

# Dopplerův jev a jeho využití v medicině

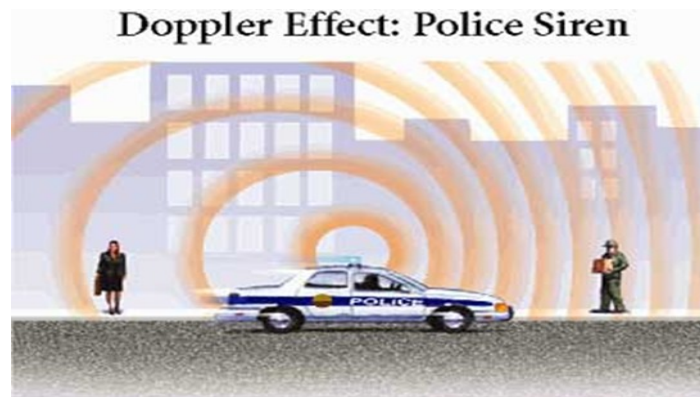
# Historie

- Christian Doppler
  - rakouský fyzik a matematik
- teorii formuloval 1842 v Praze
  - Polytechnický institut
  - článek „Ueber das farbige Licht der Doppelsterne und einiger anderer Gestirne des Himmels“



# Fyzikální podstata

- pohybují-li se vůči sobě zdroj a přijímač vlnění, přijímaná frekvence se liší od emitované



# Rovnice Dopplerova posuvu

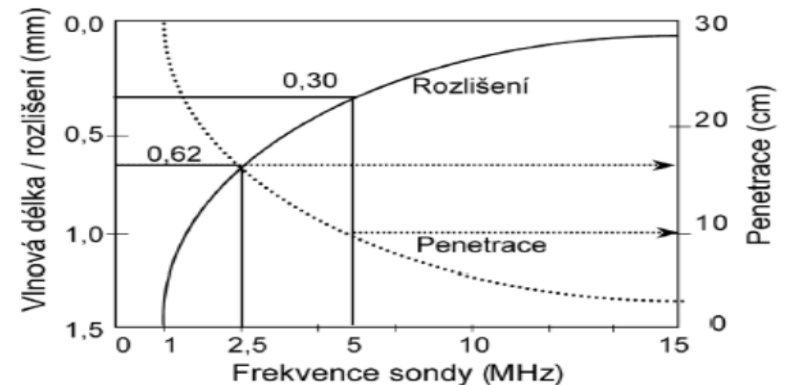
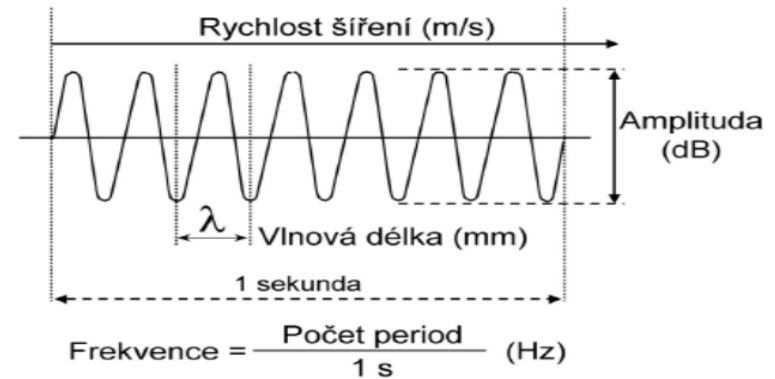
- Dopplerův posuv
  - přímo úměrný rychlosti pohybu zdroje a kosinu dopplerovského úhlu
  - matematicky je vztah vyjádřen rovnicí Dopplerova posuvu

$$df = \frac{2 \cdot f \cdot v \cdot \cos \theta}{c}$$

$$v = \frac{df \cdot c}{2 f \cdot \cos \theta}$$

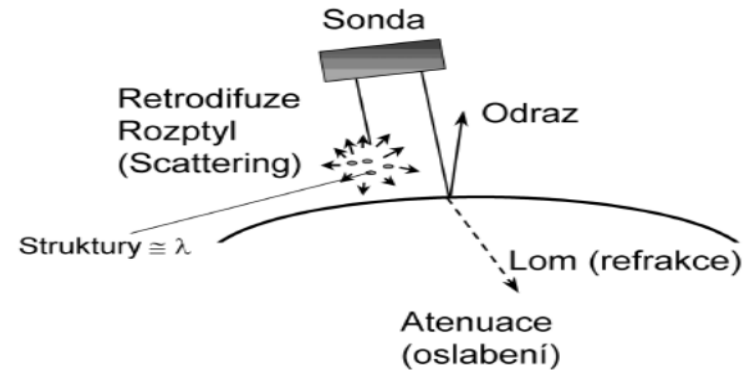
# Popis ultrazvuku

- ultrazvuk
  - vlnění s  $f > 20\,000$  Hz
- vlnová délka  $\lambda$ 
  - rozhodující pro rozlišovací schopnost
  - se zkracující se  $\lambda$  (a tedy rostoucí  $f$ ) klesá hloubka propagace
- rychlost šíření ultrazvuku
  - $c = \lambda \cdot f$
  - v měkkých tkáních se  $c$  liší jen málo
- $\lambda = c/f$ 
  - sonda s nízkou frekvencí má menší rozlišovací schopnost, ale dostane se do větší hloubky



# Interakce ultrazvuku s prostředím

- děje, ke kterým dochází v prostředí při průchodu ultrazvuku
  - odraz
    - na přechodu mezi prostředími s rozdílnou impedancí
  - lom
    - vyšší  $f$  oslabeny dříve
    - přeměna na tepelnou energii
  - zeslabení
  - rozptyl
- zdroj ultrazvuku
  - piezoelektrický krystal



# Princip měření

- průchod ultrazvuku tkání
  - klin. využití 2 – 10 MHz
  - je možný akustický záznam
- odraz ultrazvuku od pohybujících se částic
  - erythrocyty – menší než  $\lambda$  ultrazvuku, fungují jako zdroje rozptylu
  - amplituda odražené vlny je úměrná druhé mocnině celkového počtu elementárních reflektorů
- detekce odraženého ultrazvuku
- výpočet rychlosti pohybu
- zobrazení měřených dat

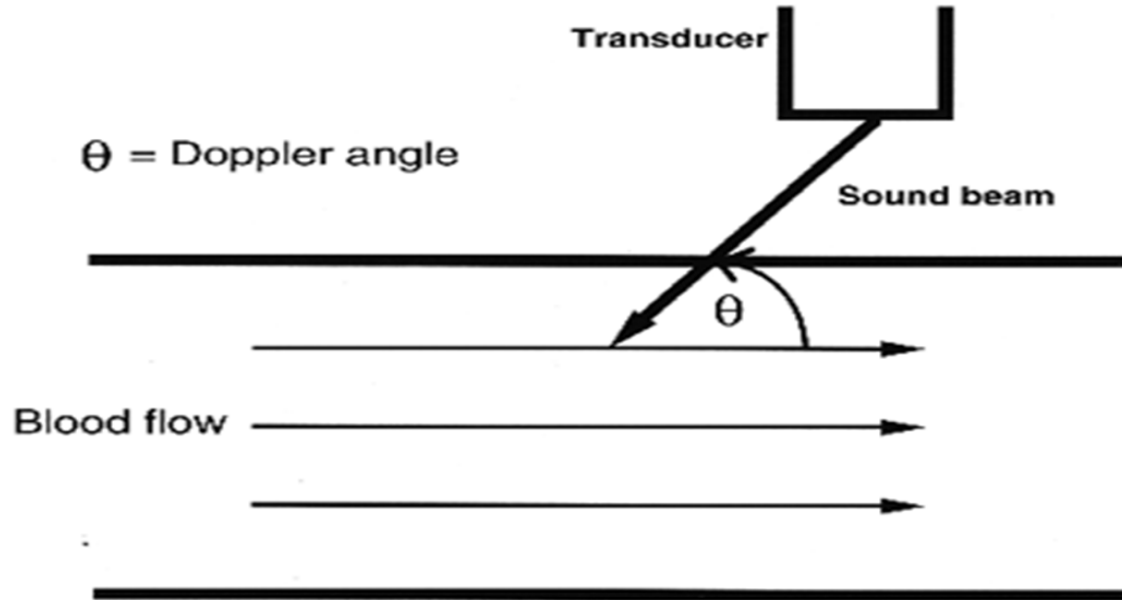


# Akustické vlastnosti biologických tkání

Tkáň	Hustota ( $10^{-3} \cdot kg \cdot m^{-3}$ )	Rychlost šíření podélných vln ( $m \cdot s^{-1}$ )	Akustický odpor ( $10^{-6} \cdot Pa \cdot s \cdot m^{-1}$ )
tuk	0,97	1450	1,41
mozek	1,03	1500	1,56
krev	1,06	1580	1,65
slezina	1,05	1566	1,65
sval	1,07	1585	1,70
kost	1,70	3600	6,10
lebeční kost	1,90	4080	7,80
ledvina	1,036	1561	1,62
játra	1,06	1550	1,65
oční čočka	1,121	1647	1,85
sklivec	1,0037	1534	1,54
bělina	1,033	1650	1,61
rohovka	0,9447	1609	1,55
měkká tkáň	—	1540	—
voda (20°C)	0,9982	1492	—
vzduch	0,00013	331	—



# Princip měření



# Používané systémy

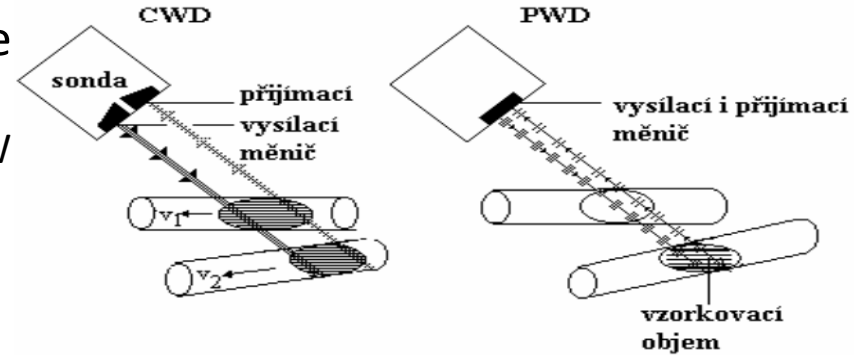
- rozdělení podle způsobu vysílání a detekce ultrazvuku

- systémy s nemodulovanou nosnou vlnou (CW continual wave)

- souvislé vysílání ultrazvuku
- 2 měniče – vysílač a přijímač
- nesměrové a směrové
- měření hlavně v povrchových cévách, schopný měřit i vysoké rychlosti

- systémy s impulzně modulovanou nosnou vlnou (PW – pulsed wave)

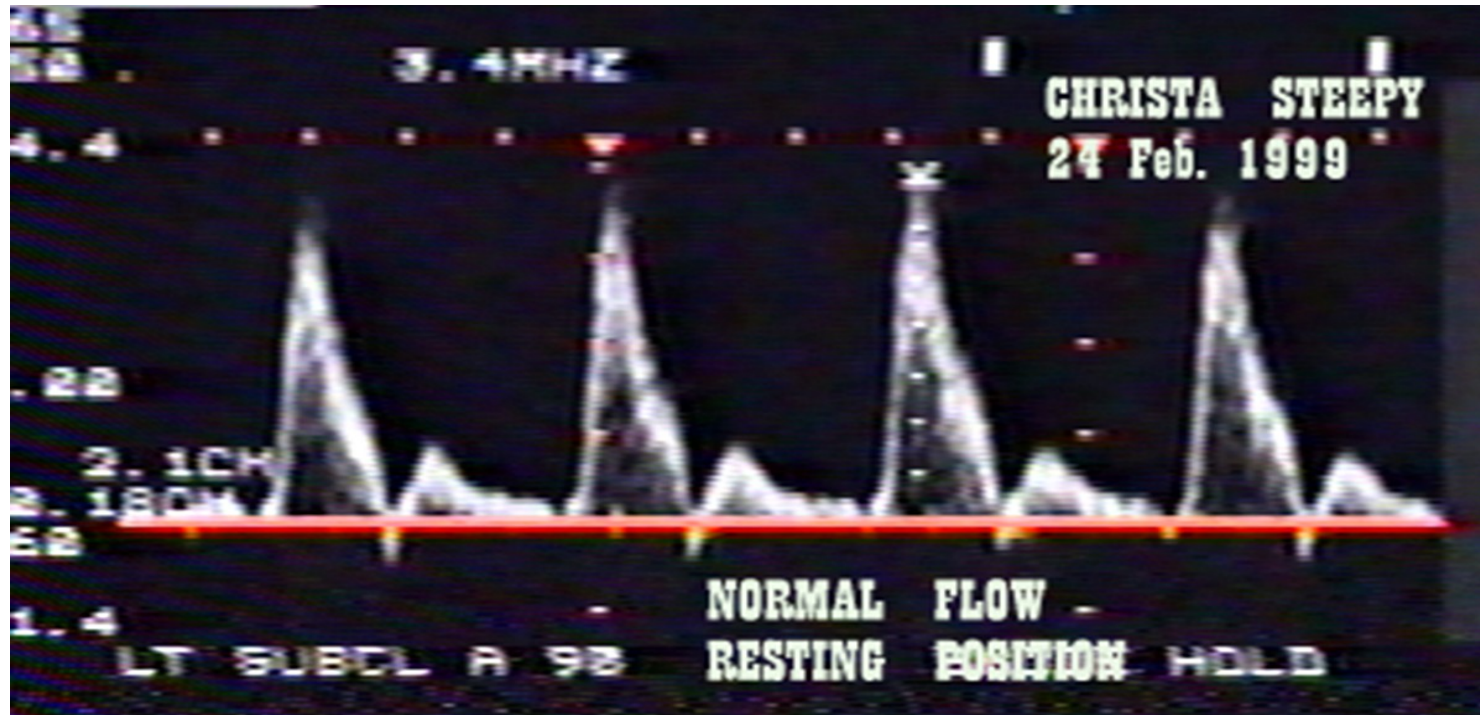
- přerušované vlnění
- měření ve větší hloubce
- oblast cévy kde se měří = vzorkovací objem
- měření není ovlivněno cévami, které leží mezi sondou a vzorkovacím objemem
- nevýhoda – nepřesné u vyšších rychlostí (vysokých poměrů rychlost/pulsní interval)



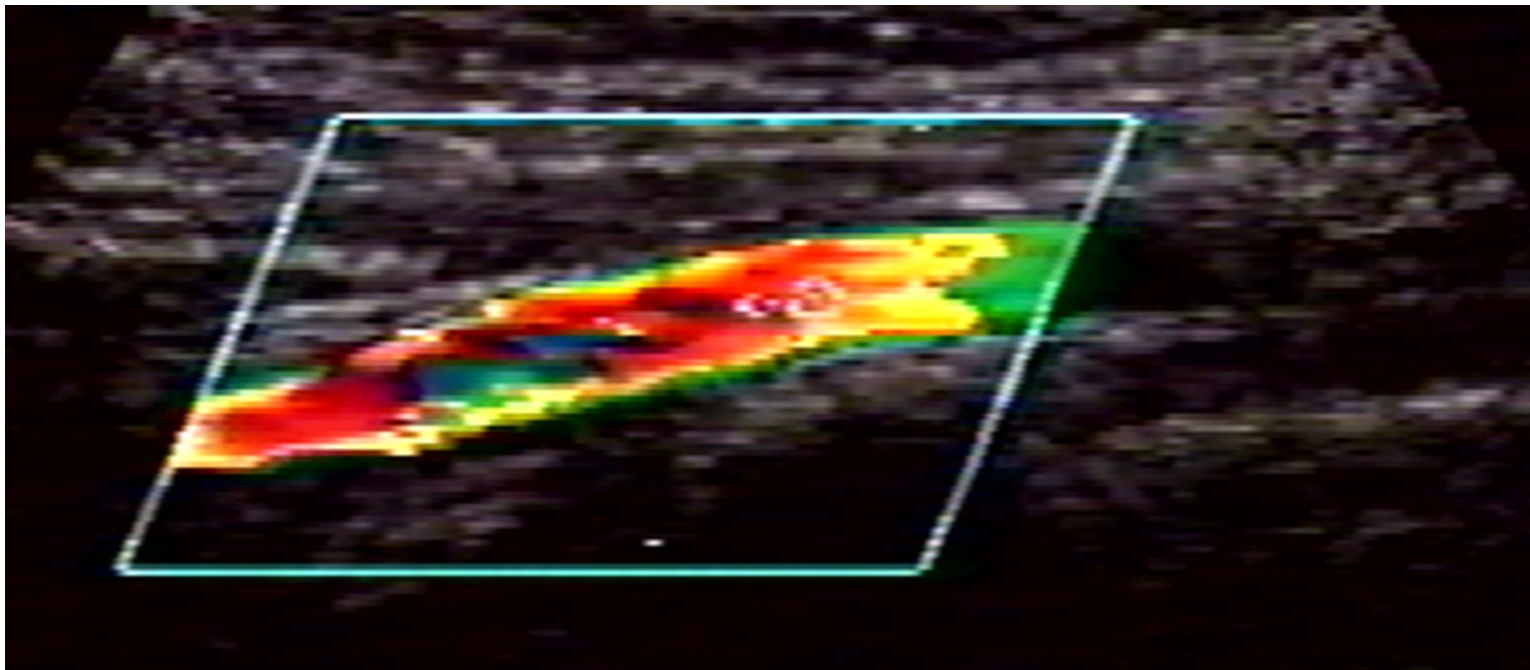
# Používané systémy

- jednoduchá dopplerometrie
- duplexní systémy
- pulzní doppler
- tkáňový doppler
  - separuje signál o vysoké amplitudě a nízké frekvenci (pohybující se tkáně) od signálu o nízké amplitudě a vysoké frekvenci (krev)

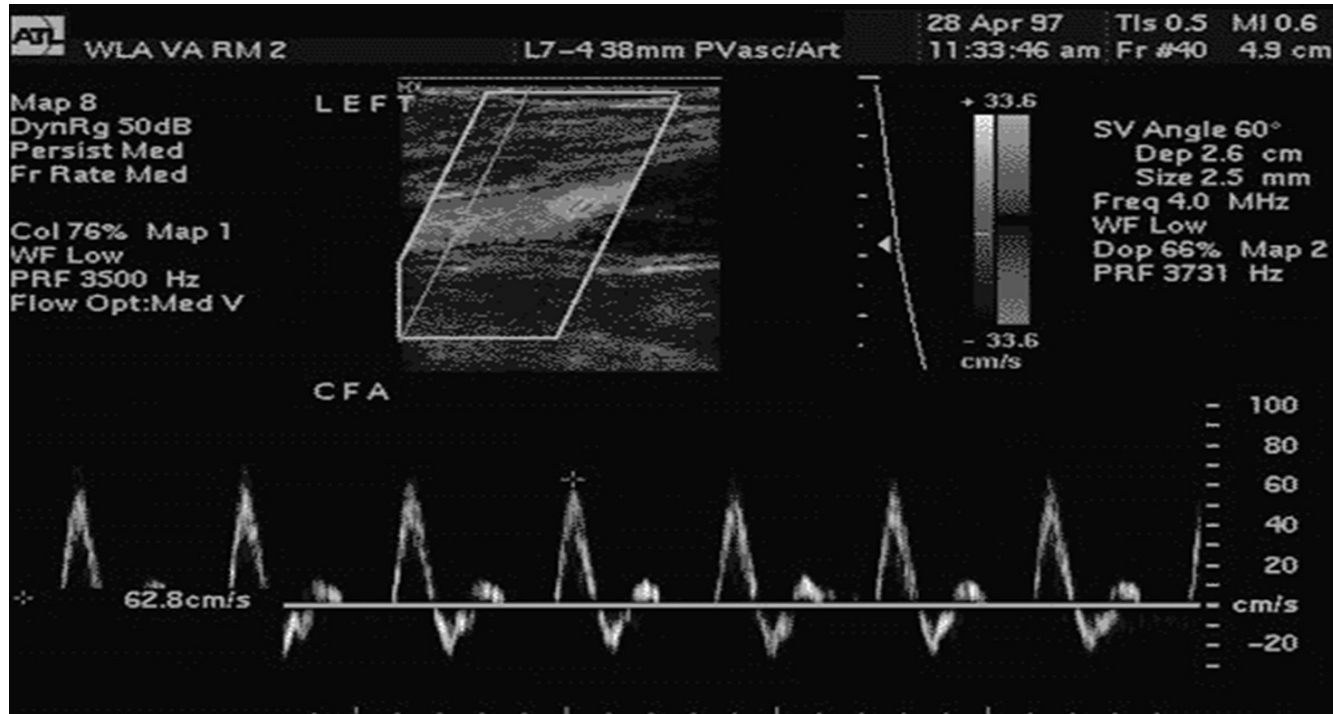
# Jednoduchý Doppler



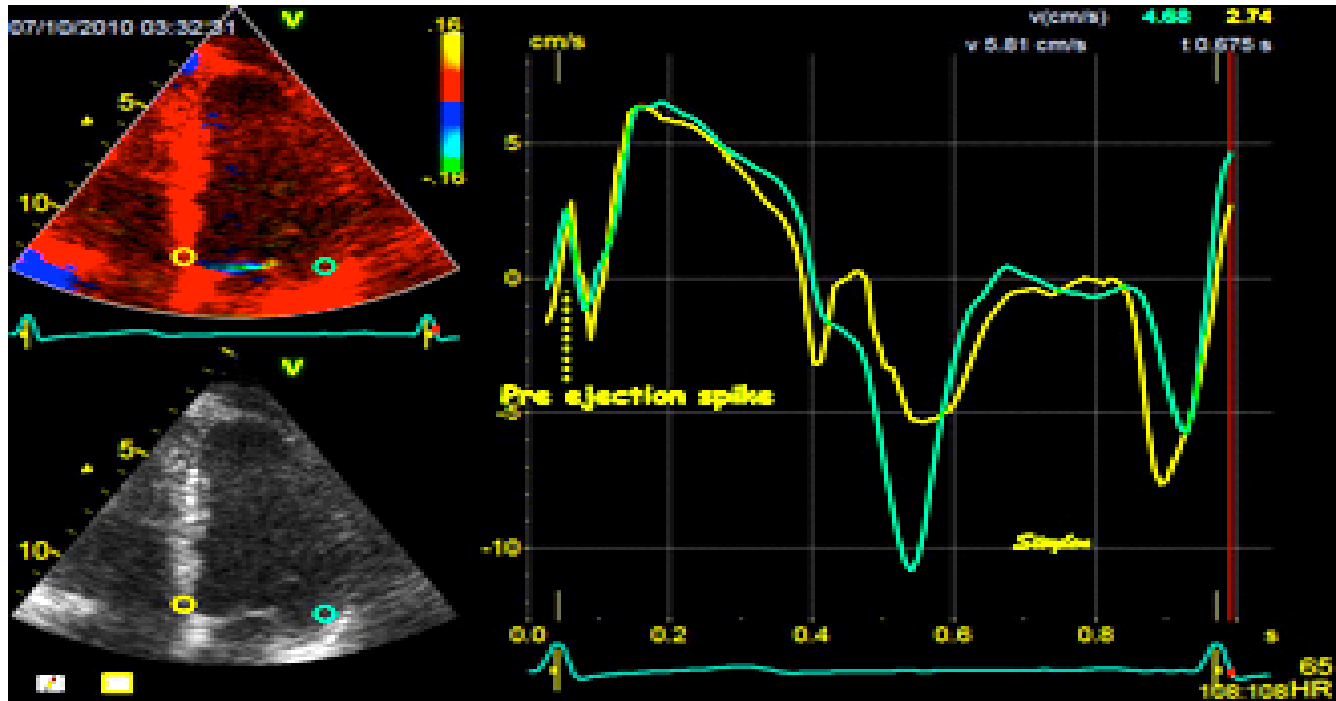
# Barevný Doppler



# Pulzní Doppler

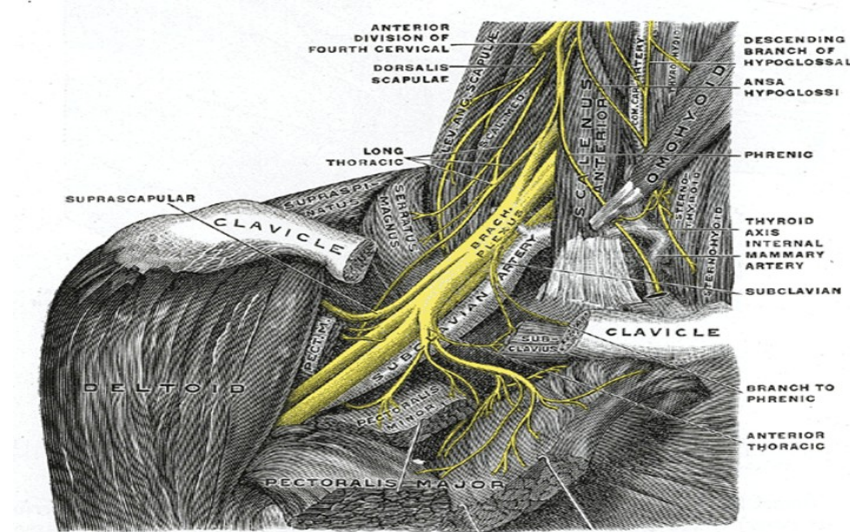


# Tkáňový doppler



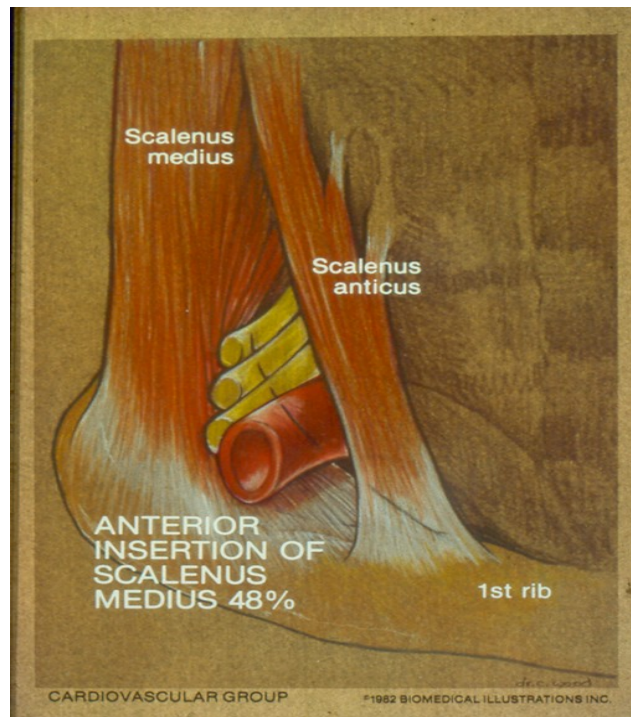
# Thoracic outlet syndrome

- syndrom horní hrudní apertury
- komprese nervů a cév (v. a a. subclavia) pro horní končetinu v prostoru mezi m. scalenus anterior a medius
- mladší pacienti, převážně ženy
- příčiny
  - hypertrofie m. scalenus anterior
  - anomálie cév
    - aneurysma a. nebo v. subclavia





# Syndrom horní hrudní apertury



# Klinické aplikace

- měření tepenného tlaku krve - detekce stenózy, thoracic outlet sy.
- měření směru proudění krve v kolaterálních krevních řečištích- steal phenomenon
- sledování charakteru proudění krve - turbulentní / laminární
- směr proudění krve ve vénách

# Detekce arteriální stenózy na dolní končetině

- index kotník/paže ABI (ankle/brachial index)
  - normální hodnoty 1.0 – 1.2
  - nad 1.2 – kalcifikace stěny
  - pod 1.0 – redukce tlaku
- hodnocení stupně okluze
- absolutní hodnota tlaku na dolní končetině informuje o poruše prokrvení
  - dobré prokrvení >100 mmHg



# Praktické cvičení

- měření tepenného tlaku krve - detekce stenózy, thoracic outlet sy.
- měření směru proudění krve v kolaterálních krevních řečištích- steal fenomén
- směr proudění krve ve vénách

