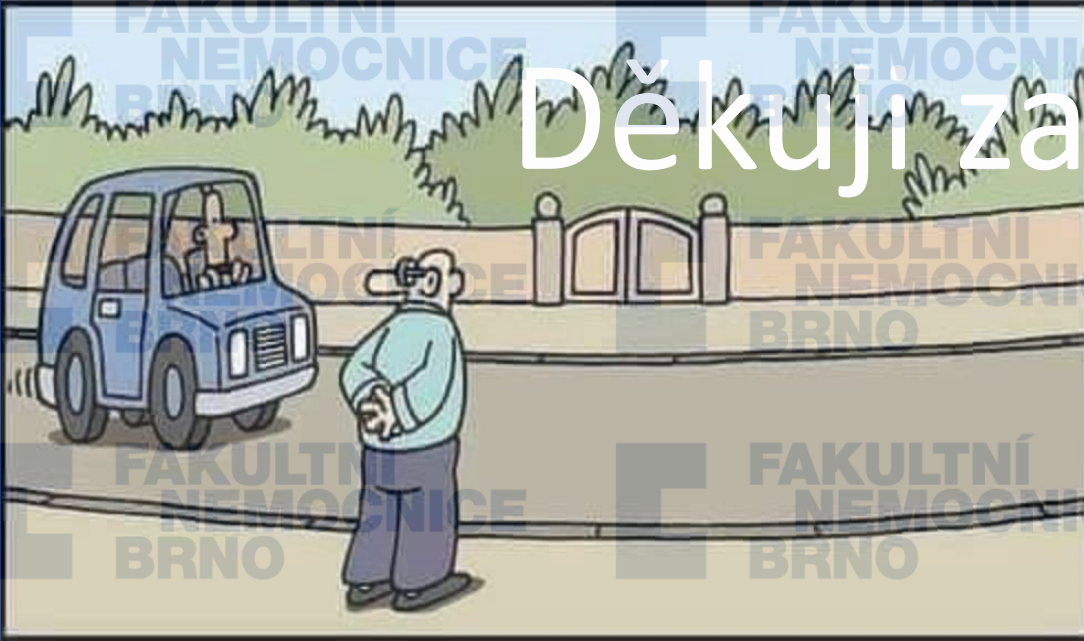


Závěr

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."

