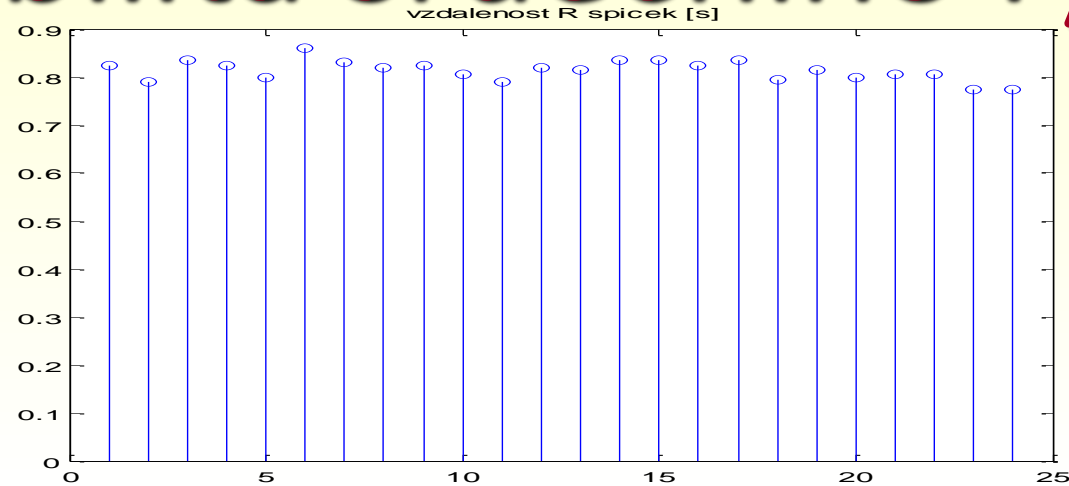


SIGNÁLY SRDCE II.

21. října 2021

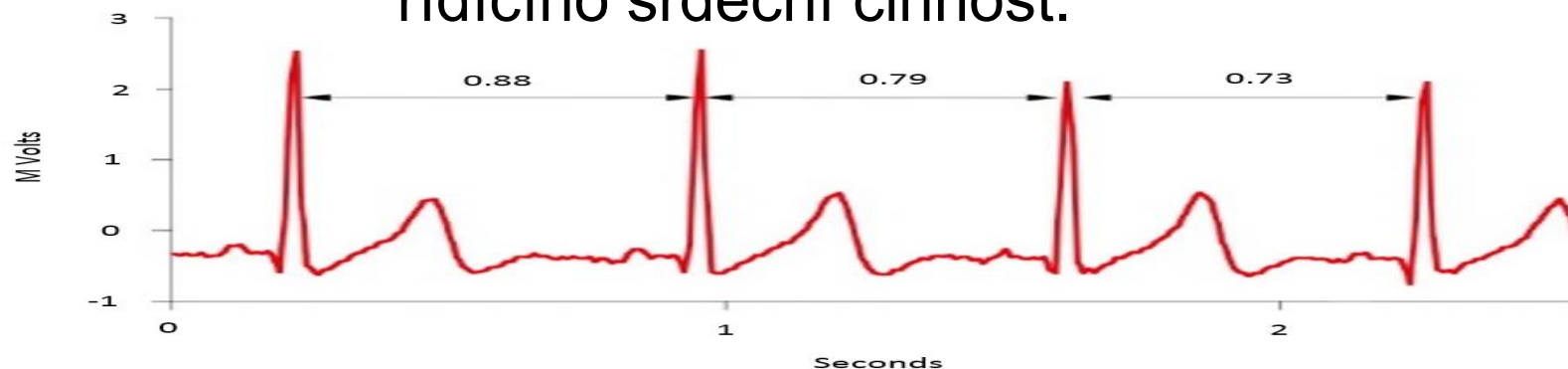
- **elektrické signály srdce**
 - speciální EKG
 - HRV
 - pozdní potenciály, turbulence, QT
- **akustické signály srdce**
 - srdeční ozvy
 - fonokardiogram
- **mechanické signály srdce**
 - pulsní vlna
 - pletysmogram
- **polygrafické metody**
 - detektor lži
 - polykardiografie

Variabilita srdečního rytmu



VARIABILITA SRDEČNÍHO RYTMU

je jev, který reprezentuje stav **autonomního nervového systému** řídicího srdeční činnosti.

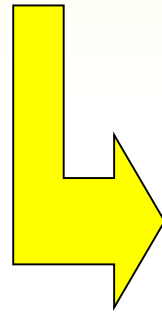


Autonomní nervový systém

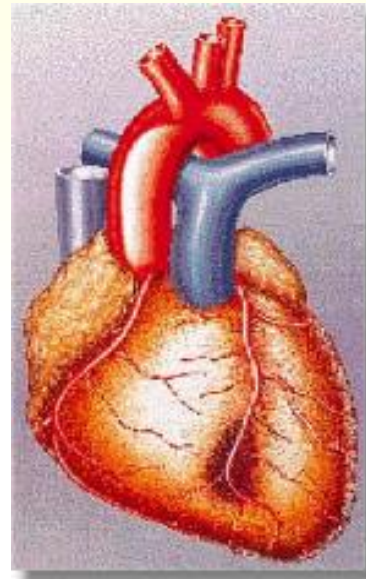
velmi citlivý zpětnovazebný indikátor změn v organismu

ANS lze rozdělit do dvou větví

sympatikus

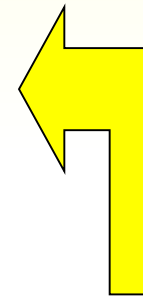


Zrychluje SF



a parasympatikus

(n. vagus)

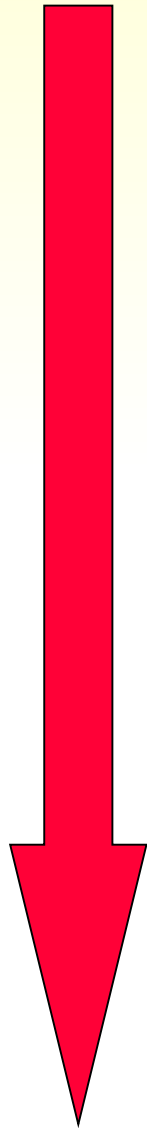


Zpomaluje SF

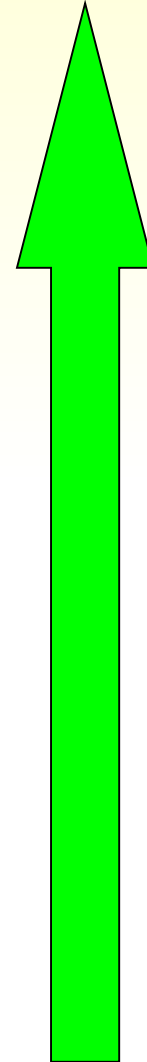


VARIABILITA SRDEČNÍ FREKVENCE (HRV)

Autonomní nervový systém



- ✓ únava
- ✓ **stav přetížení, přetrénování**
- ✓ nemoc (akutní, chronická)
- ✓ spánková deprivace
- ✓ konzumace alkoholu
- ✓ mentální stres
- ✓ intenzita zatížení
- ✓ věk



- ✓ obecně regenerace
- ✓ zdravý životní styl

**FAKTORY
OVLIVŇUJÍCÍ
ÚROVEŇ
AKTIVITY ANS**

Variabilita srdečního rytmu

v závislosti na **stavu** a **zatížení** nervového a kardiovaskulárního systému se srdeční rytmus mění v rozsahu 5 ÷ 15 %

vnitřní faktory (dány autonomní fyziologickou aktivitou – dýchání, oscilace tlaku krve, termoregulace);

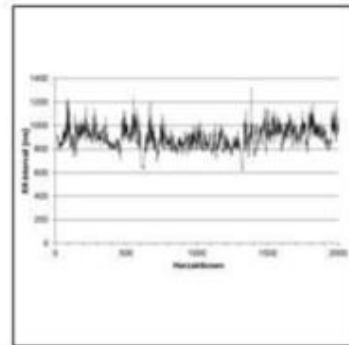
vnější faktory (svalové a psychické zatížení, trávení, poloha, hluk, podnebí, počasí);

HRV

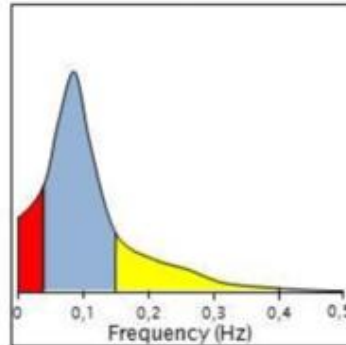
Heart rate variability (HRV)



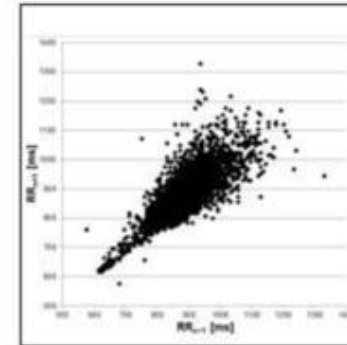
Time domain methods



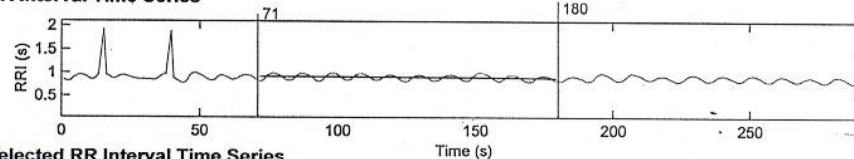
Frequency domain methods



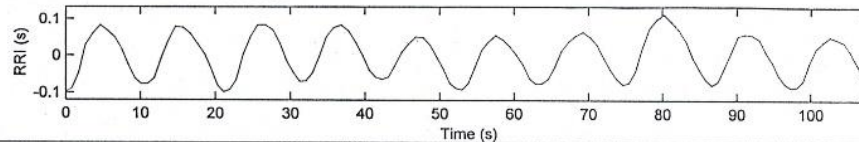
Non-linear methods



RR Interval Time Series



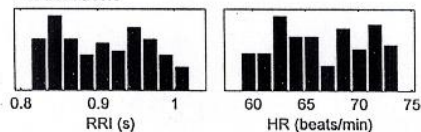
Selected RR Interval Time Series



Time Domain Results

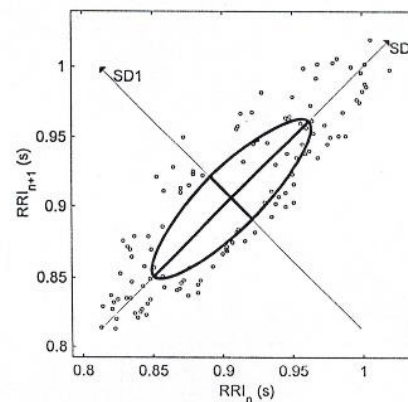
Variable	Units	Value
Statistical Measures		
Mean RR*	(s)	0.906
STD	(s)	0.057
Mean HR*	(1/min)	66.48
STD	(1/min)	4.18
RMSSD	(ms)	29.8
NN50	(count)	6
pNN50	(%)	5.0
Geometric Measures		
RR triangular index		0.105
TINN	(ms)	255.0

Distributions*

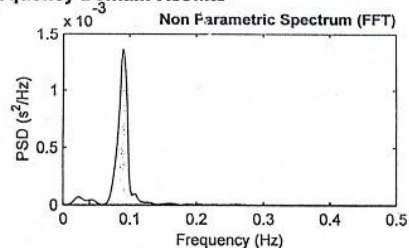


Poincare Plot*

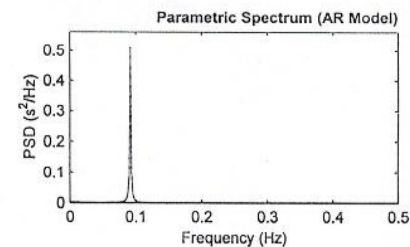
SD1 = 21.2 ms ↔ (Short-term HRV)
SD2 = 78.4 ms ↔ (Long-term HRV)



Frequency Domain Results



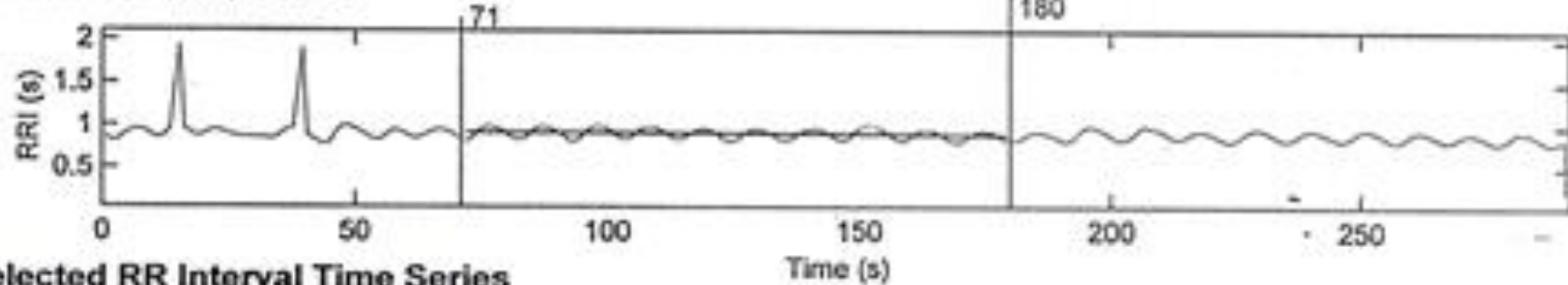
Frequency Band	Peak (Hz)	Power (ms ²)	Power (%)	Power (n.u.)
VLF	0.0234	1	5.3	
LF	0.0898	23	91.5	96.6
HF	0.1621	1	3.2	3.4
LF/HF			28.326	



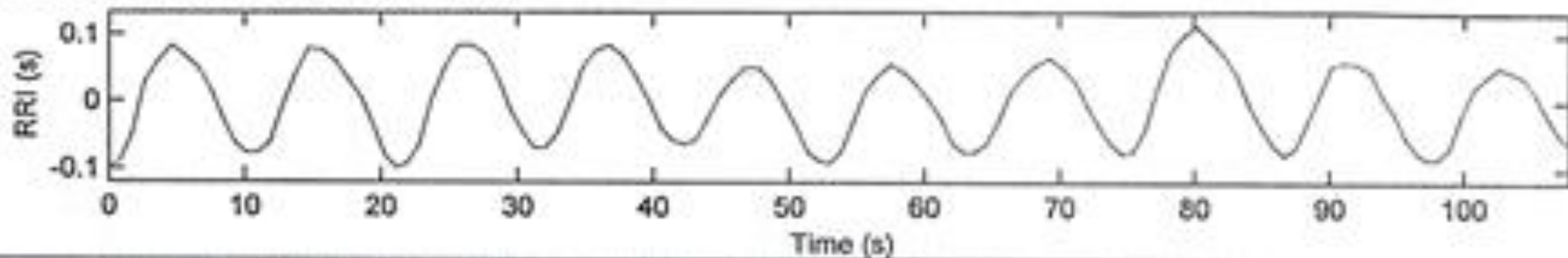
Frequency Band	Peak (Hz)	Power (ms ²)	Power (%)	Power (n.u.)
VLF	0.0000	59	3.8	
LF	0.0918	1480	95.4	99.0
HF	0.1953	13	0.8	0.9
LF/HF			116.261	

Parametry HRV v časové oblasti

RR Interval Time Series



Selected RR Interval Time Series



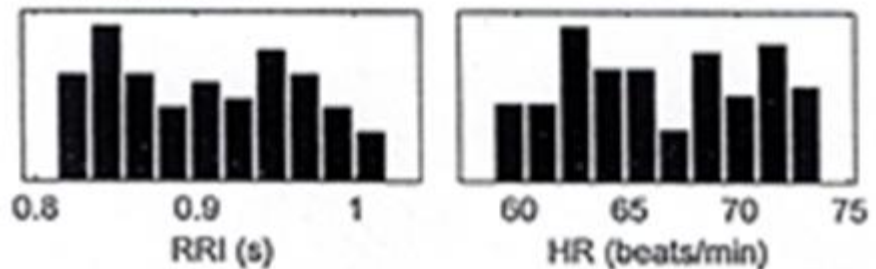
Time Domain Results

Variable	Units	Value
Statistical Measures		
Mean RR*	(s)	0.906
STD	(s)	0.057
Mean HR*	(1/min)	66.48
STD	(1/min)	4.18
RMSSD	(ms)	29.8
NN50	(count)	6
pNN50	(%)	5.0

Geometric Measures

RR triangular index		0.105
TINN	(ms)	255.0

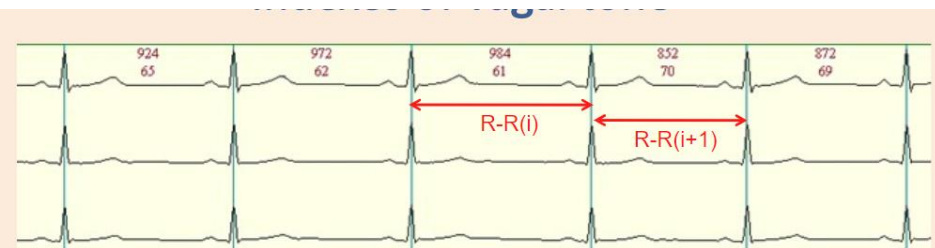
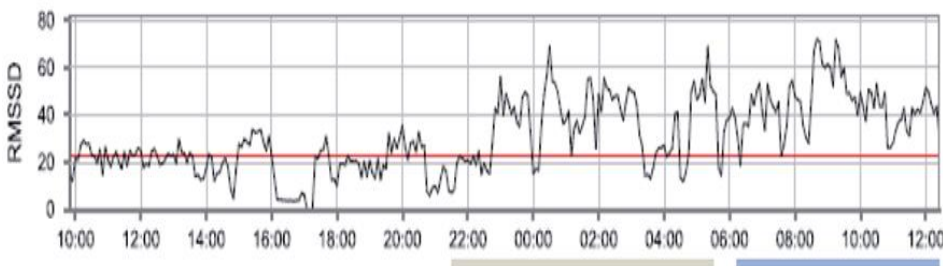
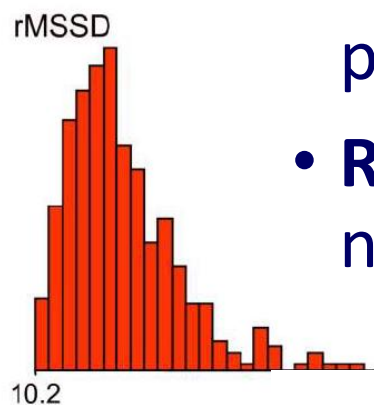
Distributions*



*Results are calculated from the non-detrended selected RRI signal.

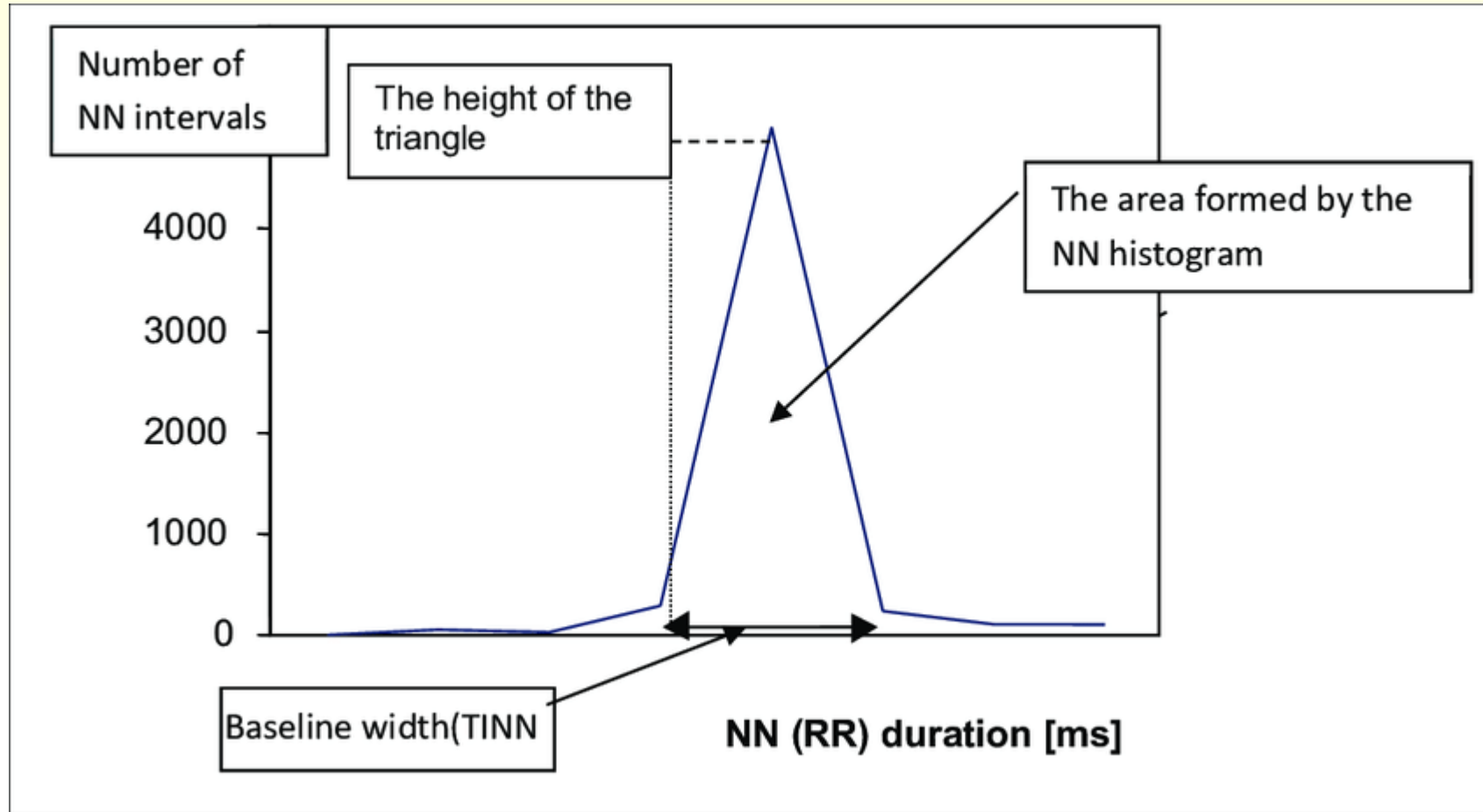
Parametry HRV v časové oblasti

- **NN50** počet rozdílů následných intervalů RR větších než 50 ms
- **pNN50** relativní počet rozdílů následných intervalů RR větších než 50 ms vztažený k celkovému počtu intervalů RR v posloupnosti
- **RMSSD** odmocnina ze střední hodnoty čtverců rozdílů následných intervalů RR



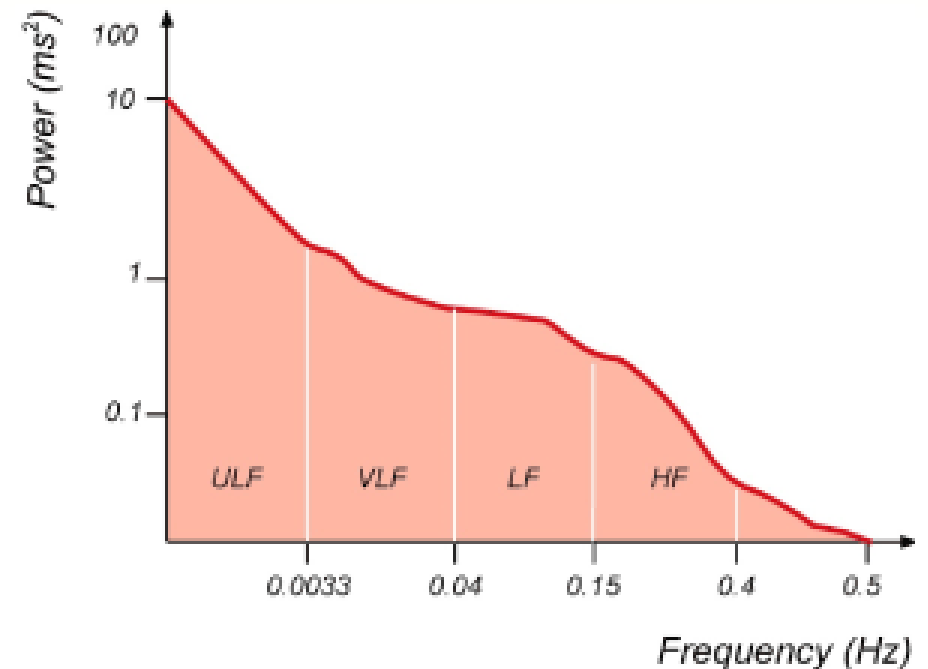
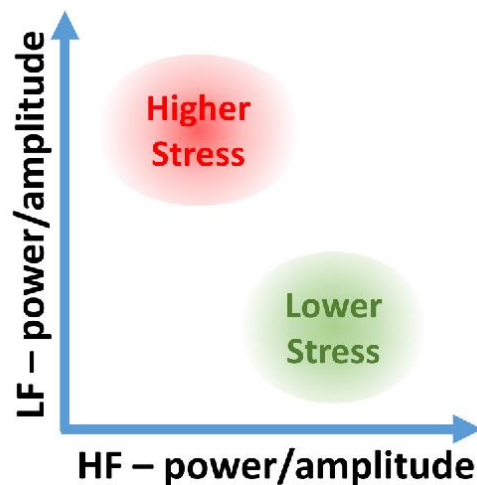
$$\text{RMSSD} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \left(\sum_{i=1}^{N-1} ((R-R)_{i+1} - (R-R)_i)^2 \right)}$$

Geometrické míry HRV

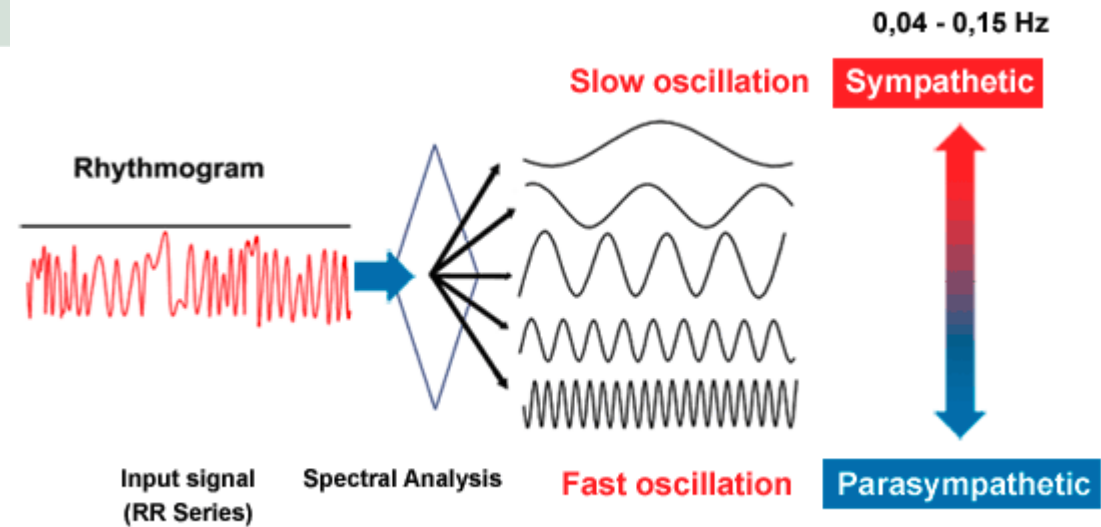
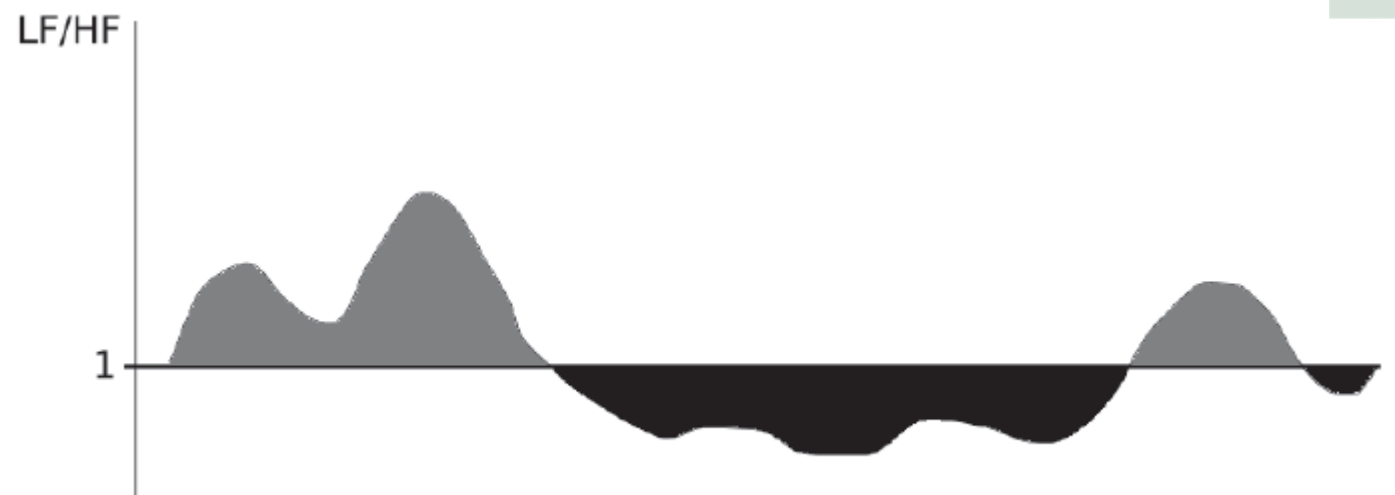
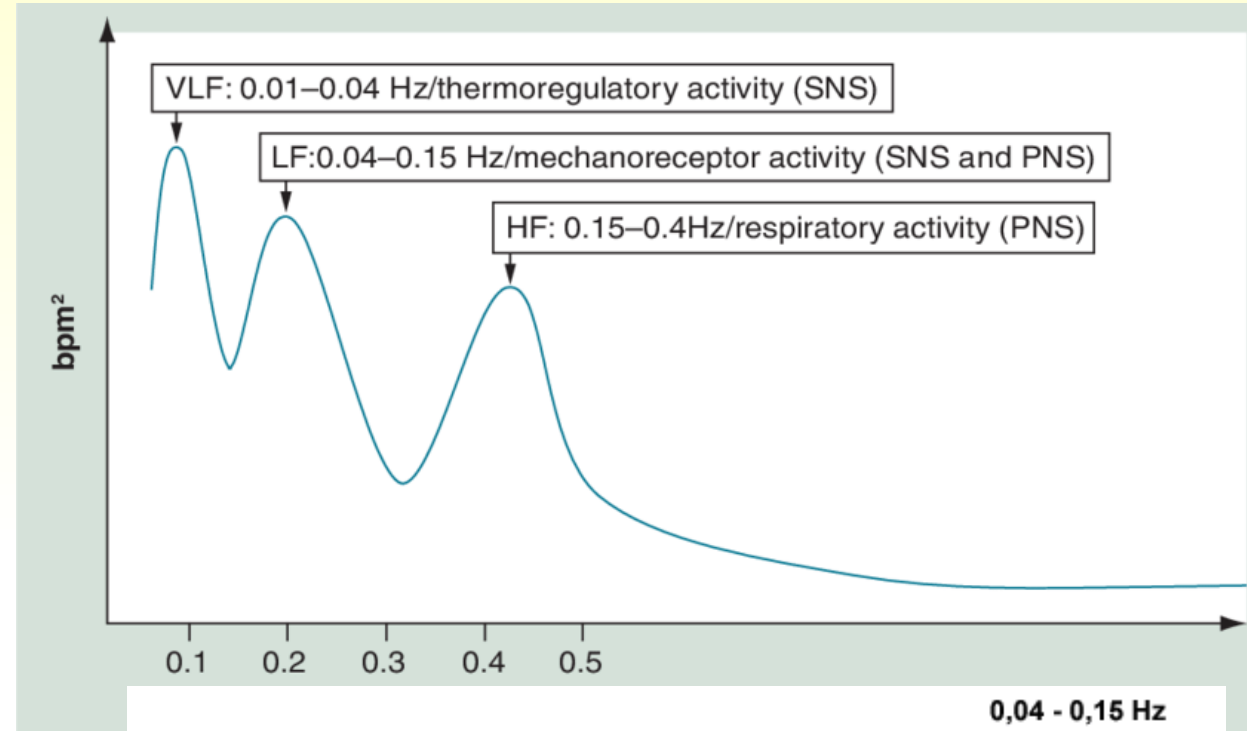
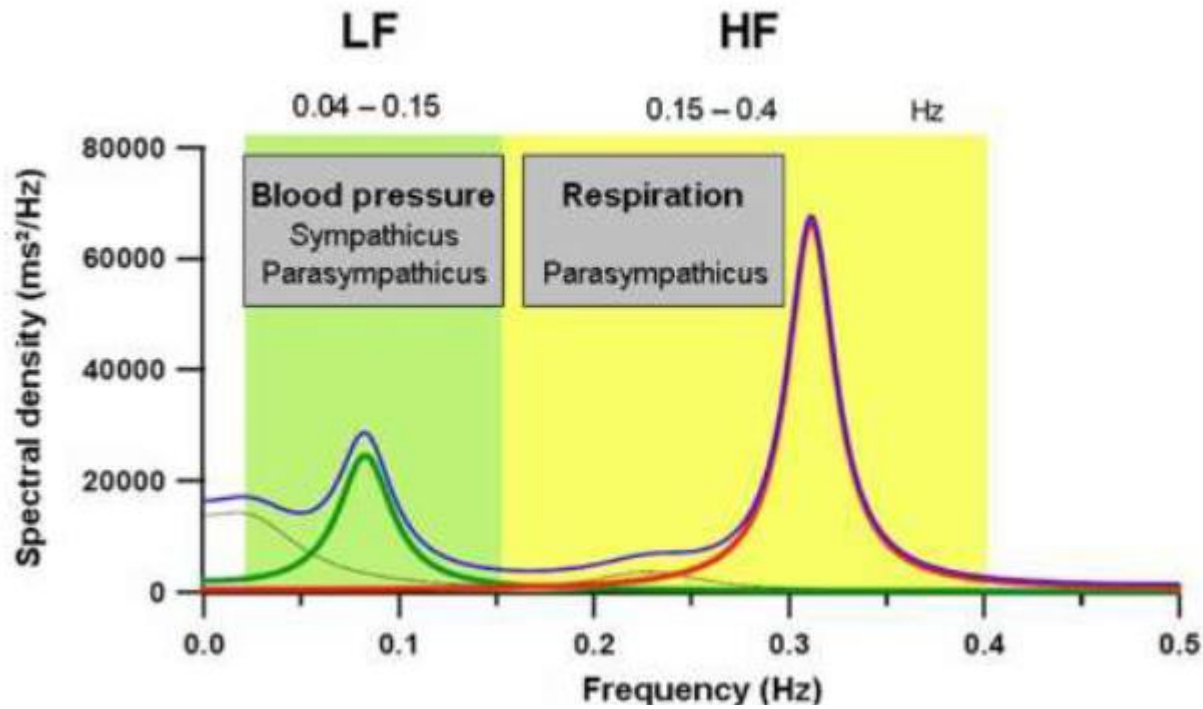


Parametry HRV ve spektrální oblasti

- **VLF** spektrální výkon v pásmu velmi nízkých frekvencí: **0.003–0.04 Hz**
- **LF** spektrální výkon v pásmu nízkých frekvencí: **0.04–0.15 Hz**
- **HF** spektrální výkon v pásmu vysokých frekvencí: **0.15–0.4 Hz**
- **LF/HF** poměr spektrálních výkonů

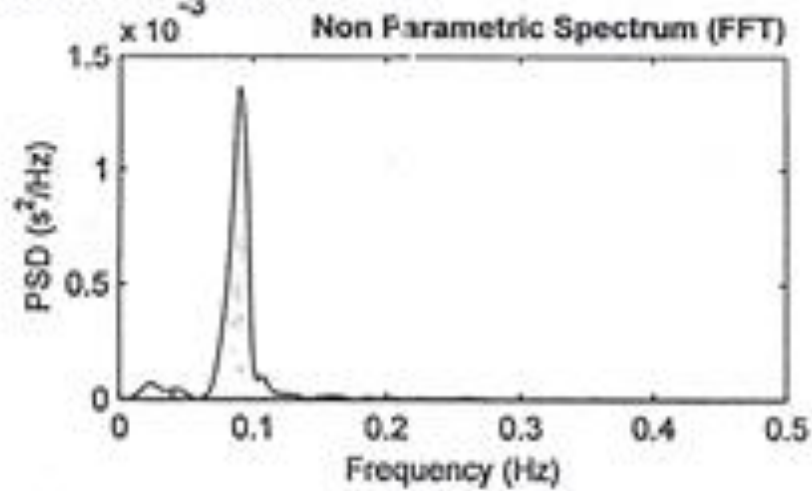


Parametry HRV ve spektrální oblasti

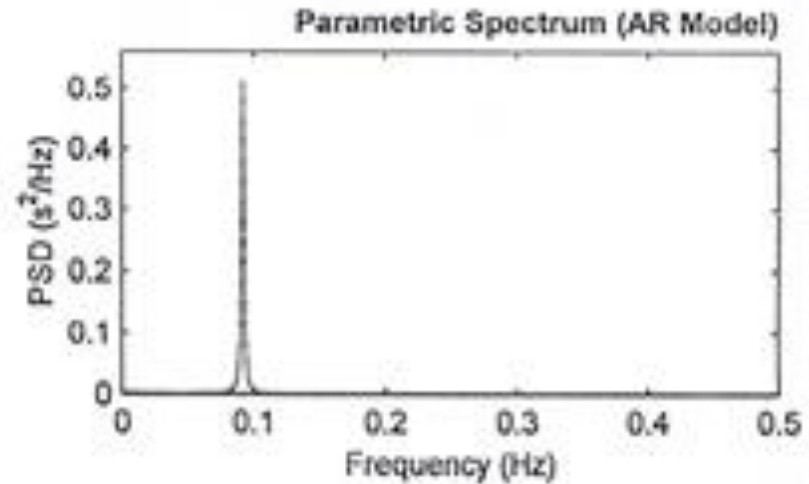


Parametry HRV ve spektrální oblasti

Frequency Domain Results



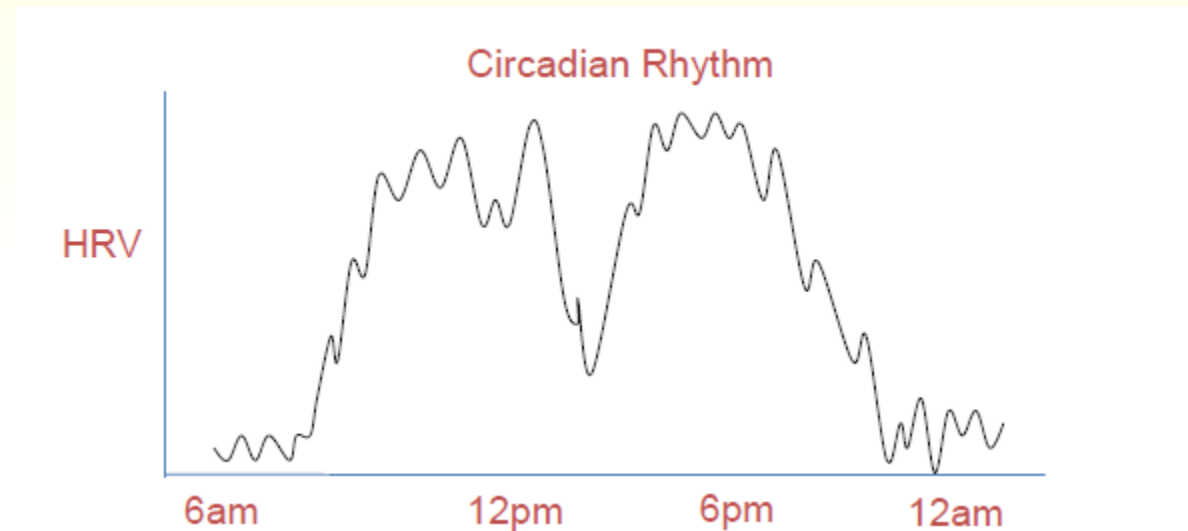
Frequency Band	Peak (Hz)	Power (ms^2)	Power (%)	Power (n.u.)
VLF	0.0234	1	5.3	
LF	0.0898	23	91.5	96.6
HF	0.1621	1	3.2	3.4
LF/HF			28.326	



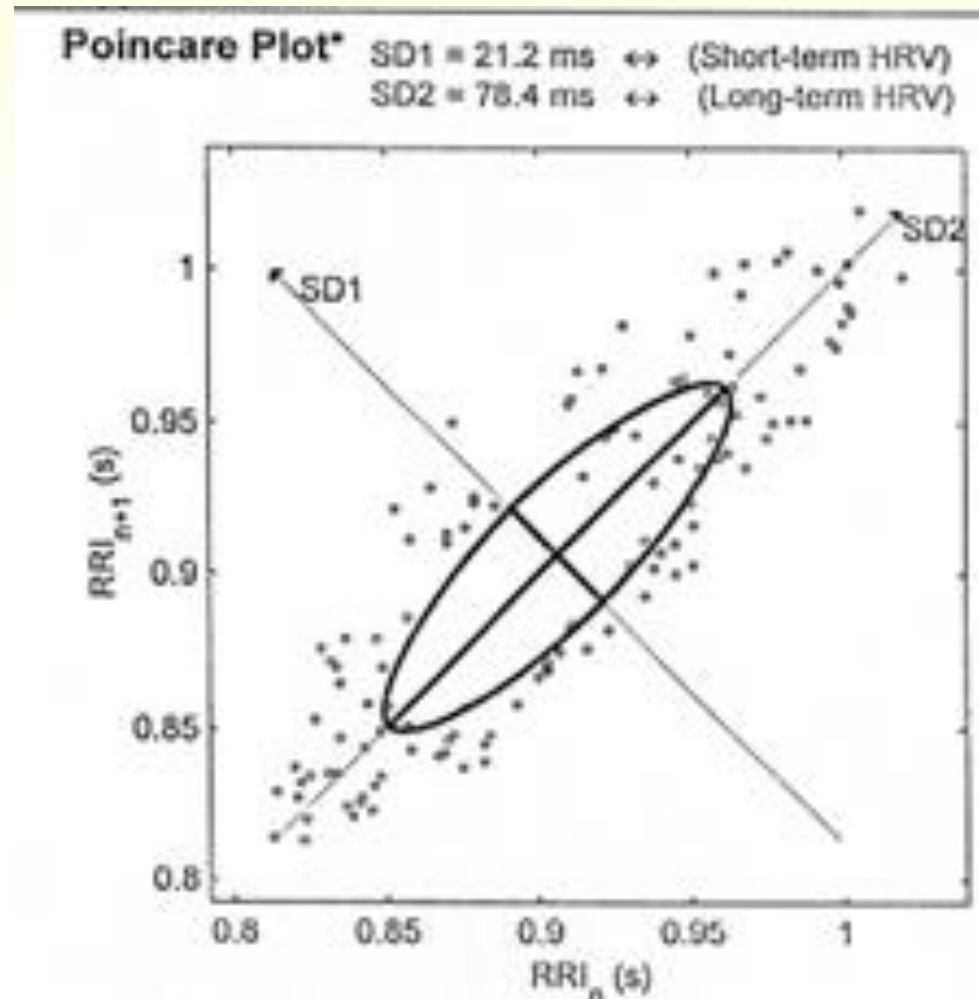
Frequency Band	Peak (Hz)	Power (ms^2)	Power (%)	Power (n.u.)
VLF	0.0000	59	3.8	
LF	0.0918	1480	95.4	99.0
HF	0.1953	13	0.8	0.9
LF/HF			116.261	

Závislost parametrů HRV

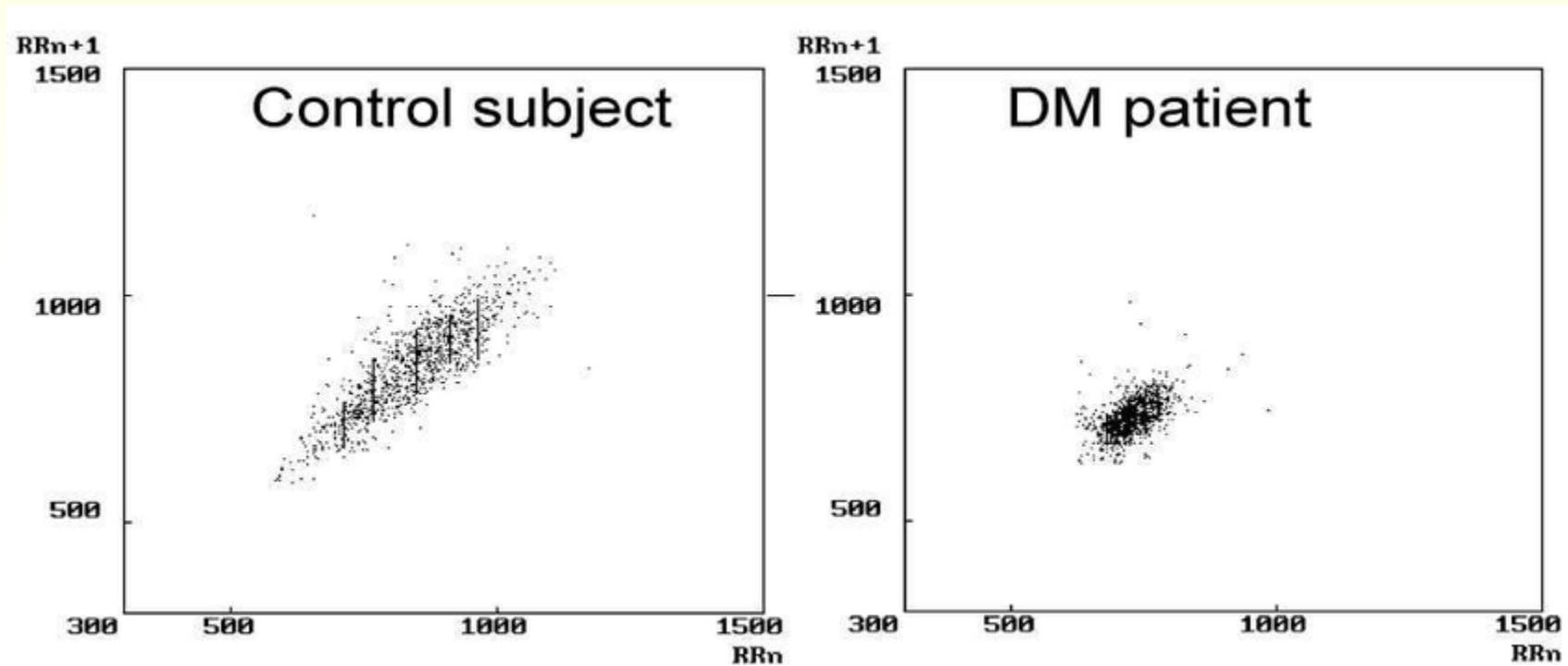
- věk
- pohlaví
- krátkodobé
- dlouhodobé



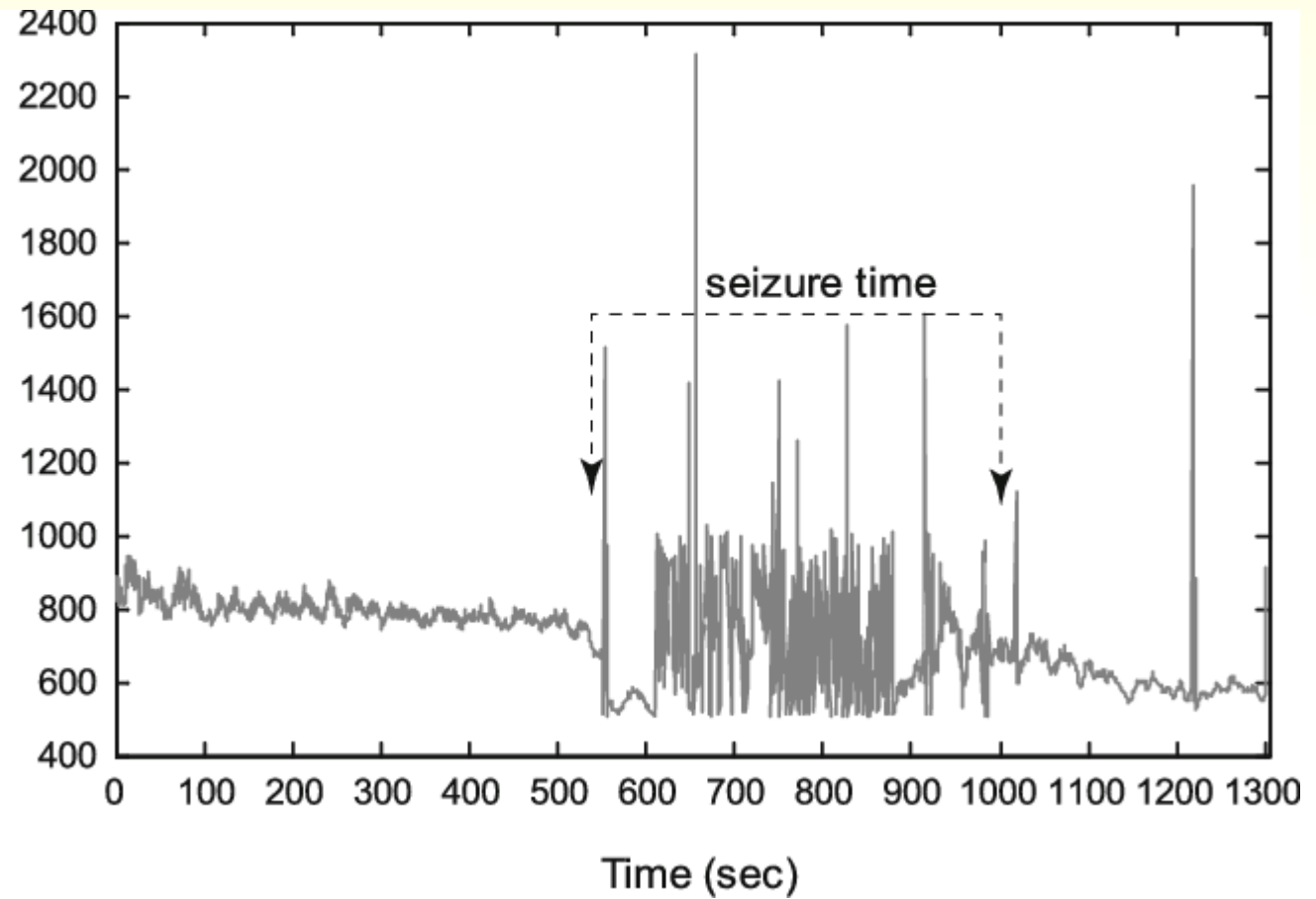
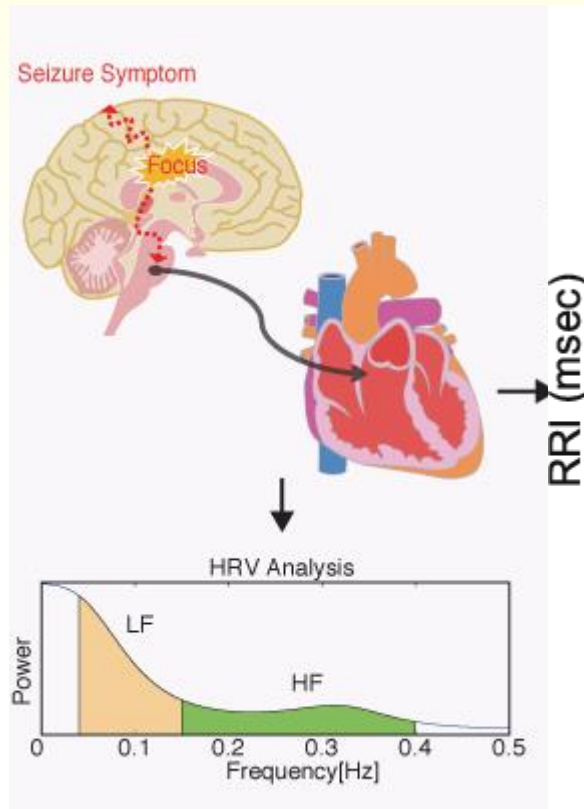
Poincare plot



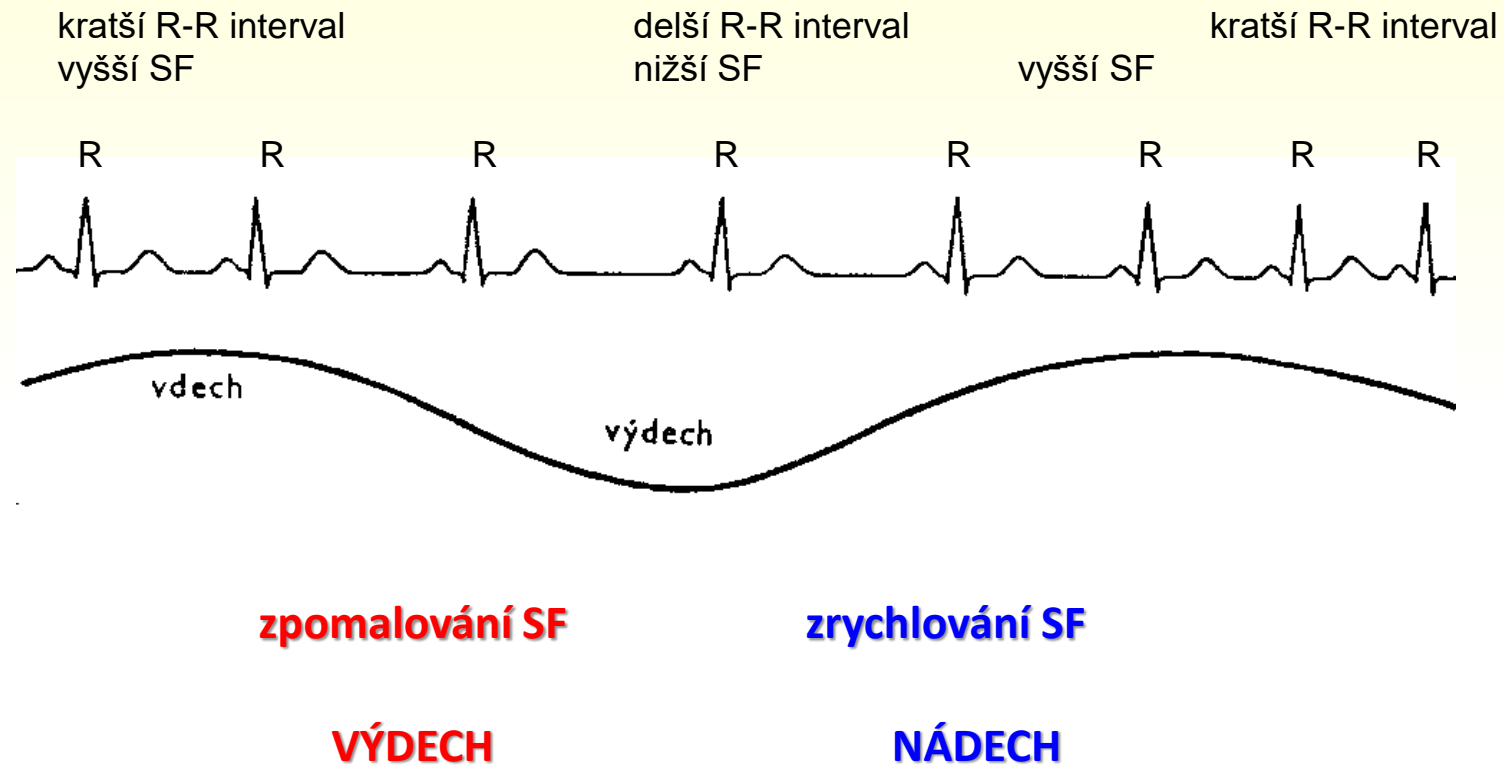
HRV a DM1



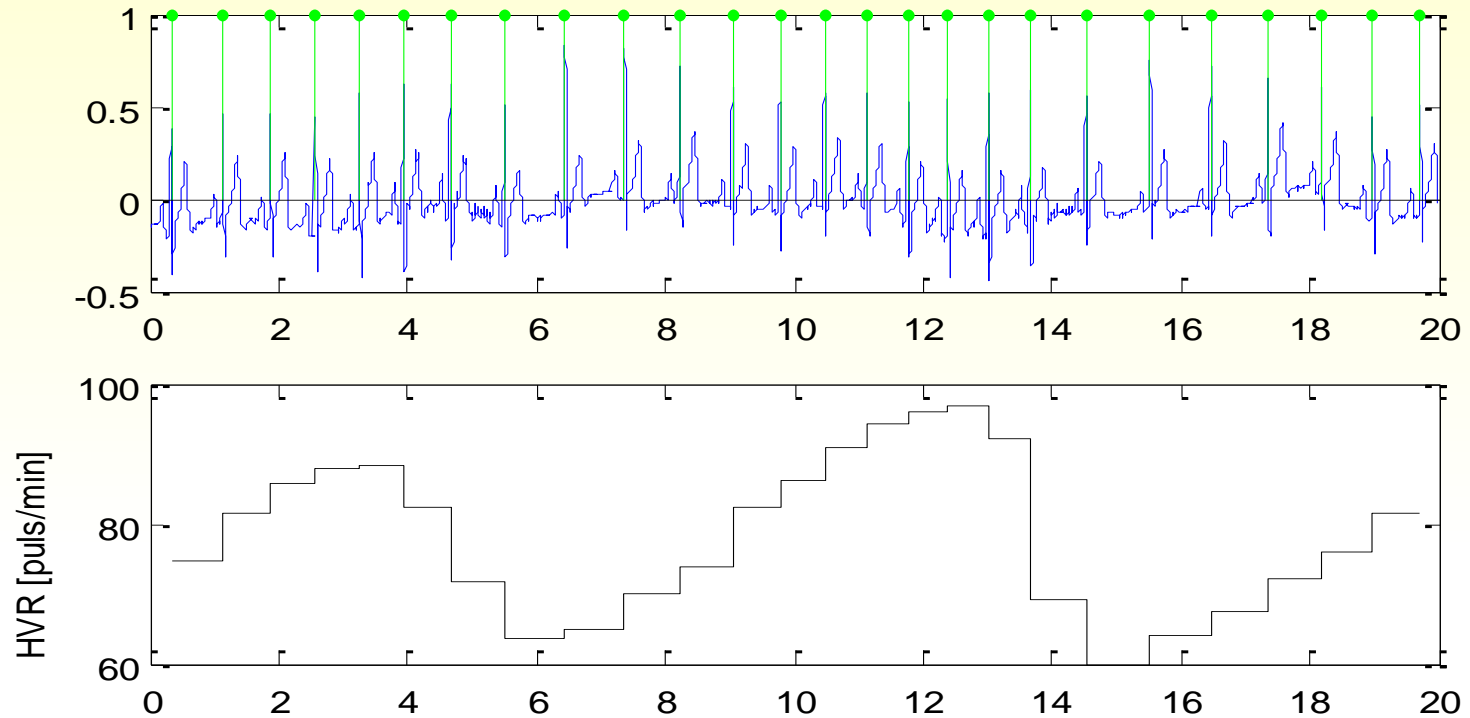
HRV a epilepsie



Variabilita srdeční frekvence

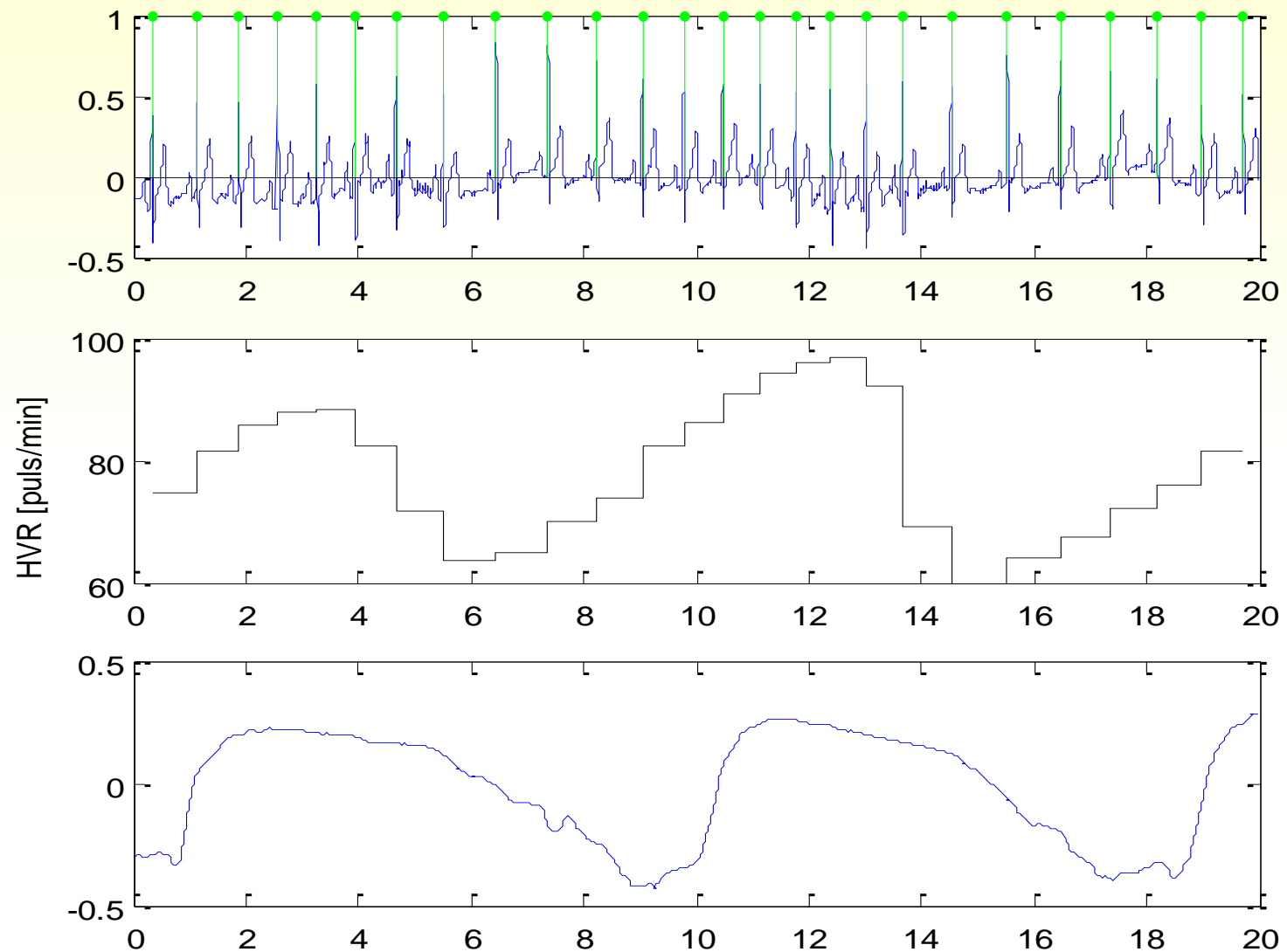


Variabilita srdečního rytmu



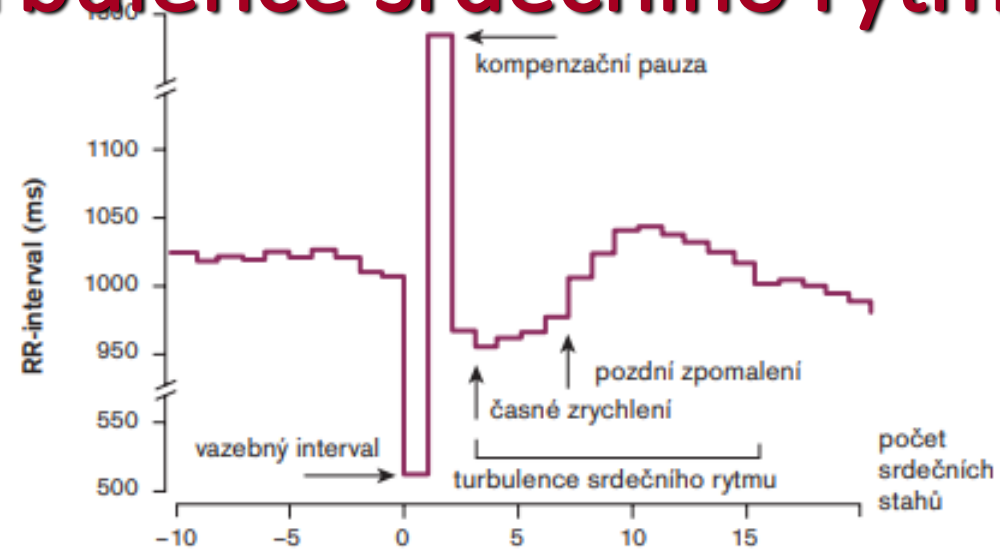
```
dr=diff(r);  
vzda1_vz = [dr;dr(end)];  
stairs(r/fs,60./(vzda1_vz/fs))
```

Variabilita srdečního rytmu

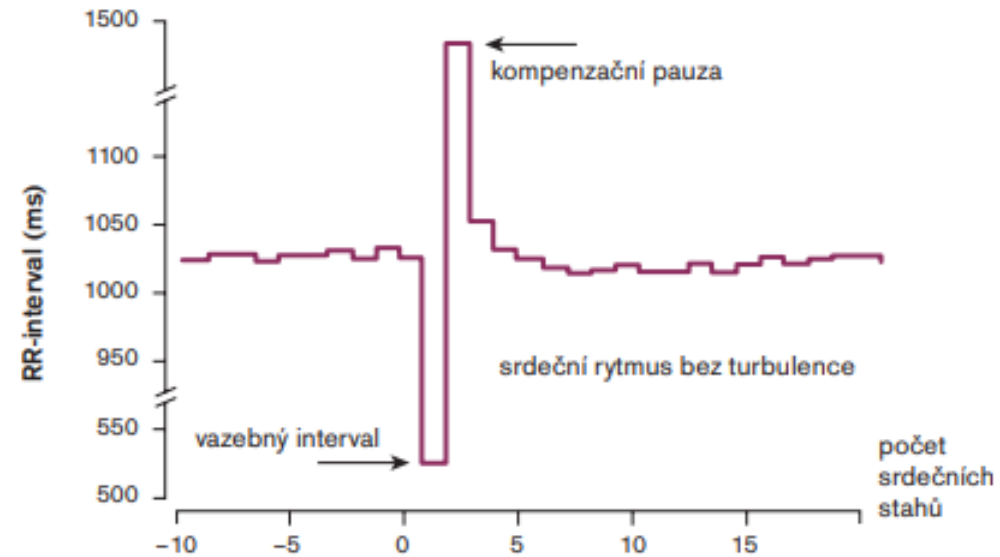


Speciální metody EKG

Turbulence srdečního rytmu

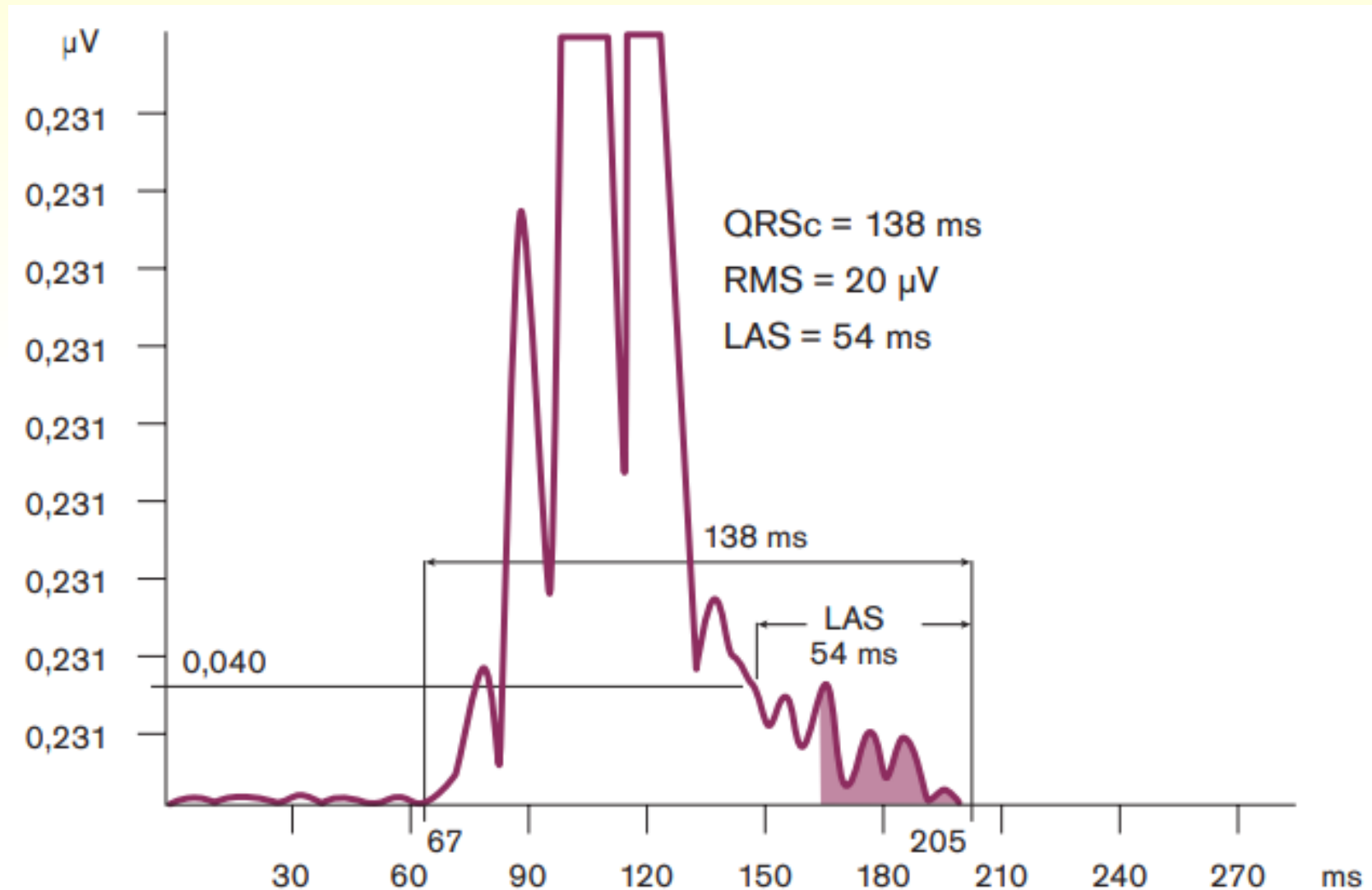


B



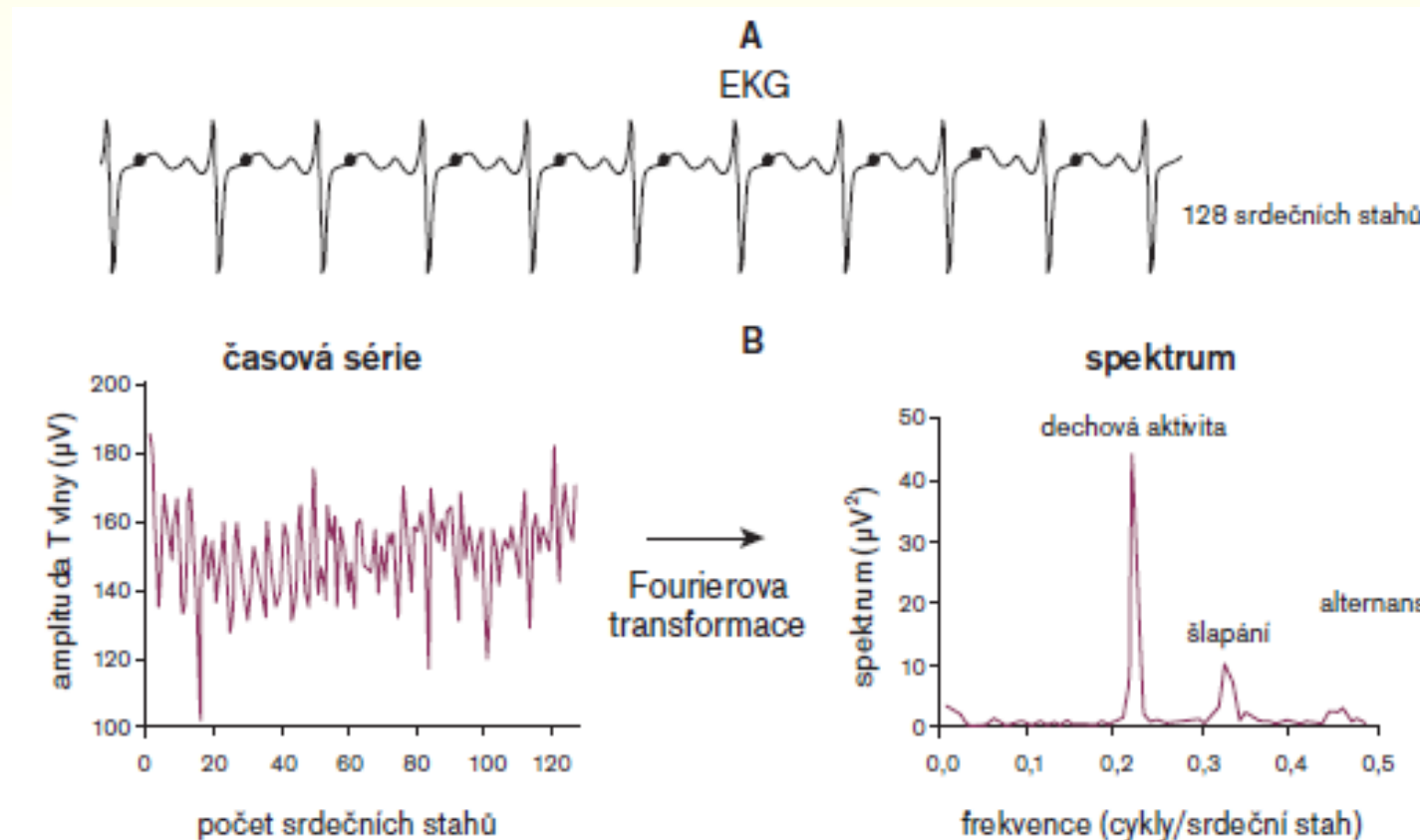
Speciální metody EKG

Pozdní potenciály



Speciální metody EKG

Alternace T vlny



Speciální metody EKG

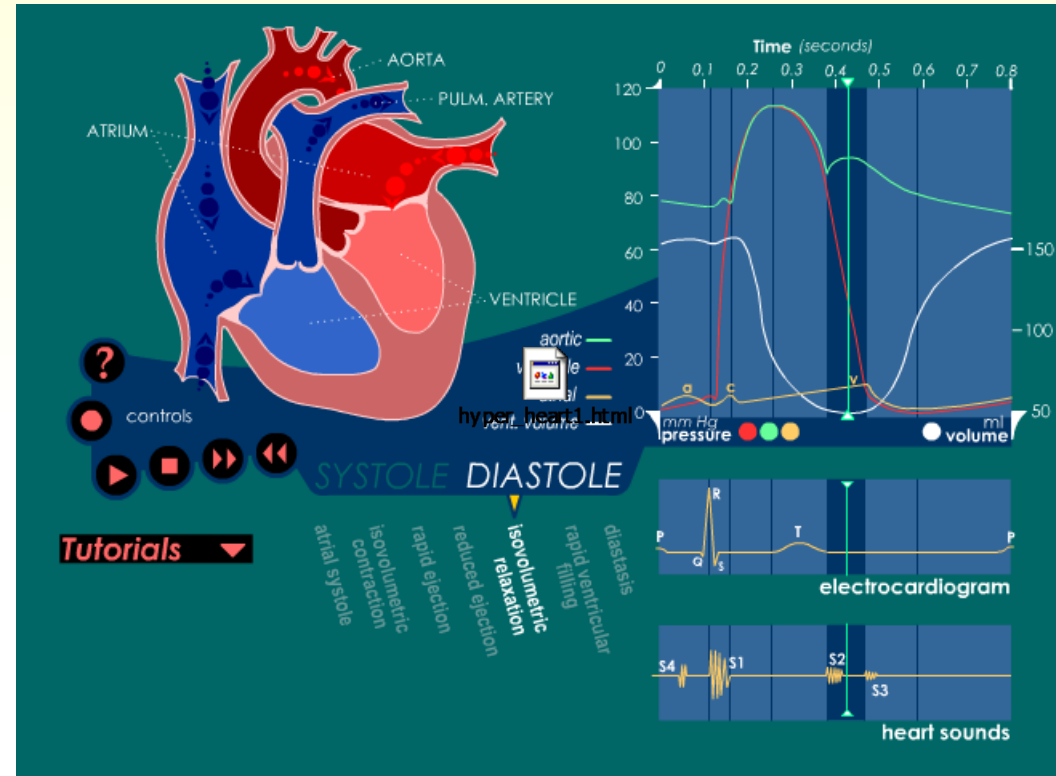
Hodnocení komorové depolarizace

- délka intervalu QT
- variabilita intervalu QT
- disperze intervalu QT

Fonokardiogram

- **Fonokardiogram**
 - srdeční chlopně
 - srdeční ozvy
 - fonokardiogram - kazuistiky

Ozvy – animace



https://library.med.utah.edu/kw/pharm/hyper_heart1.html

Fonendoskop

France 1846

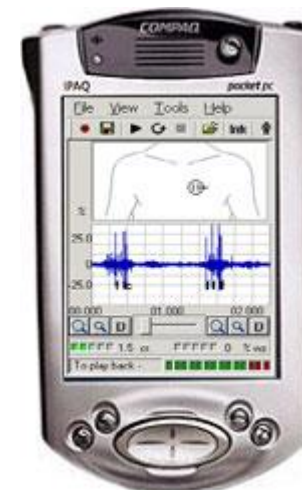
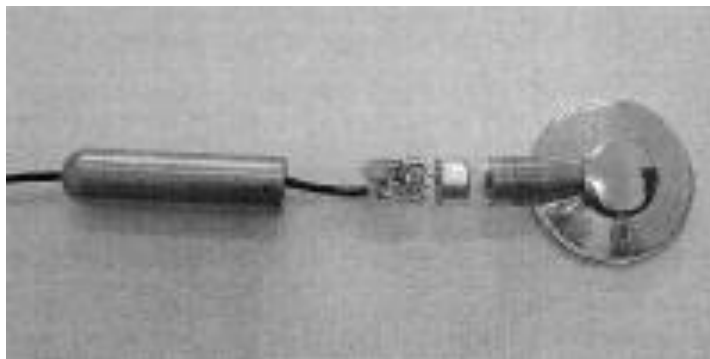


Moderní fonokardiogramy

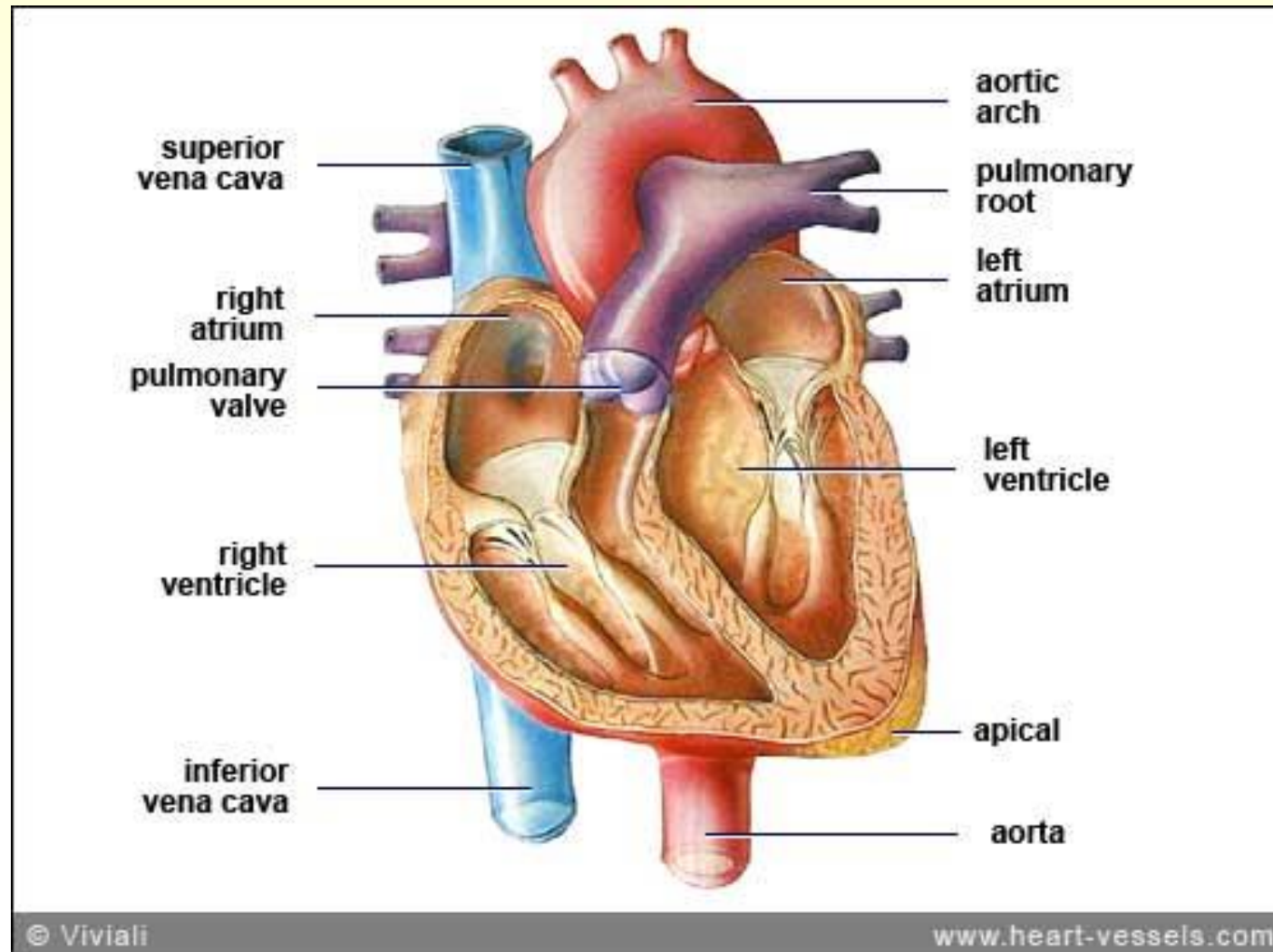


Fonokardiogram

- **Fonokardiogram** je záznam srdečních zvuků a šelestů, které vznikají při činnosti srdce.
- Dochází k otevírání a zavírání chlopní a ke změnám rychlosti proudění krve.
- Spektrum zvuků a šelestů má diagnostický význam a lze podle něho činnost srdce posuzovat.

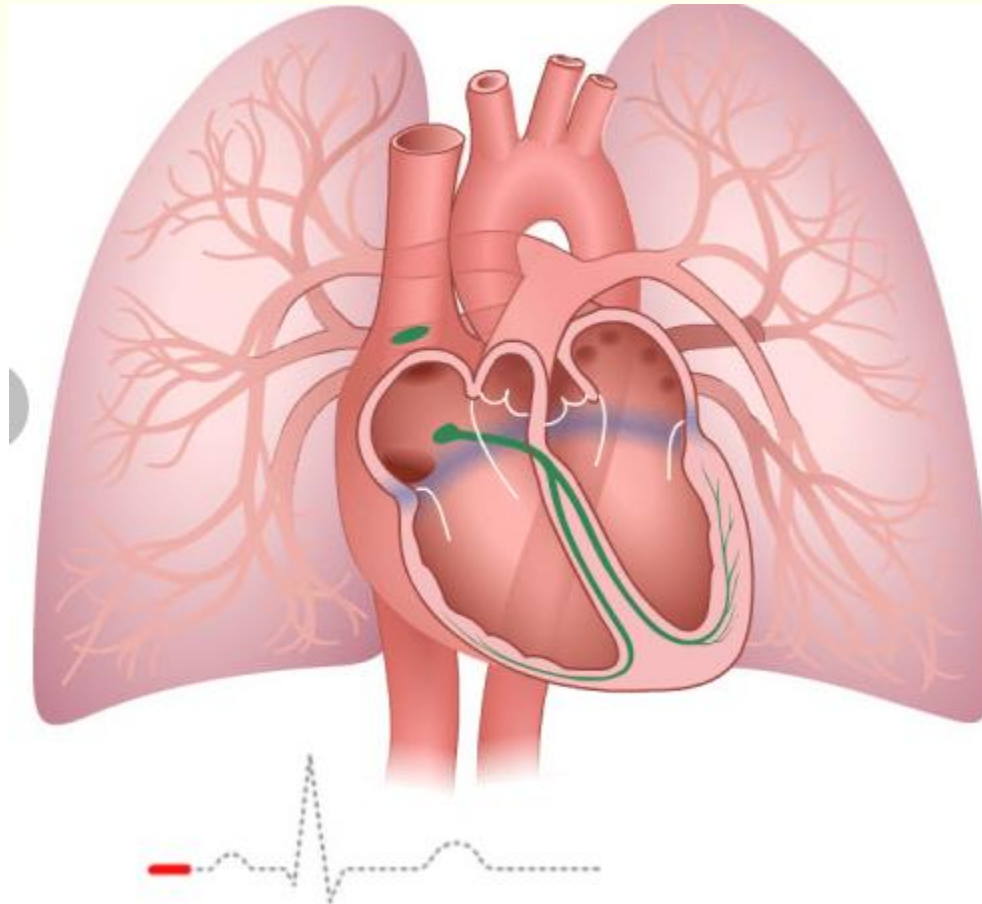


Fonokardiogram



Ozvy – animace

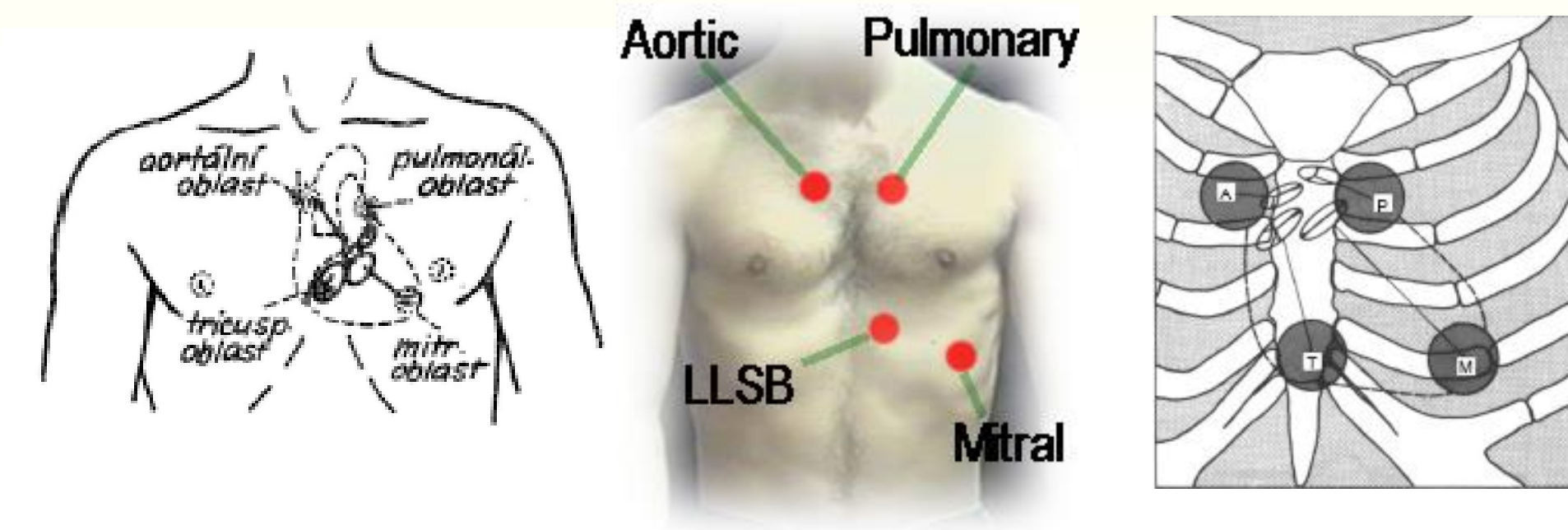
http://pie.med.utoronto.ca/heart_physiology/module/ecg.html



Fonokardiogram

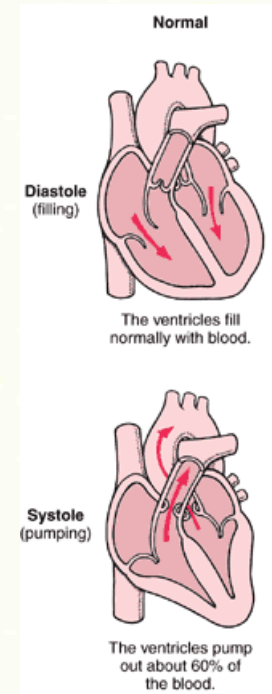
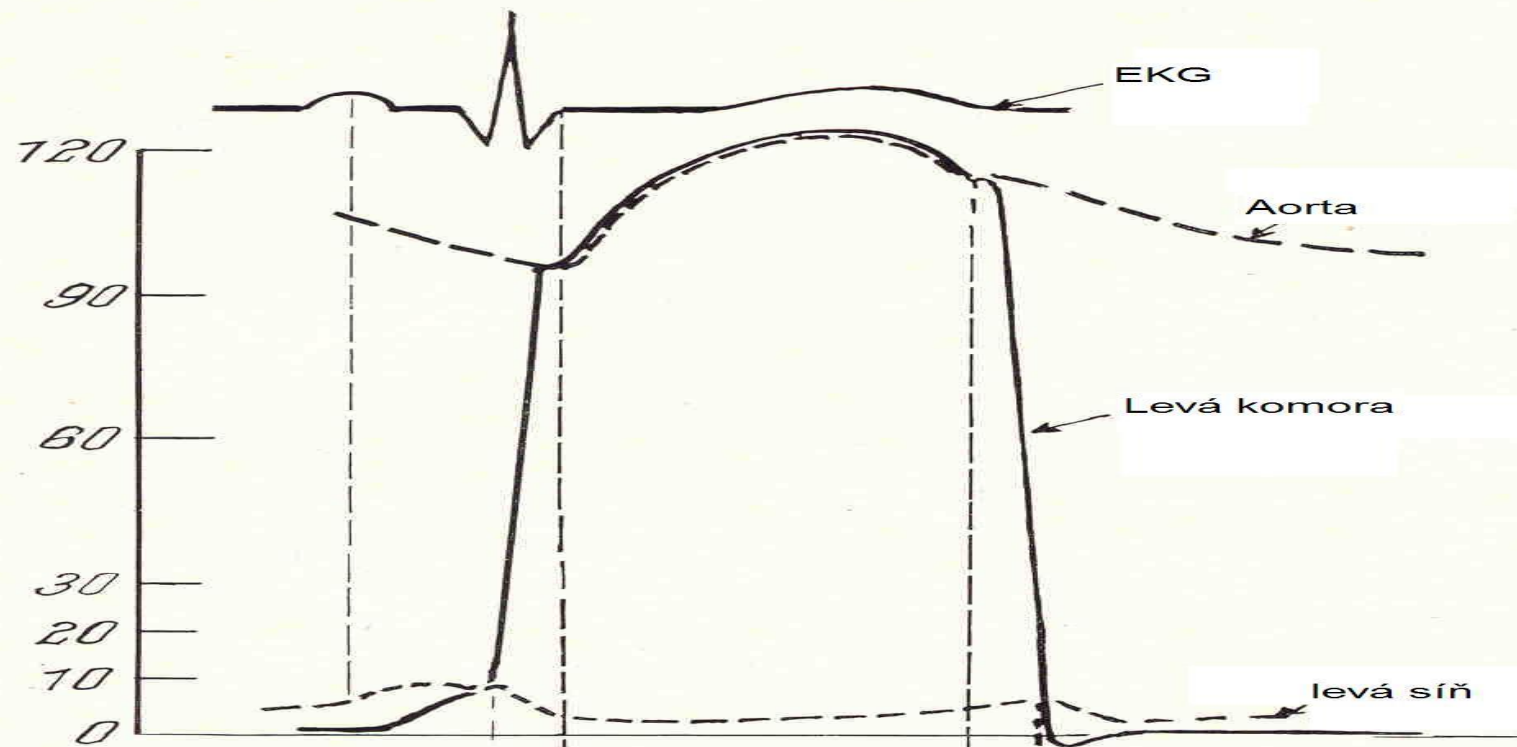
snímací místa

poslechová místa srdečních ozev



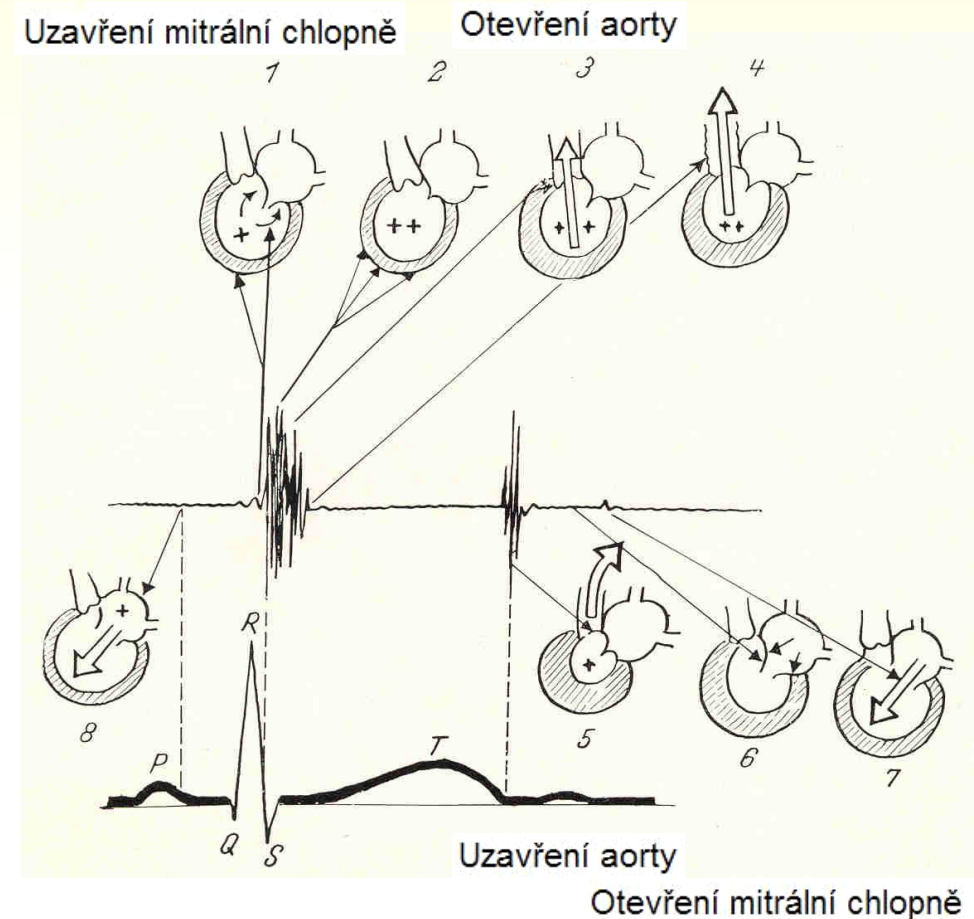
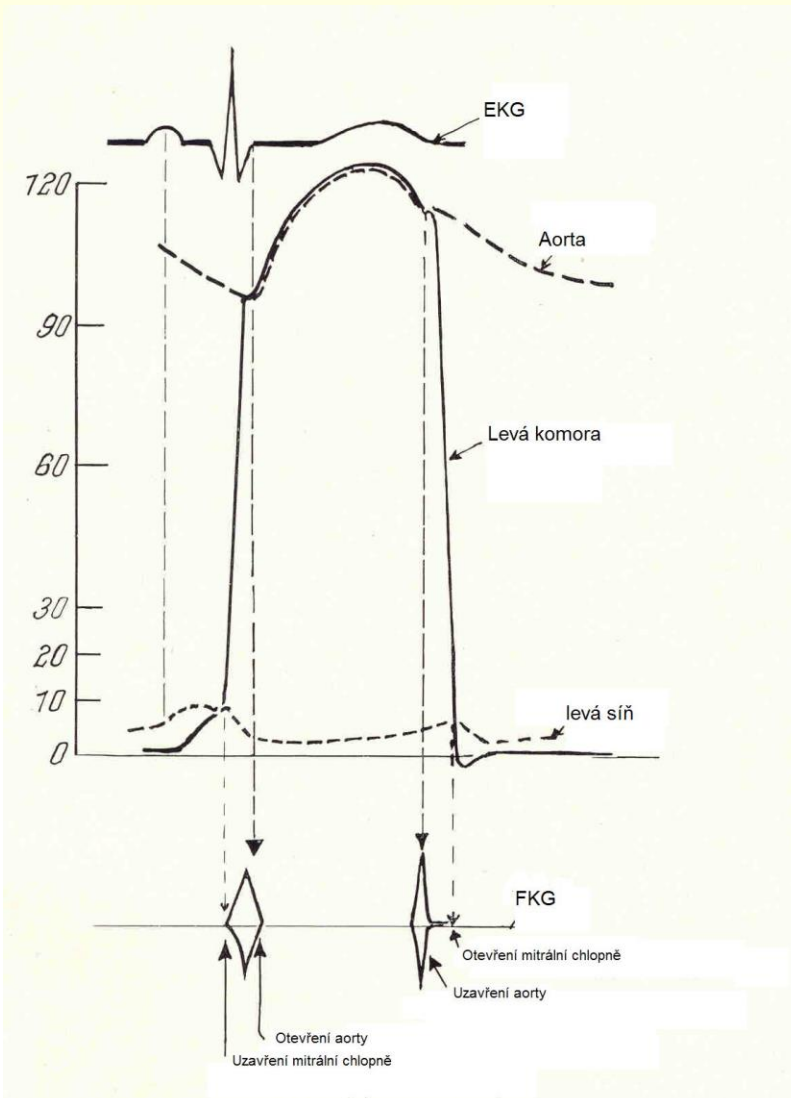
srdeční ozvy – ohraničené krátce trvající zvuky vyvolané standardní činností myokardu

Vzájemný vztah EKG signálu, tlaku v aortě a srdečních ozev



diastola	systola	diastola	
otevřené	zavřené	otevřené	cípaté chlopně
zavřené	otevřené	zavřené	poloměsíčné chlopně

Vzájemný vztah EKG signálu, tlaku v aortě a srdečních ozev



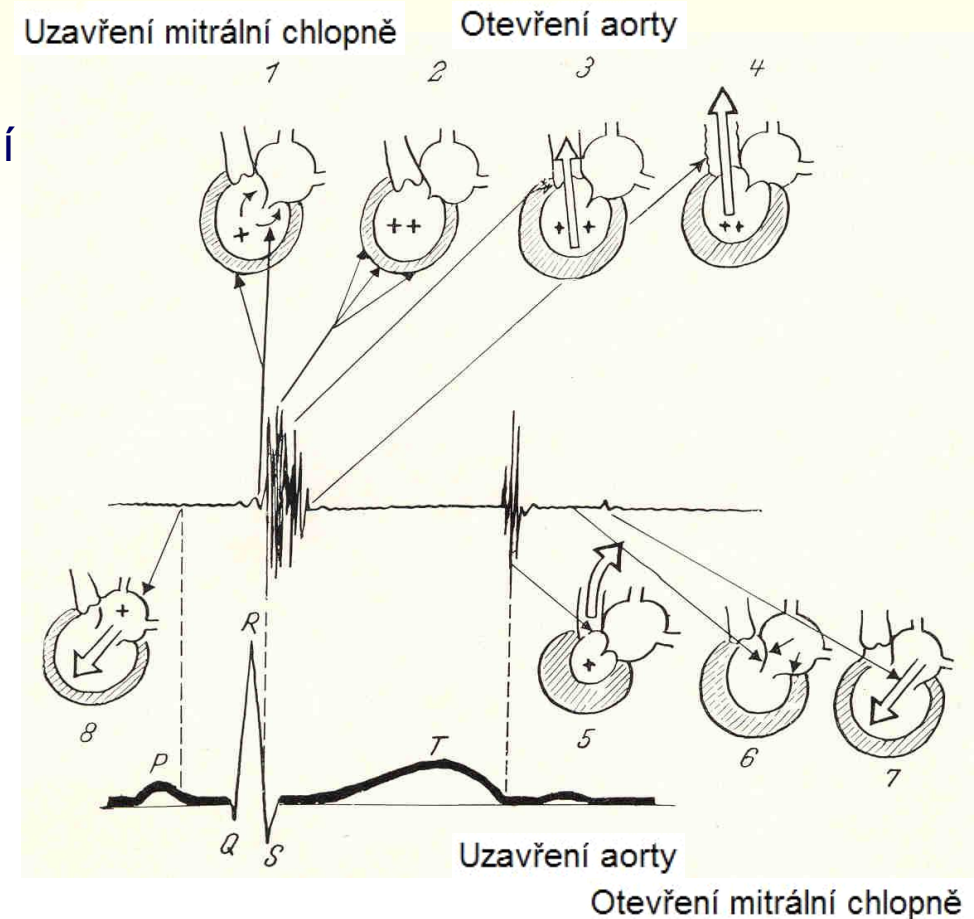
Fonokardiogram - I. ozva

I. ozva (systolická)

- způsobena systolou komor, při níž dochází k náhlému uzavření a.v. chlopní
- prudké zaklapnutí chlopní je provázeno zvukem
- počátek koinciduje s vrcholem R-vlny
- trvání 20 – 170 ms
- pásmo 15 až 800 Hz (150 Hz)

složky I. ozvy:

1. kmity a.v. chlopní při jejich uzavření na začátku systoly (25 – 45 Hz)
2. kmity stěn srdečních komor
3. otevření aortálních a pulmonálních chlopní
4. víření krve na začátku velkých tepen



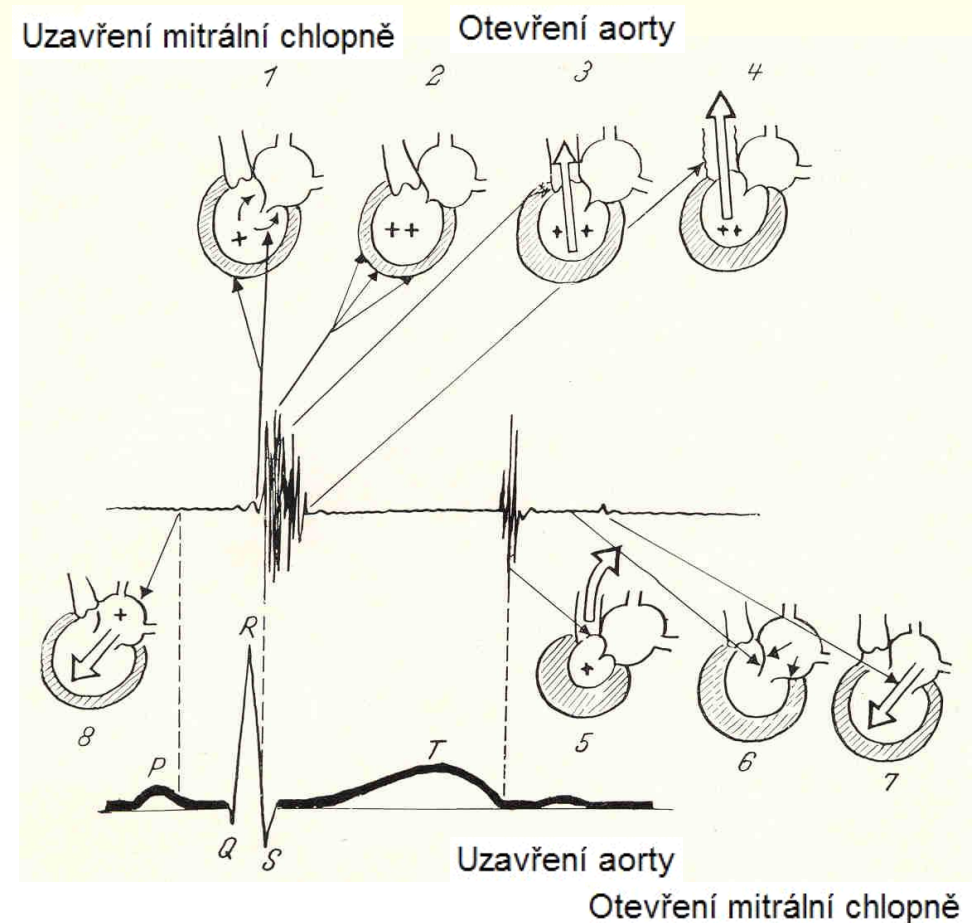
Fonokardiogram - II. ozva

II. ozva (diastolická)

- způsobena uzavřením poloměsíčitých chlopní na začátku diastoly
- intenzita kolísá s vyšší krevního tlaku chlopní je provázeno zvukem
- zpravidla ke konci T-vlny
- trvání 50 – 140 ms
- pásmo 10 až 800 Hz (150 Hz)
- **vyšší, náhlá, jasná**

složky II. ozvy:

Aortální a pulmonální



Fonokardiogram – III. a IV. ozva

III. a IV. ozva

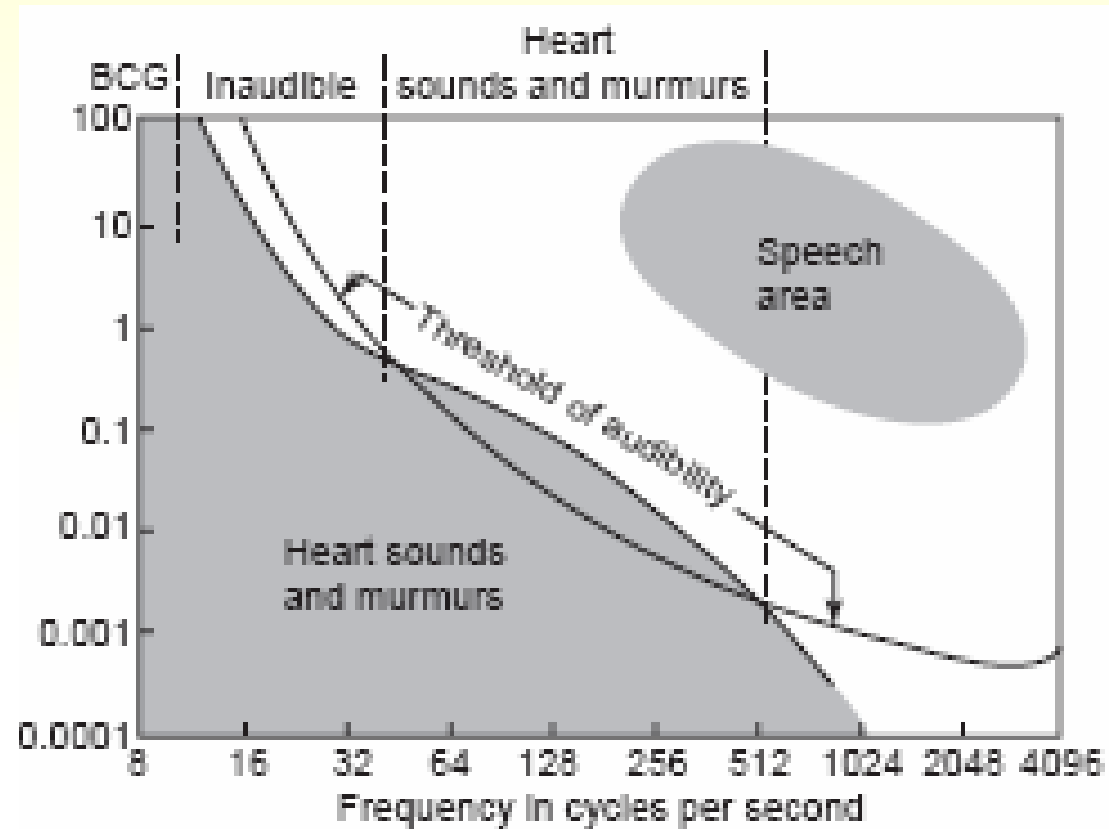
- obtížně slyšitelné,
registrovatelné pouze na fonokardiogramu
- významně nižší úroveň signálu
- pásmo 10 až 40 (70) Hz
- **III. ozva** během vlny U
(konec rychlého plnění komory)
- **IV. ozva** těsně před komplexem QRS
(splývá s I. ozvou)

Fonokardiogram - šelesty

Srdeční šelesty

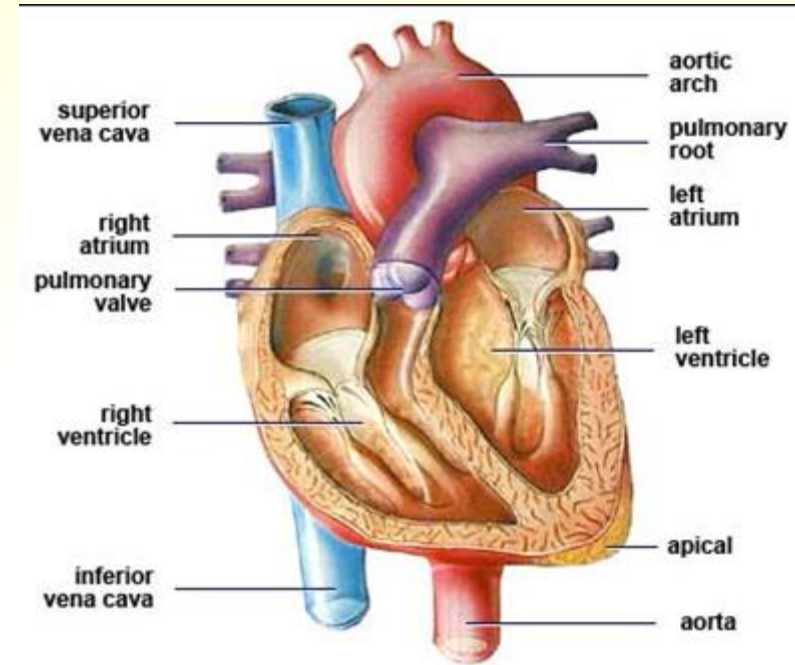
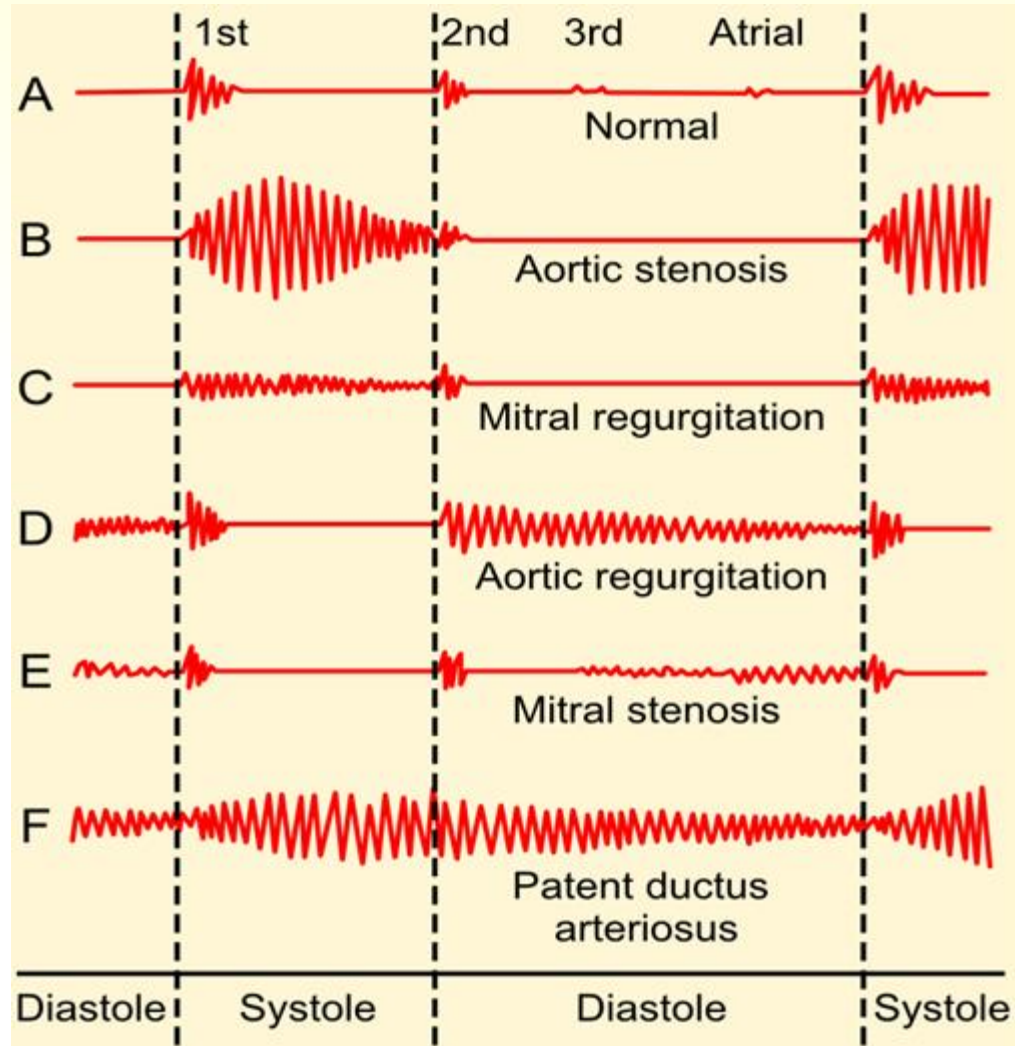
- vznikají jako důsledek víření krve; trvají déle než normální ozvy
- **patologické** (chlopňové vady)
charakter je typický pro různé druhy srdečních vad
- **fyziologické**
 - nitrosrdeční a nitrocévní
(zrychlení krevního toku u mladých osob)
 - mimosrdeční (srdečně plicní, osrdečnickové)
vznikají v plicích, ale budí dojem srdečních šelestů

Fonokardiogram

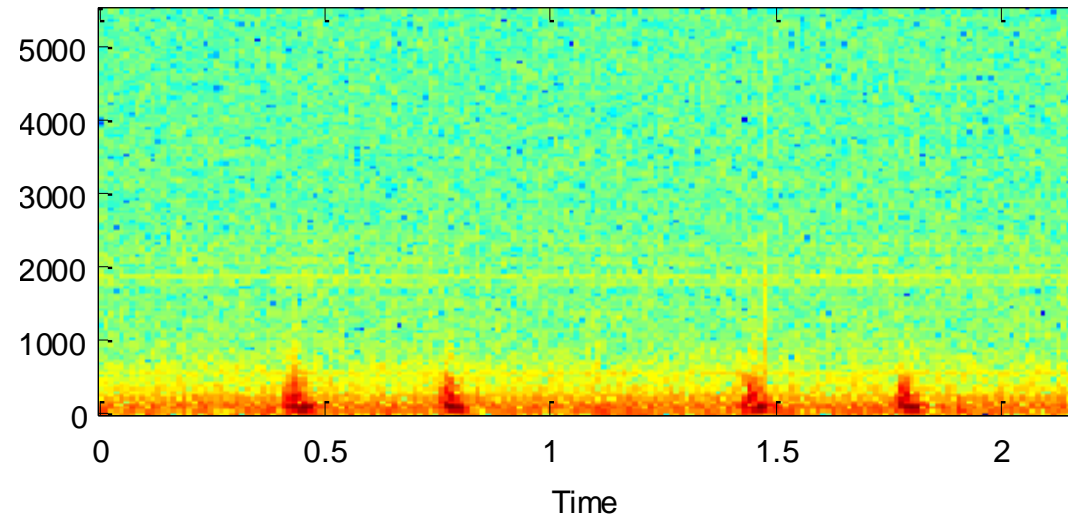
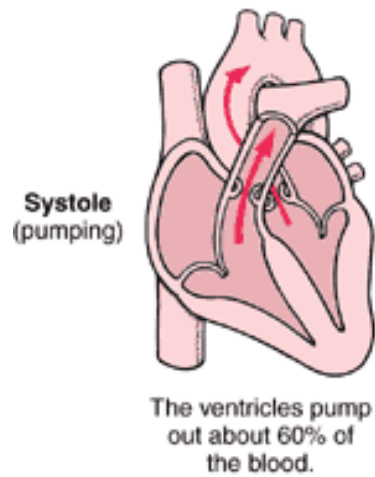
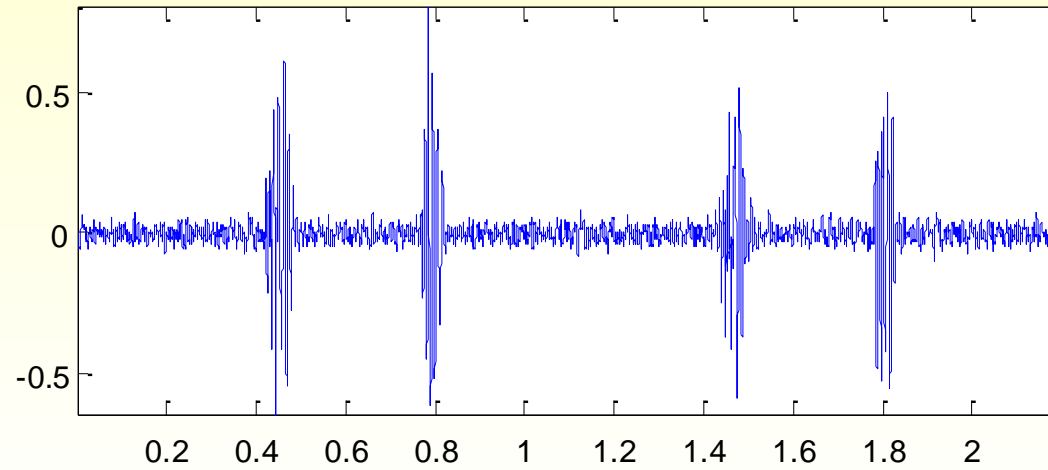
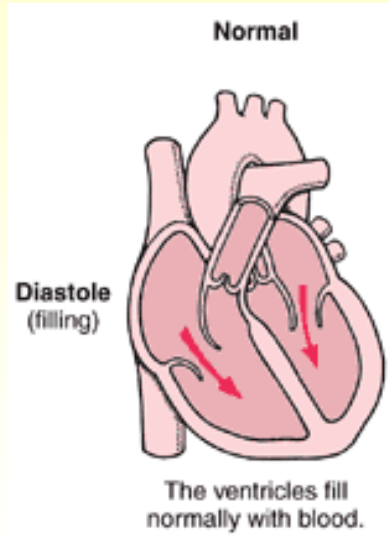


- Intenzita srdečních ozev a šelestů ve vztahu k prahu slyšitelnosti a k řeči

Fonokardiogram

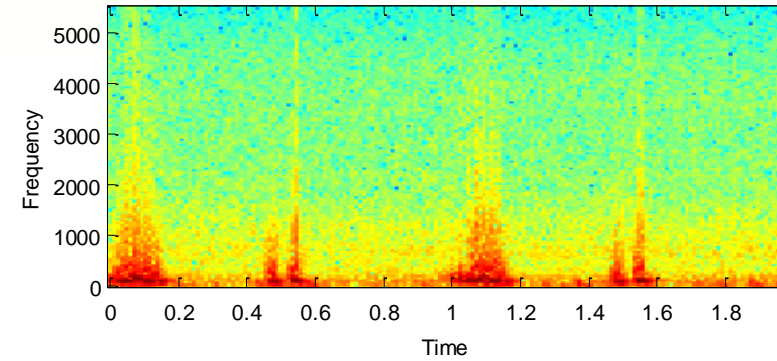
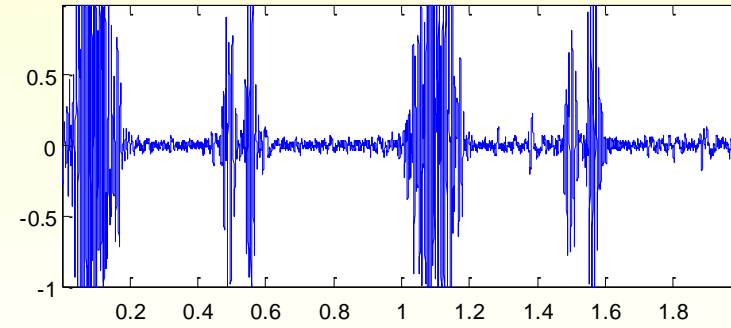
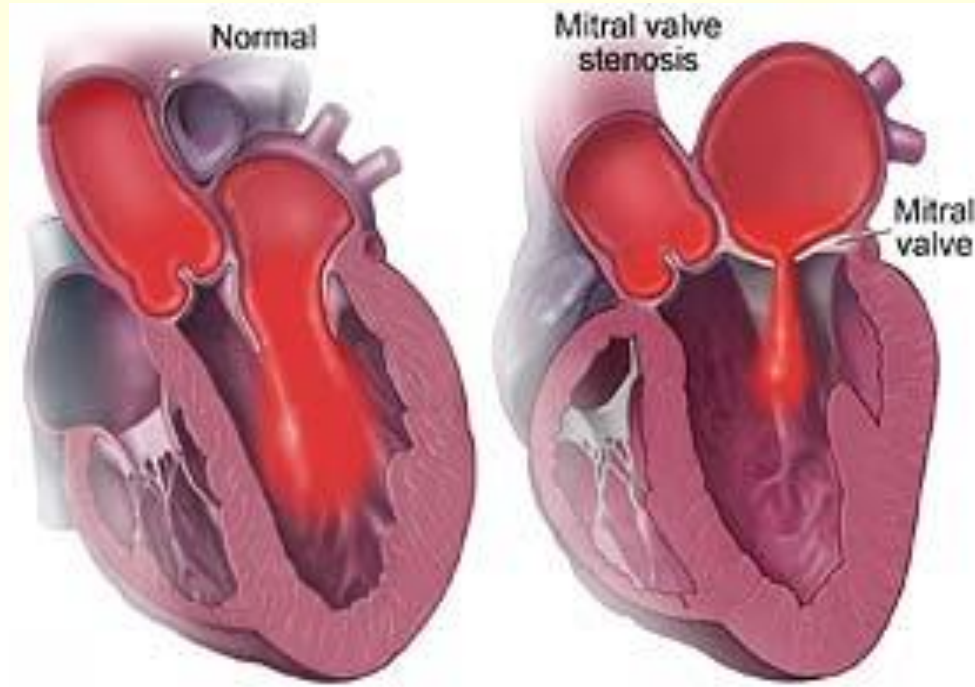


Normální



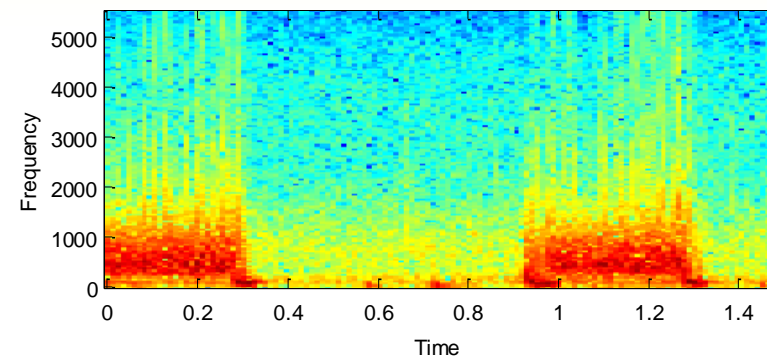
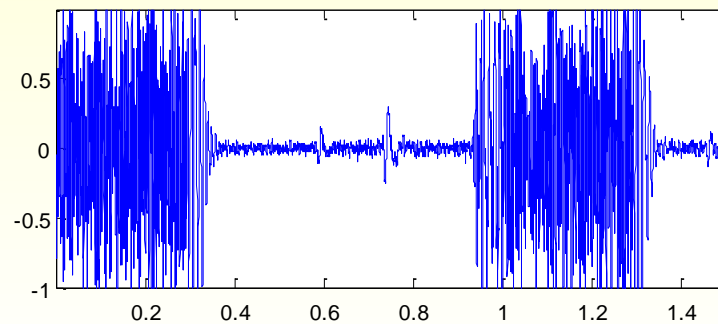
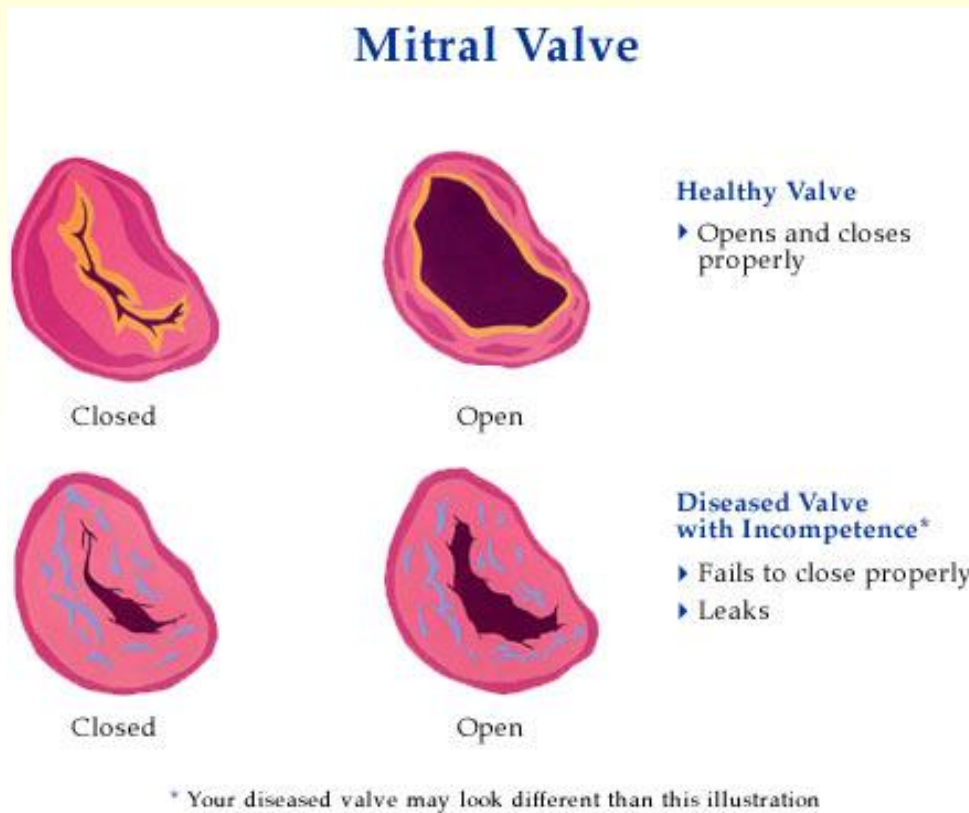
Normální srdeční ozvy

Mitrální stenóza



Zesílená první ozva zní klapavě

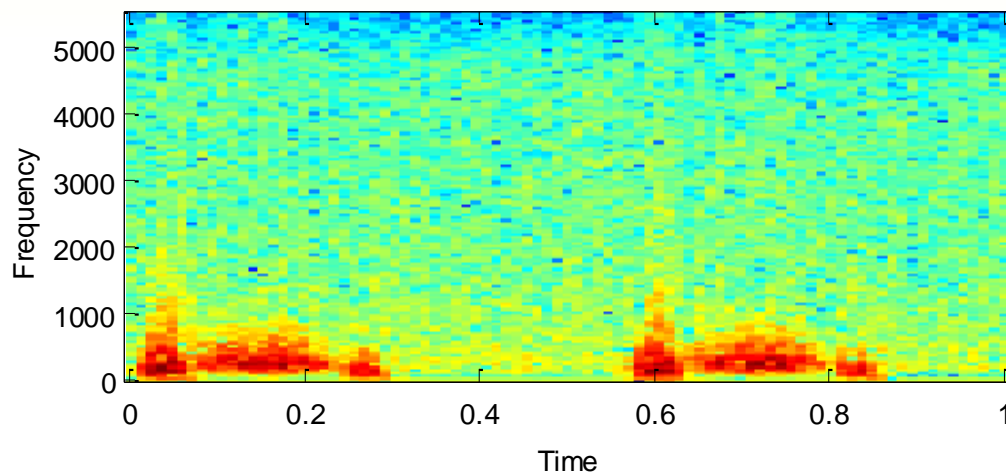
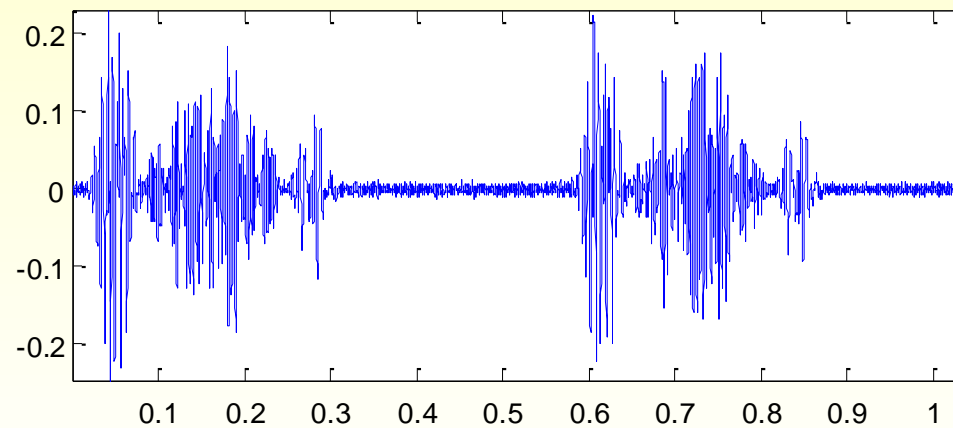
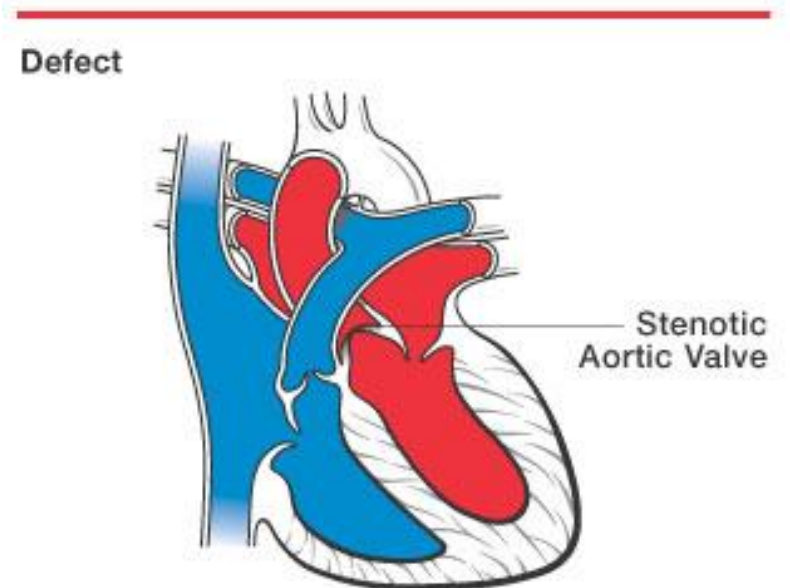
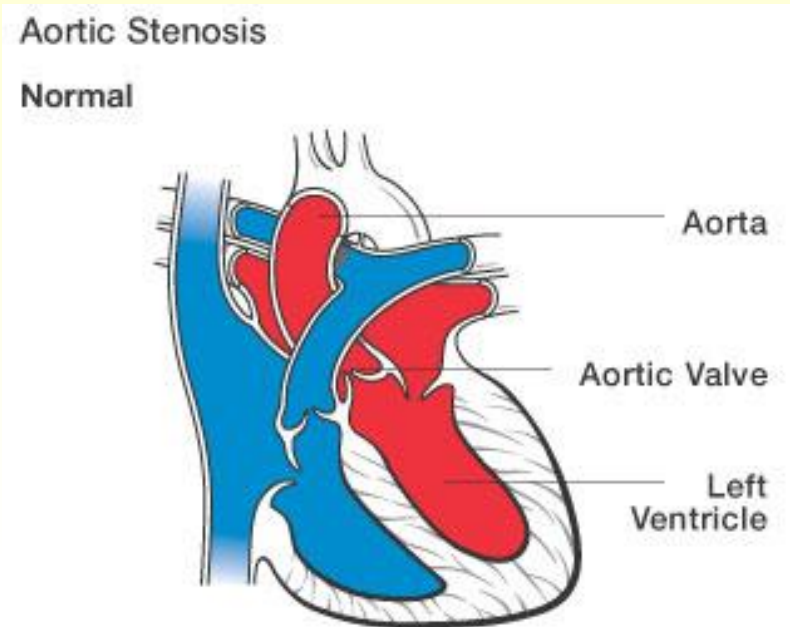
Mitrální regurgitace



Systolický šelest

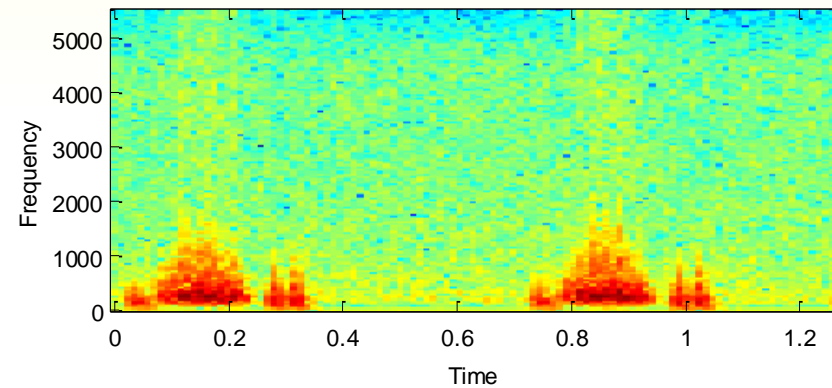
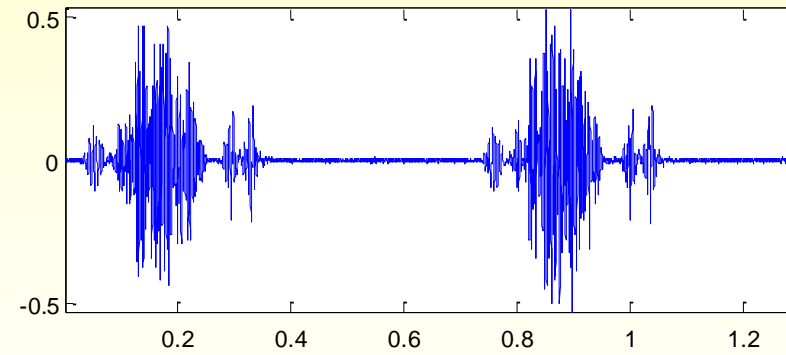
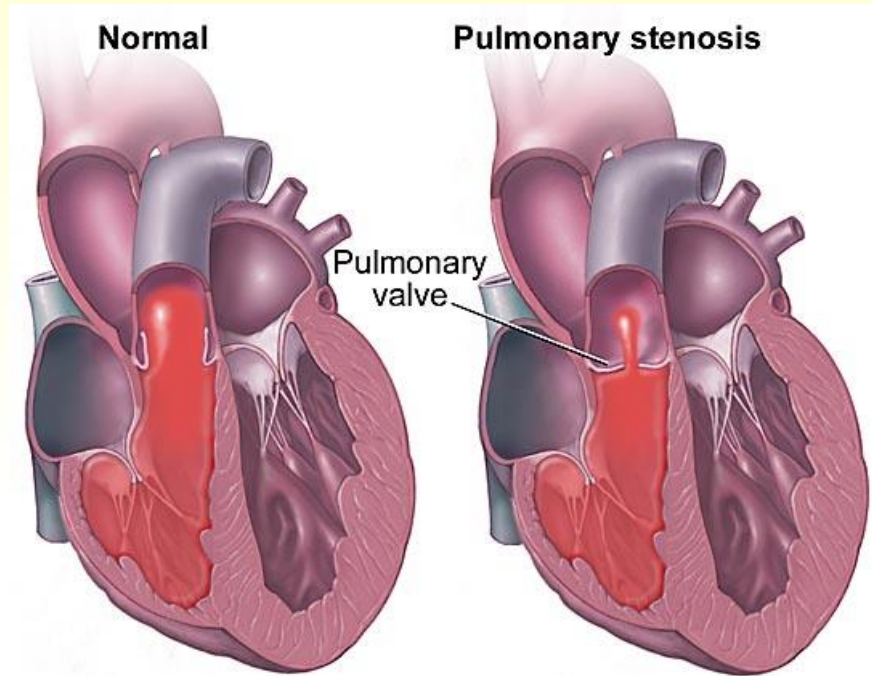


Aortální stenóza



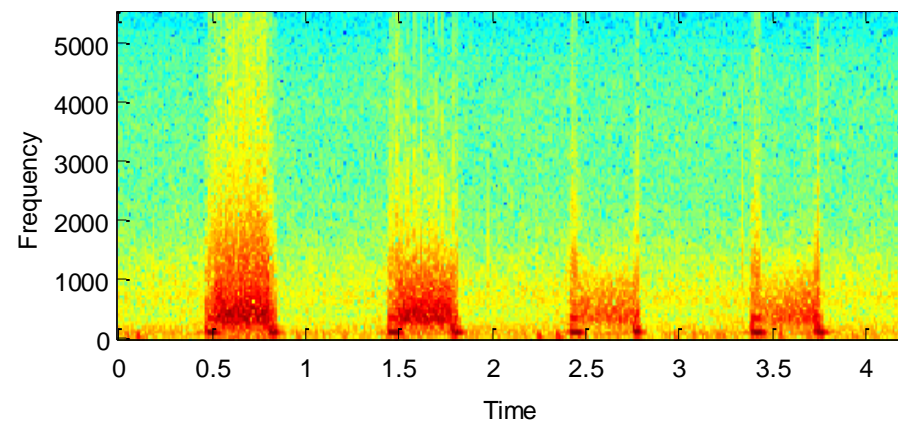
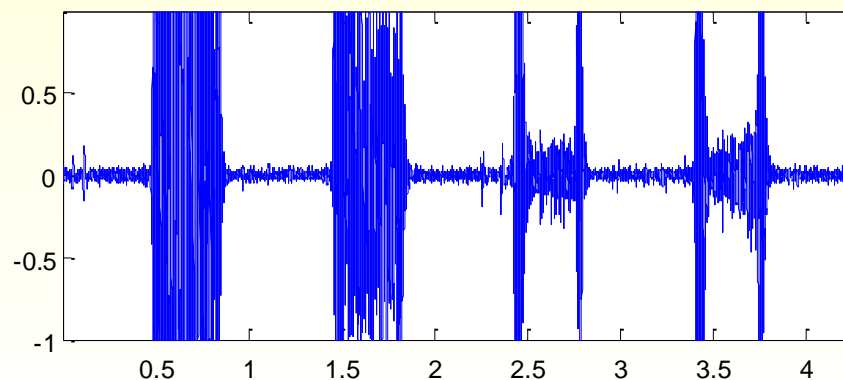
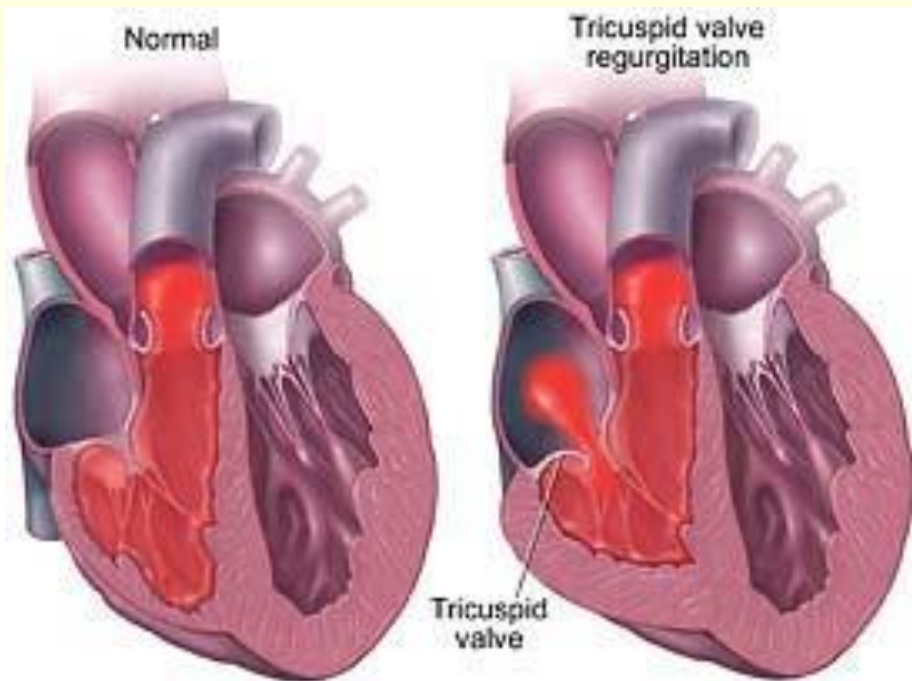
Otevření aorty, časné systolické ozvy

Pulmonální stenóza



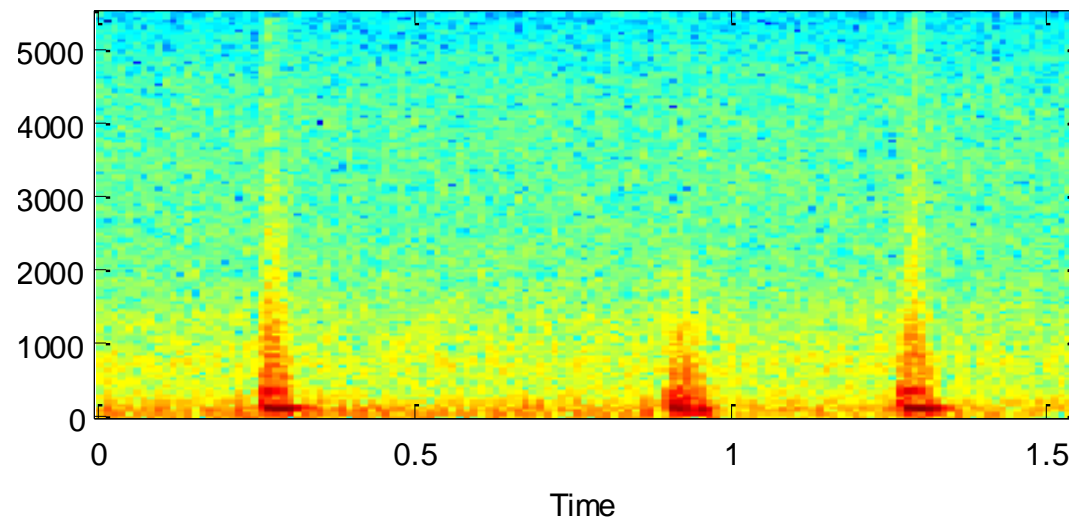
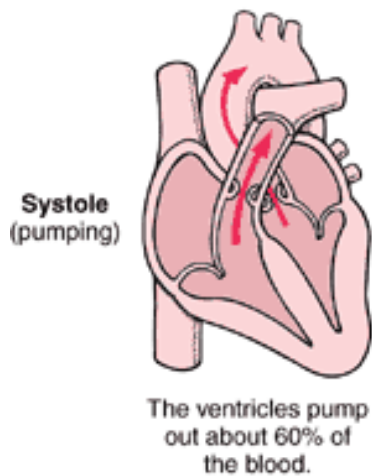
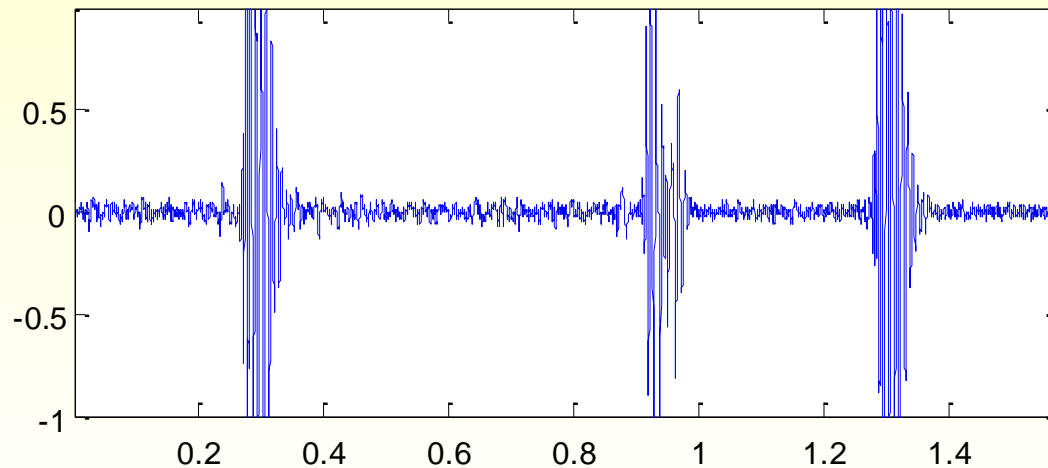
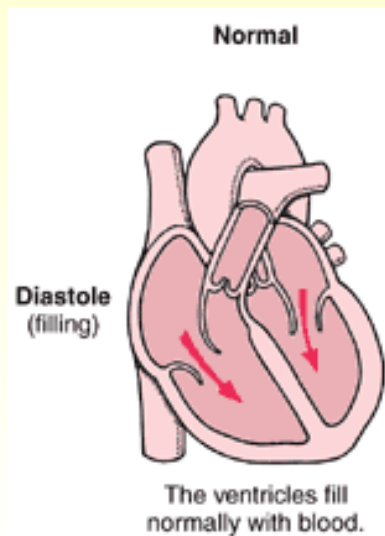
Systolický šelest

Trikuspidální nedomykavost



Systolický šelest, vysokofrekvenční, nižší během výdechu a silnější během nádechu

Systemová hypertenze



Zesílená druhá ozva

Pletysmogram

- Pletysmogram
 - pulsní vlna
 - rychlost šíření pulsní vlny
 - HRV

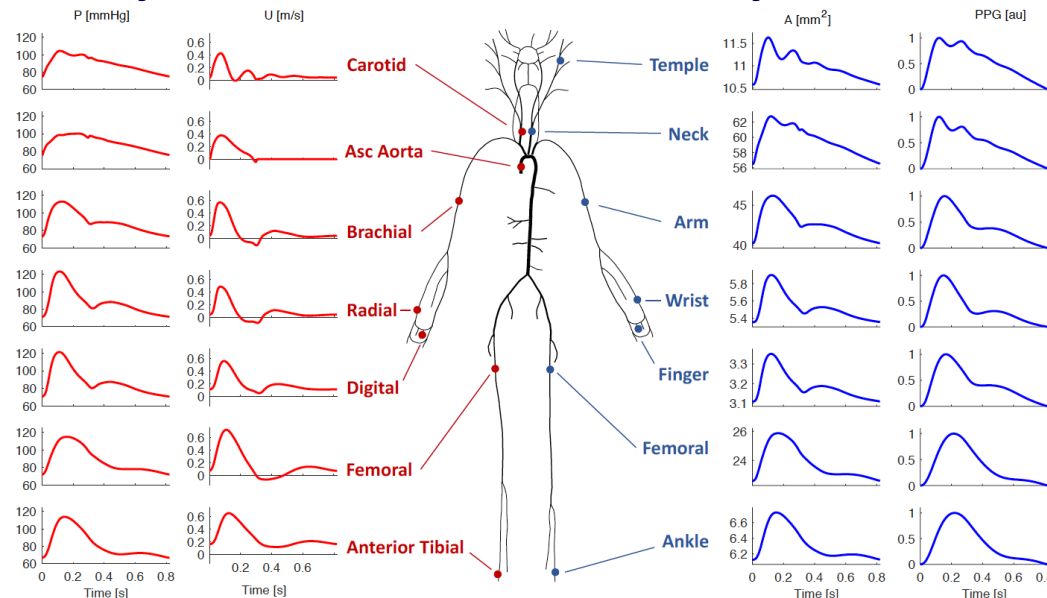
Pulzní vlna

- **Pulzní vlna**
 - vzniká systoly (vypuzení krve z levé komory do velkého oběhu)
 - arteriální systém se s tímto rychle vypuzeným objemem vyrovnává svou elasticitou
 - pulz bezprostředně po systole prochází celým arteriálním systémem velkou rychlostí

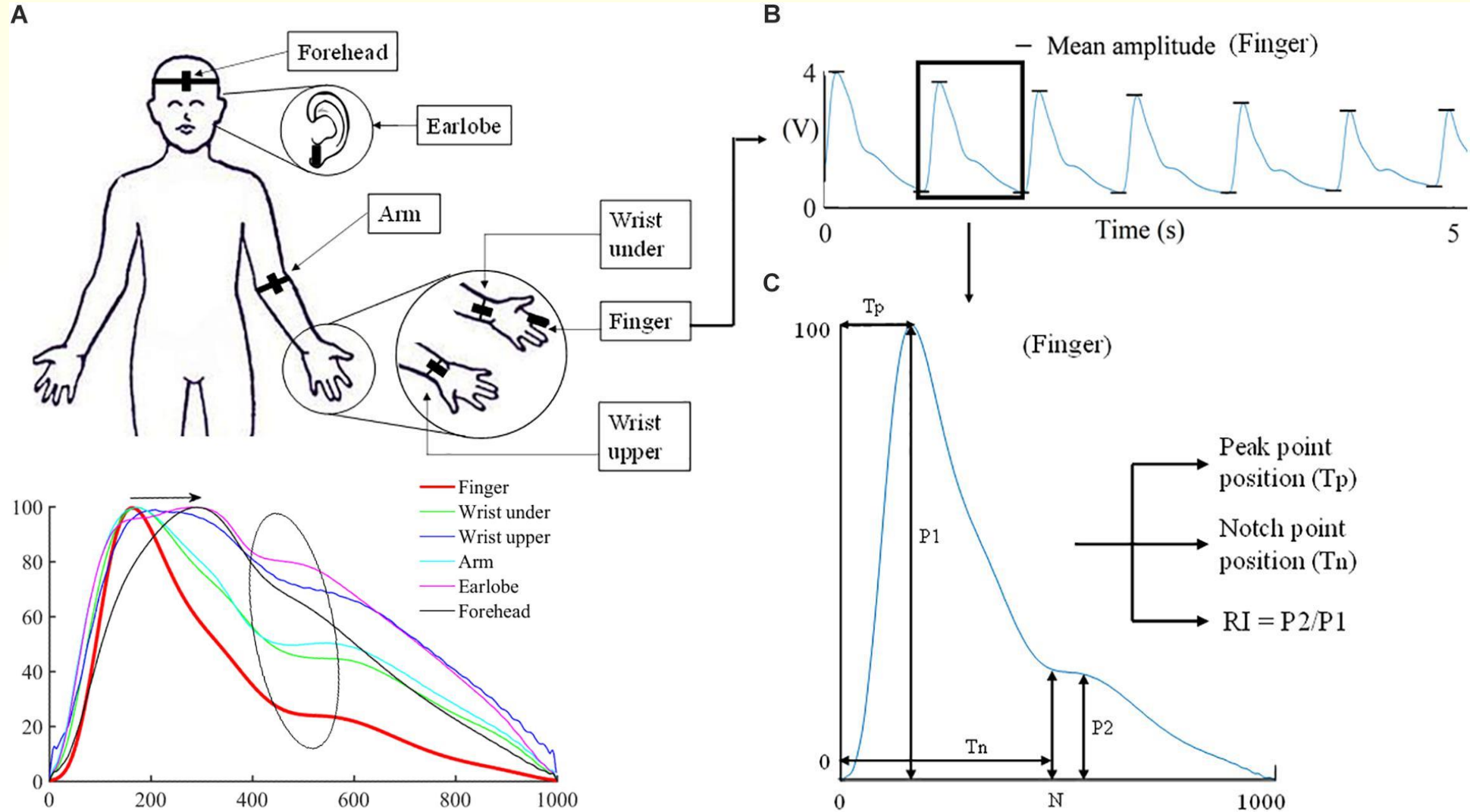
Pulzní vlna

- **Pulzní vlna**

- vzniká systoly (vypuzení krve z levé komory do velkého oběhu)
- arteriální systém se s tímto rychle vypuzeným objemem vyrovnává svou elasticitou
- pulz bezprostředně po systole prochází celým arteriálním systémem velkou rychlostí

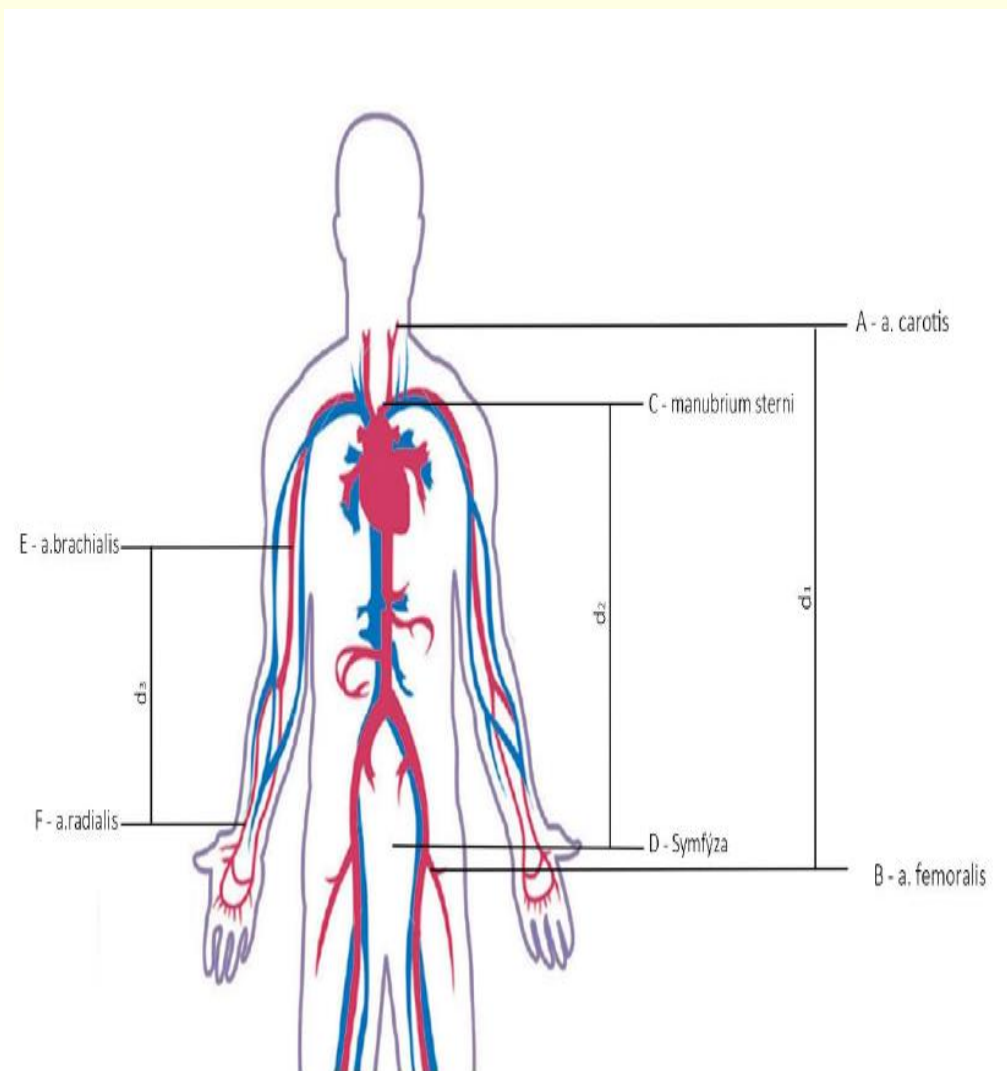


Pulzní vlna

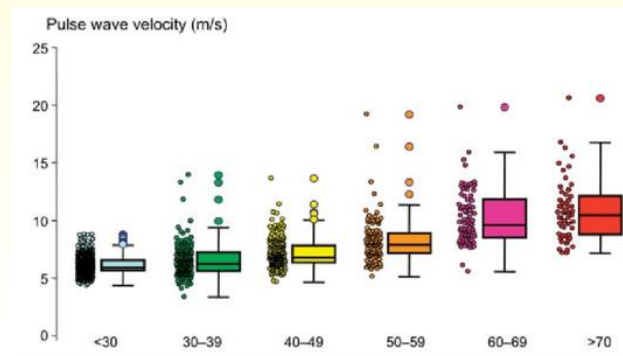


Faktory ovlivňující pulzní vlny

(rychlost, tvar)



- Místo měření
- Věk
- Pohlaví
- Genetická zátěž
- Kouření
- Obezita
- Fyzická aktivita
- Diabetes Mellitus



Pletysmogram

- změna objemu tkáně v závislosti na okamžitých změnách krevního tlaku
- je to dáno pružností krevního řečiště včetně tkáně, která ho obklopuje
- z objemových změn tkáně v daném místě lze hodnotit změny jejího prokrvení

Pletysmogram

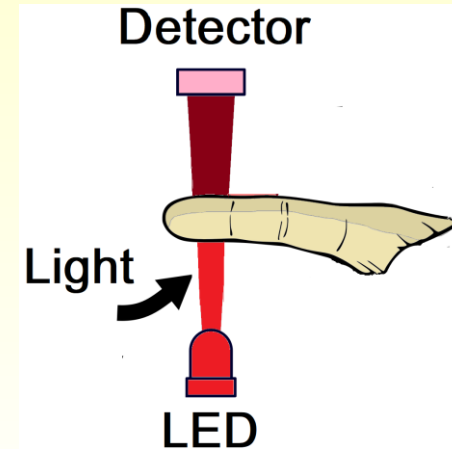
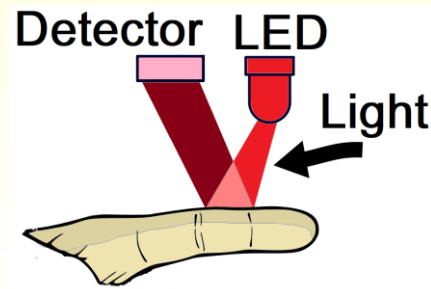
Princip

- pneumatické
- kapacitní
- impedanční
- **fotoelektrické**

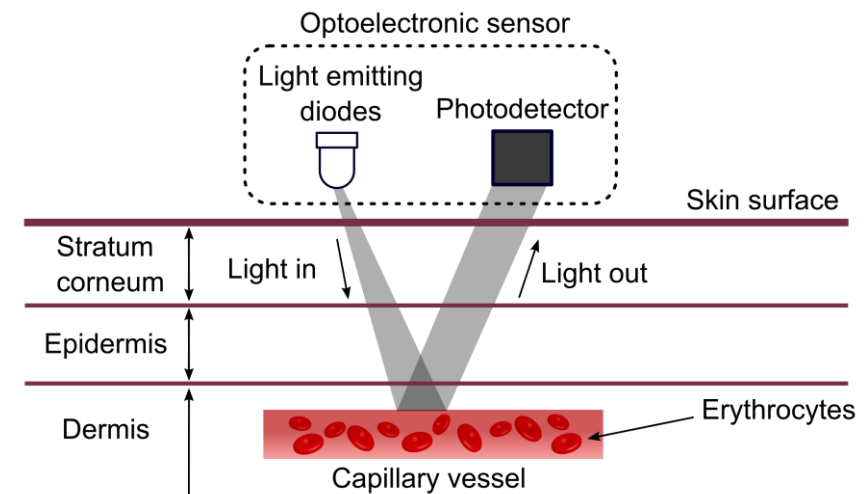
Fotoelektrický pletysmograf

- průsvitový

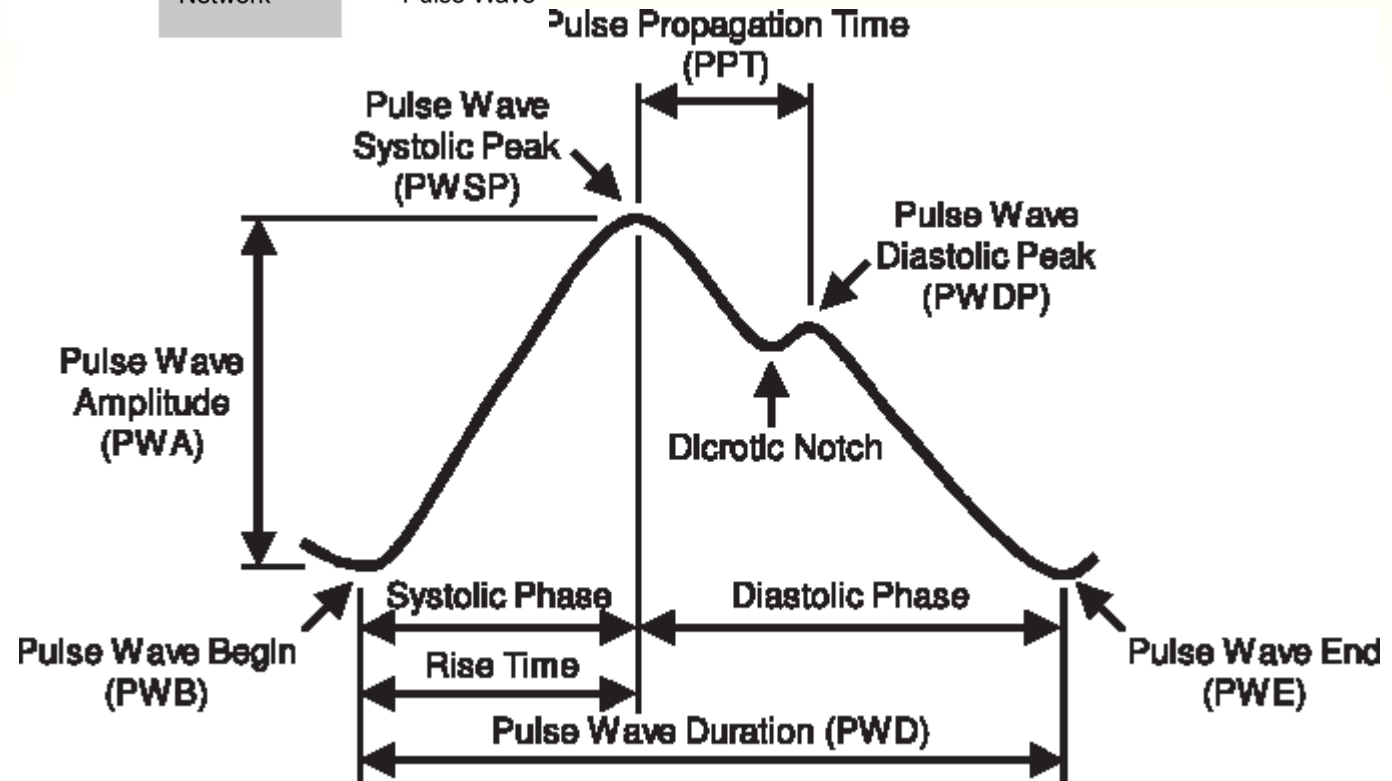
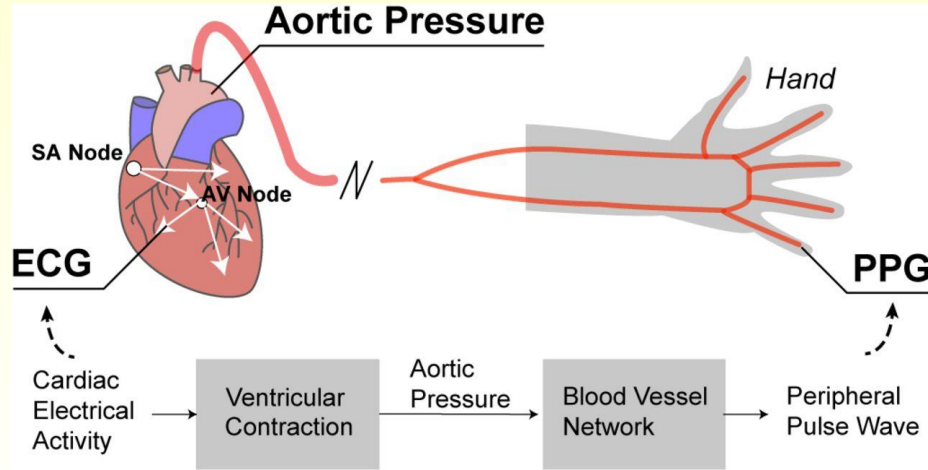
- reflexní



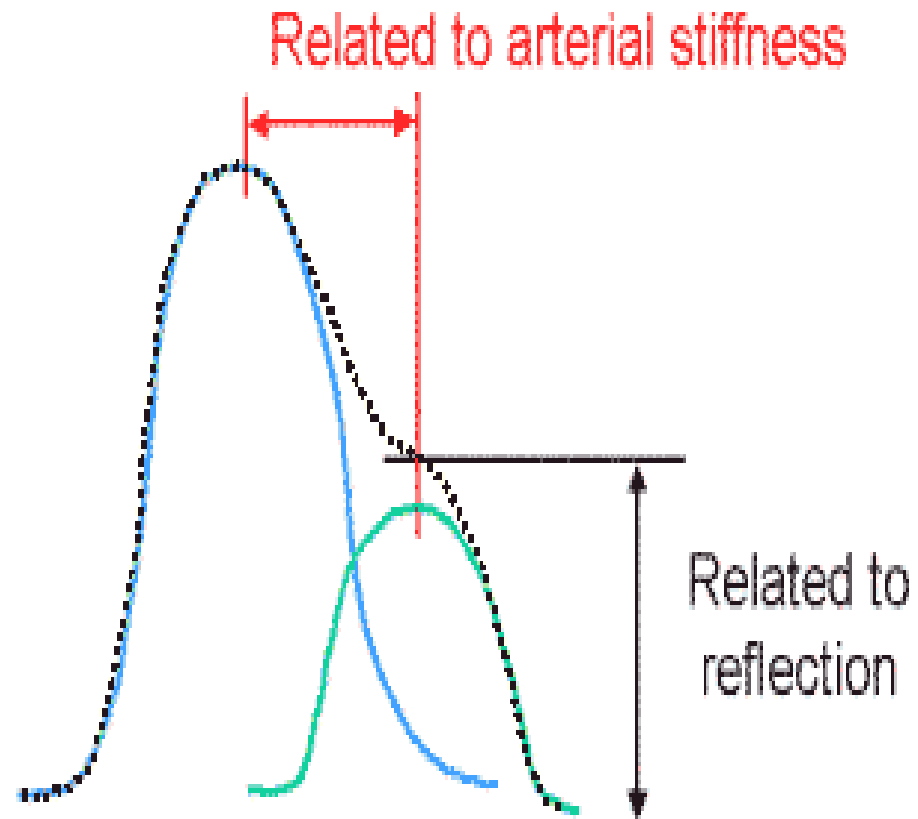
- světlo prochází přes kapilární řečiště
- změny tlaku krve souvisejících s činností srdce
- mění se objem kapilár a způsobuje změnu absorpce, odrazu a rozptylu světla



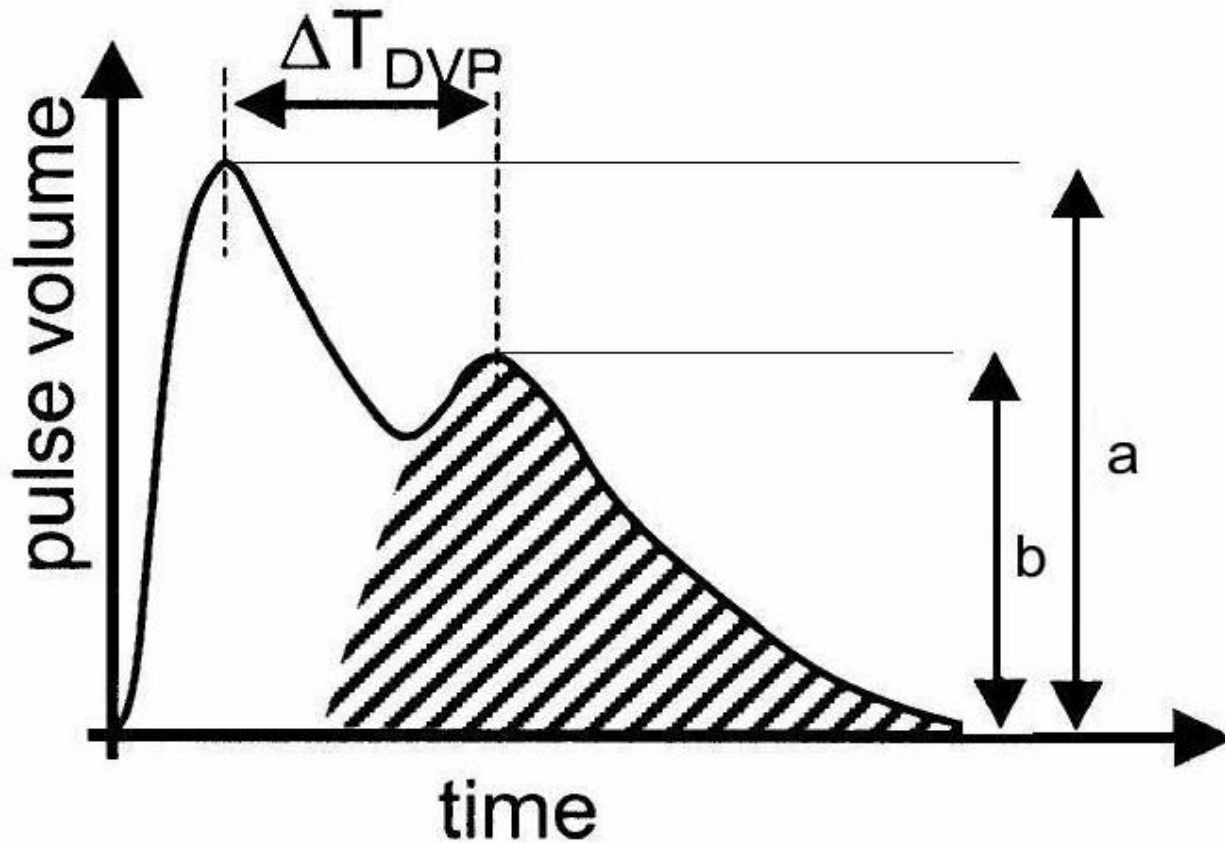
Fotopletysmogram



Fotopletysmogram



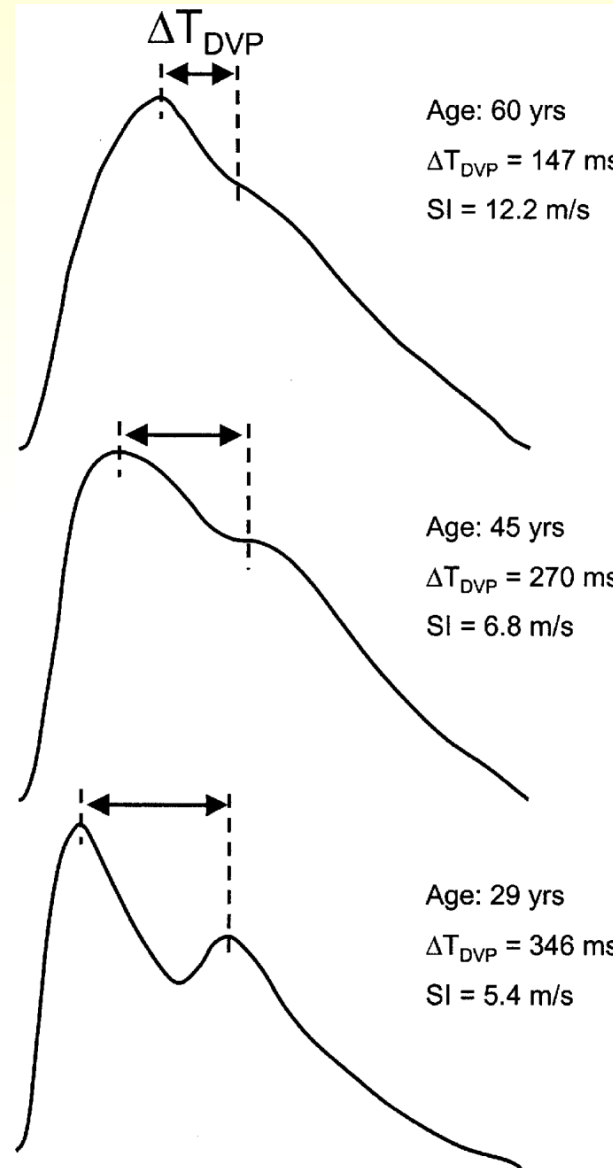
Fotopletysmogram



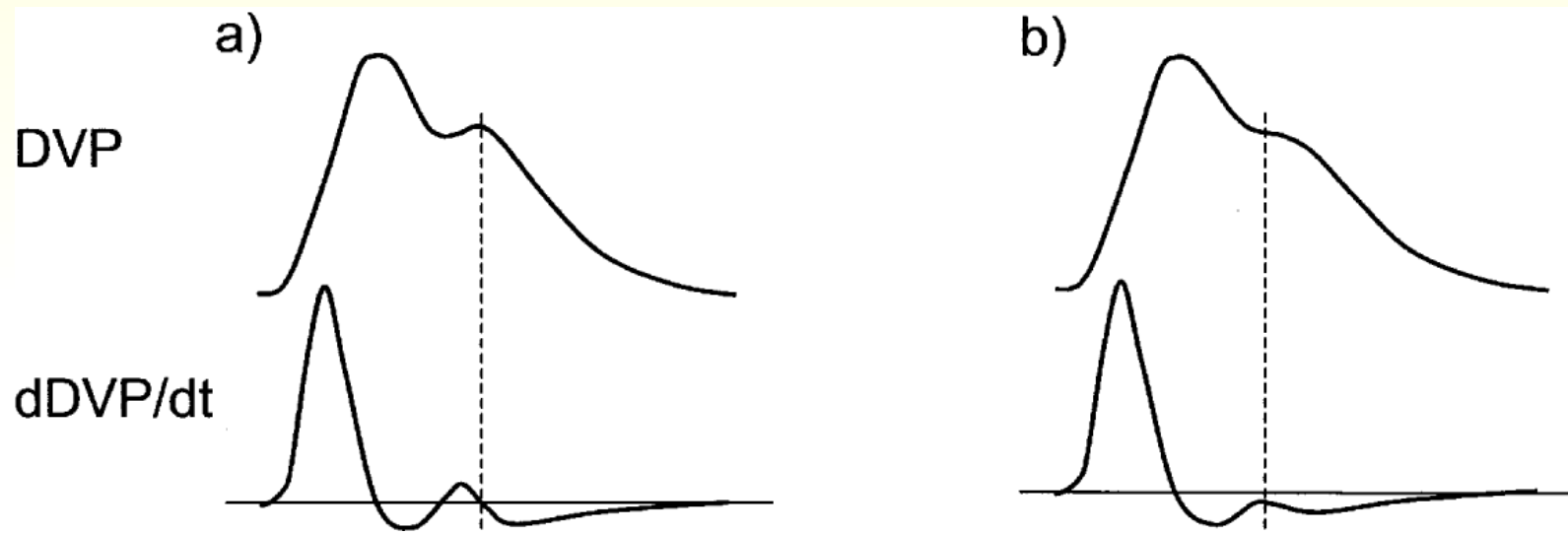
$$RI = \frac{b}{a} 100$$

$$SI = \frac{h}{\Delta T}$$

Fotopletysmogram

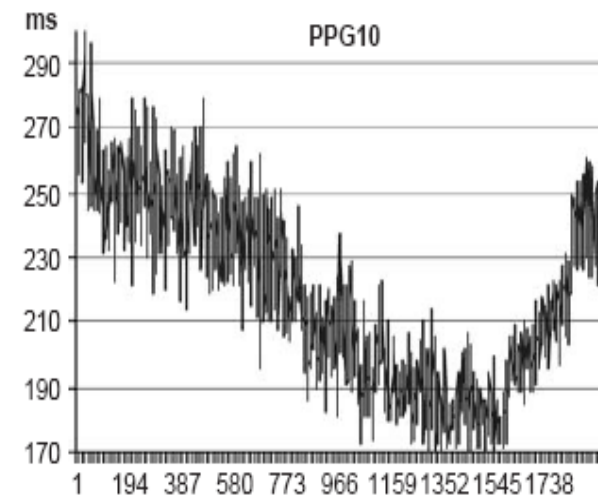
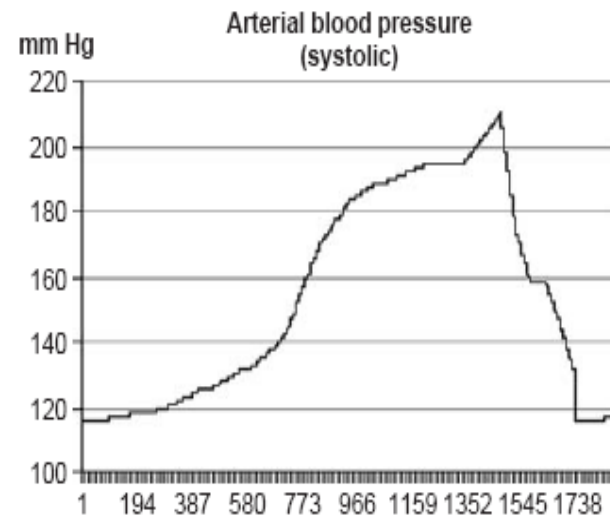
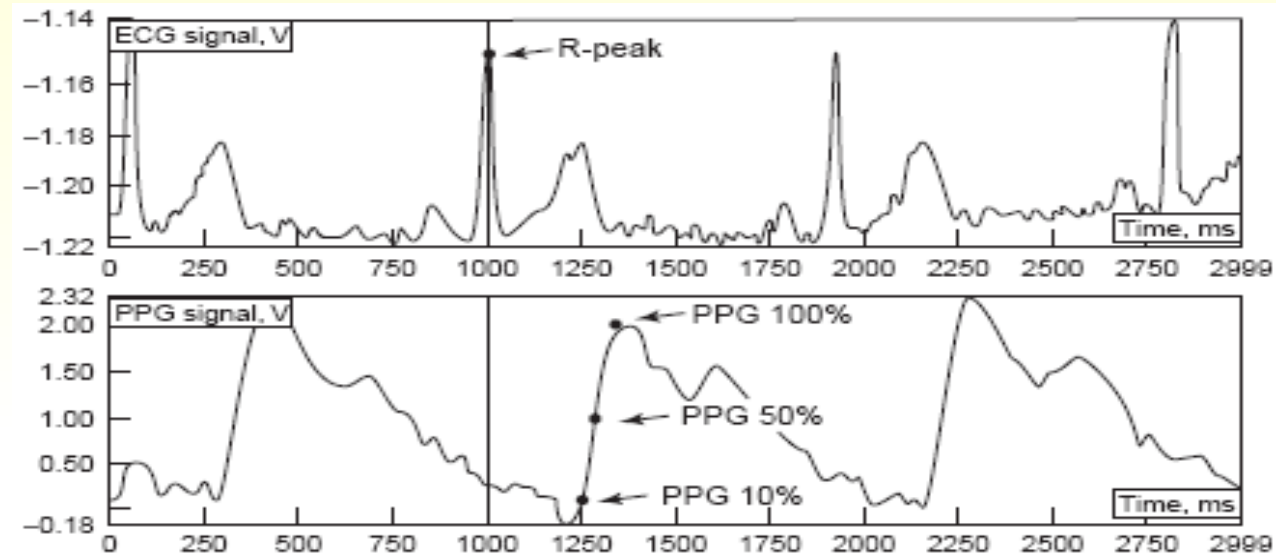


Fotopletysmogram

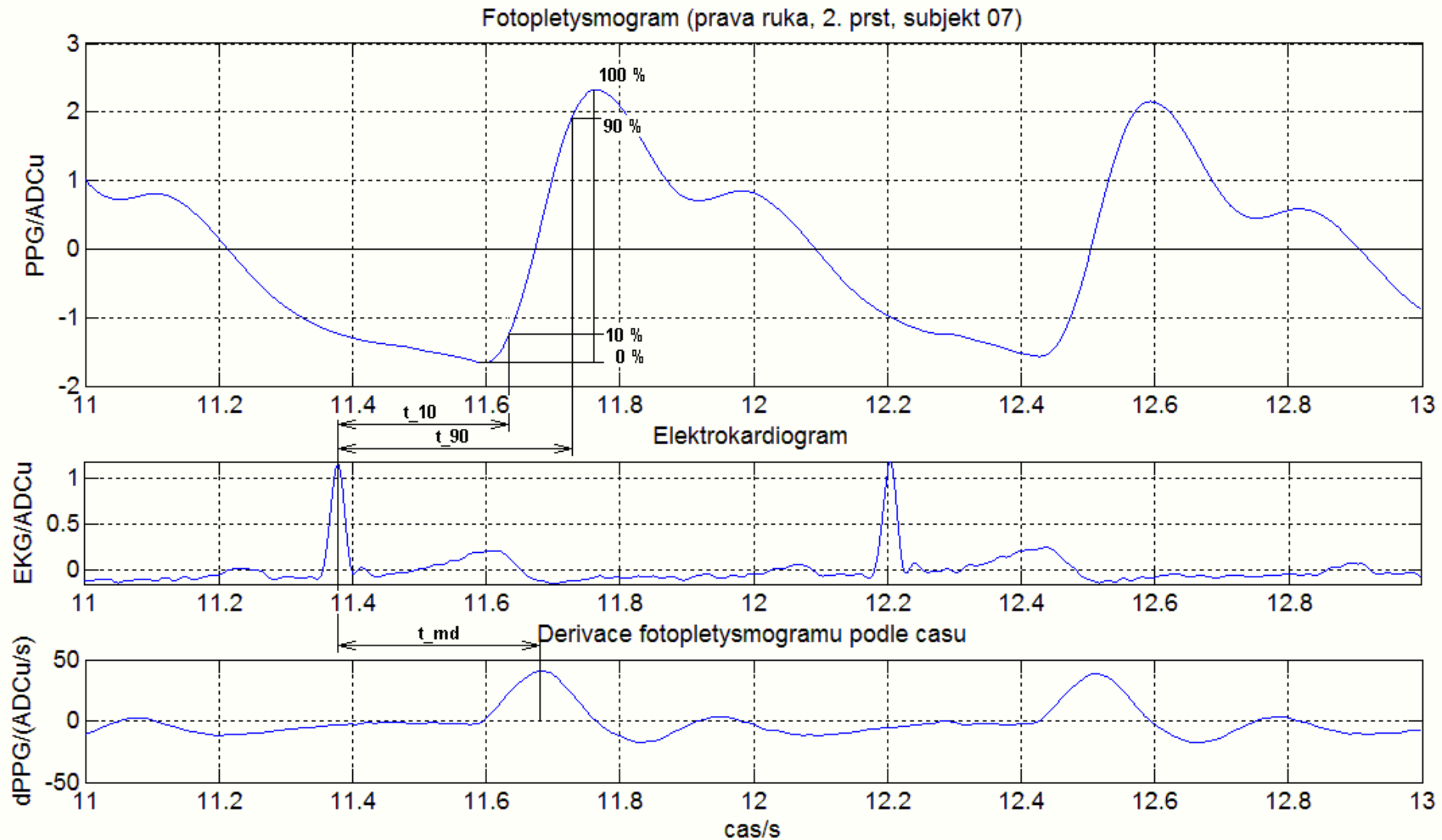


Fotopletysmogram

- korelace PPG10% a systolického TK

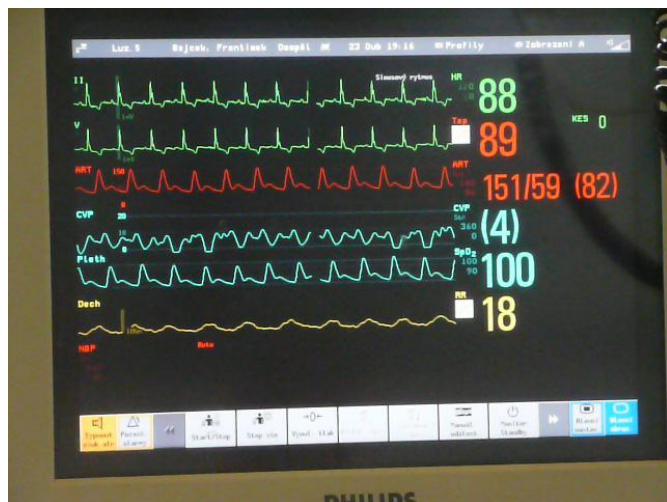


Šíření pulsní vlny

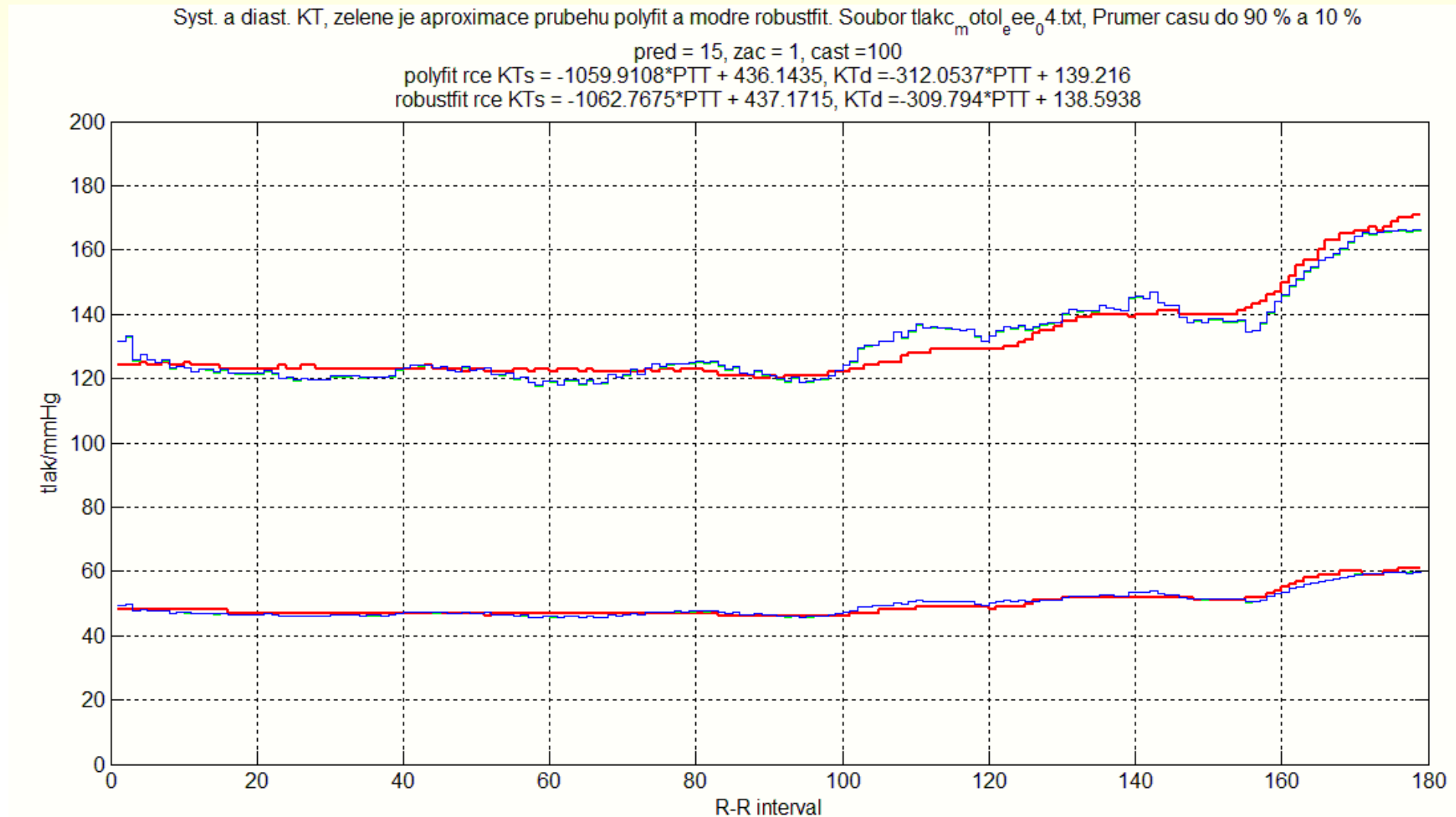


Kontinuální měření krevního tlaku

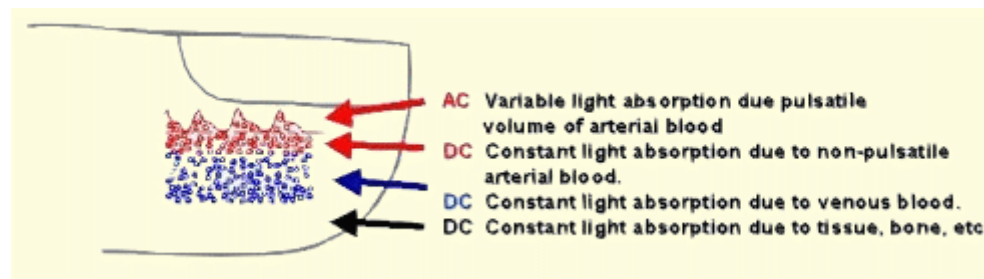
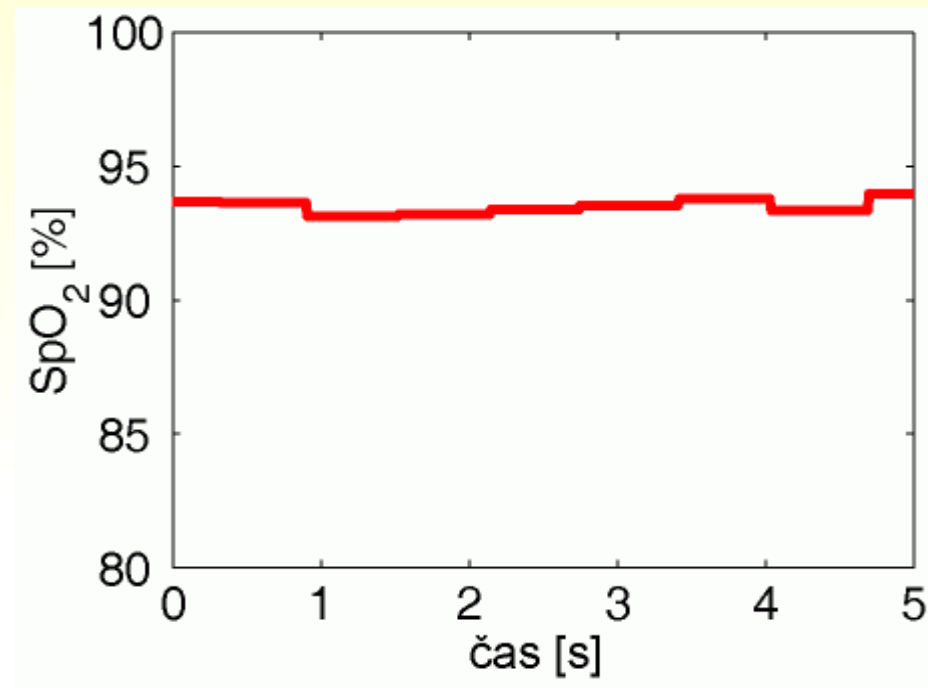
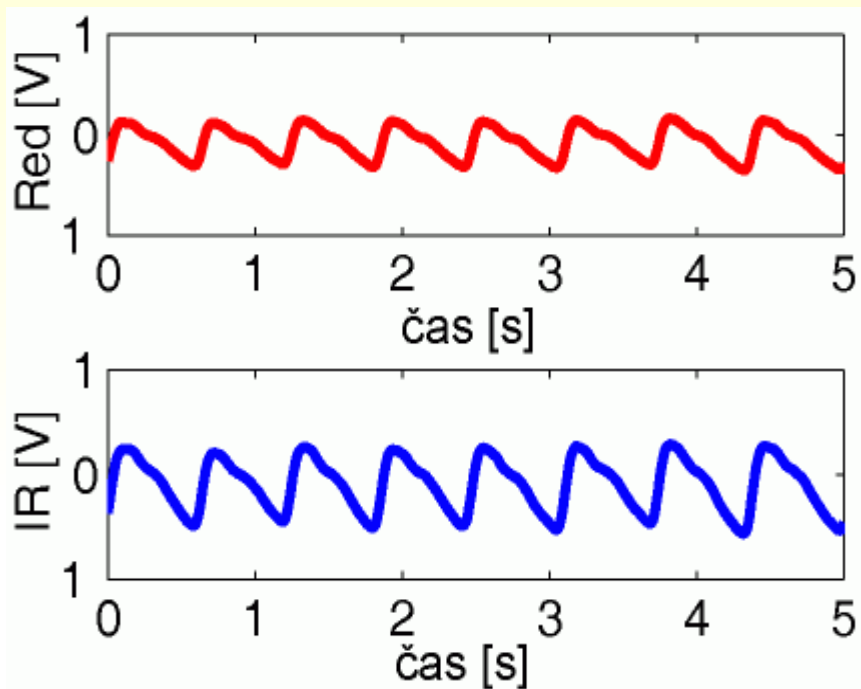
- s využitím Finapresu
- s využitím invazivního měřiče krevního tlaku
- aparatura použitá při měření ve FN Motol



Odhad tlaku na základě doby šíření (příklad)



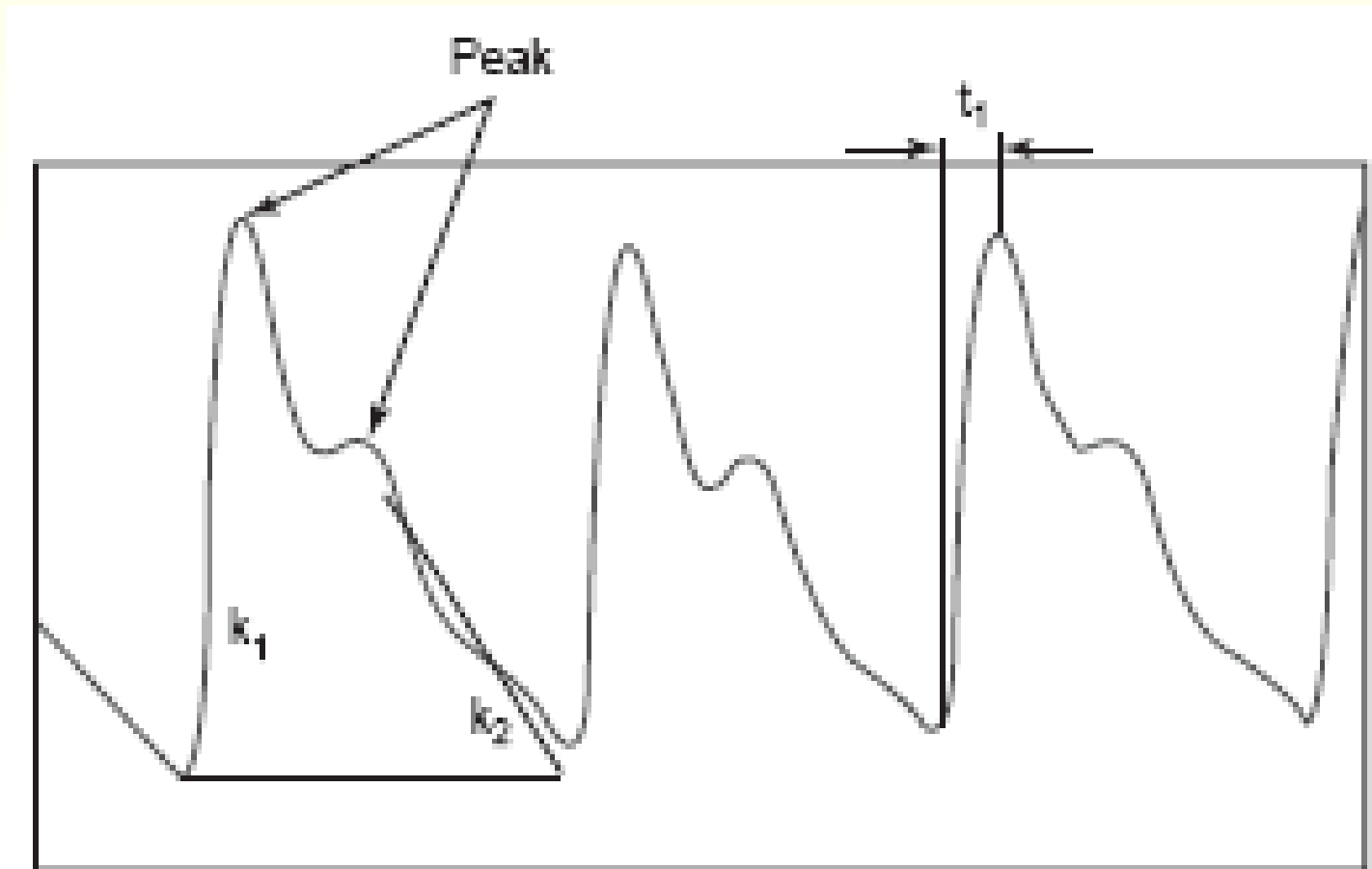
Pozn.: pulsní oxymetrie



Biometrika

náměty na semestrální práci

- fotopletysmogram



HRV s PPG

- jednoduché
- levné
- snadné
- neinvazivní

Polygrafické metody

- **Detektor lži**
- **Polysomnografie**
- **Polykardiografie**
- **Laboratorní úloha**

Polygraf

(detektor lži)



- krevní tlak
 - srdeční frekvence
 - elektrický odpor kůže
 - dýchání
 - velikost zornice oka
-
- BIOPAC
 - srdeční frekvence
 - elektrický odpor kůže
 - dýchání

Polysomnografie



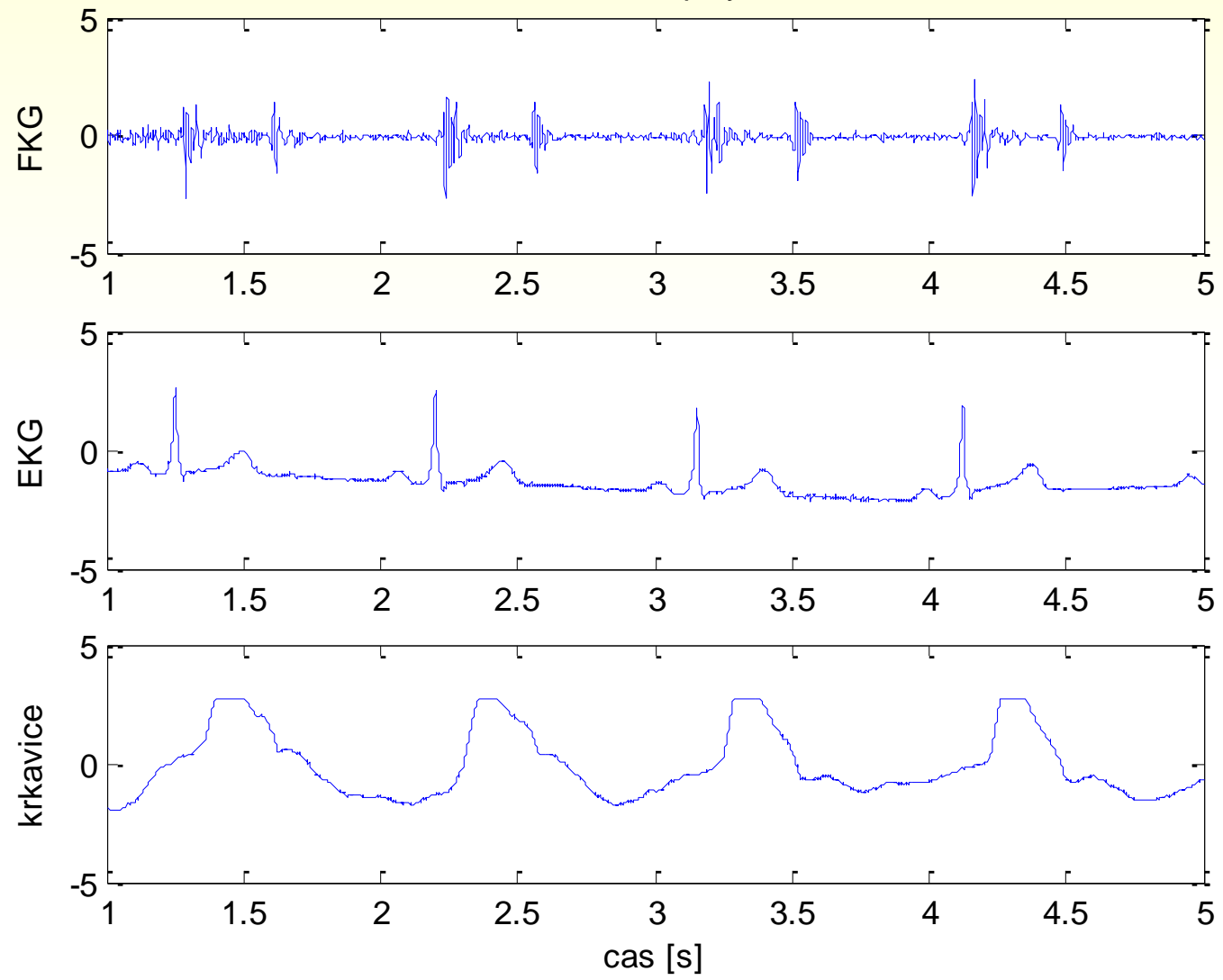
- EEG – min. 2 svody (C4-A1 nebo C3-A2)
- EOG – oční pohyby (2 svody)
- EMG – svalstvo brady (1 svod)
- EMG – svalstvo končetin (1 svody)
- EKG – 1 svod
- Průtok vzduchu před nosem a ústy – 1 svod
- Pohyby při dýchání (hrudník, břicho) – 2 svody
- Saturace krve O_2 – 1 svod
- Poloha těla – 1 svod
- Video, mikrofon

Polykardiografie

- **elektrokardiografie** – záznam elektrické činnosti srdce. Vyhodnocení součtu akčních potenciálů.
- **fonokardiografie** – metoda snímající srdeční ozvy, případně šelesty, vznikající patologickými změnami na srdečních chlopních
- **pletysmografie** – tlakové změny odrážející činnost levého srdce

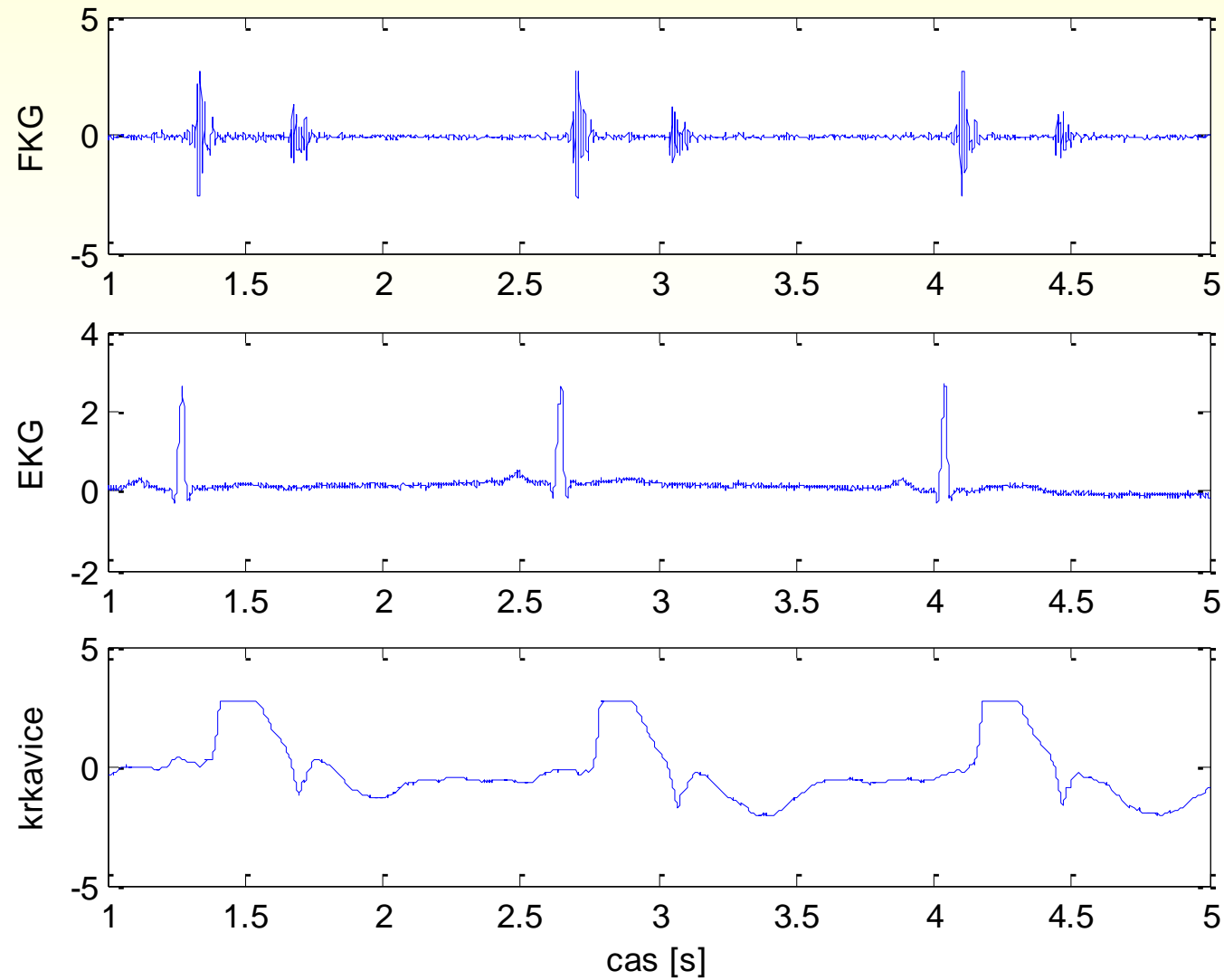
POLYKARDIOGRAFIE

normalni, dospely muz



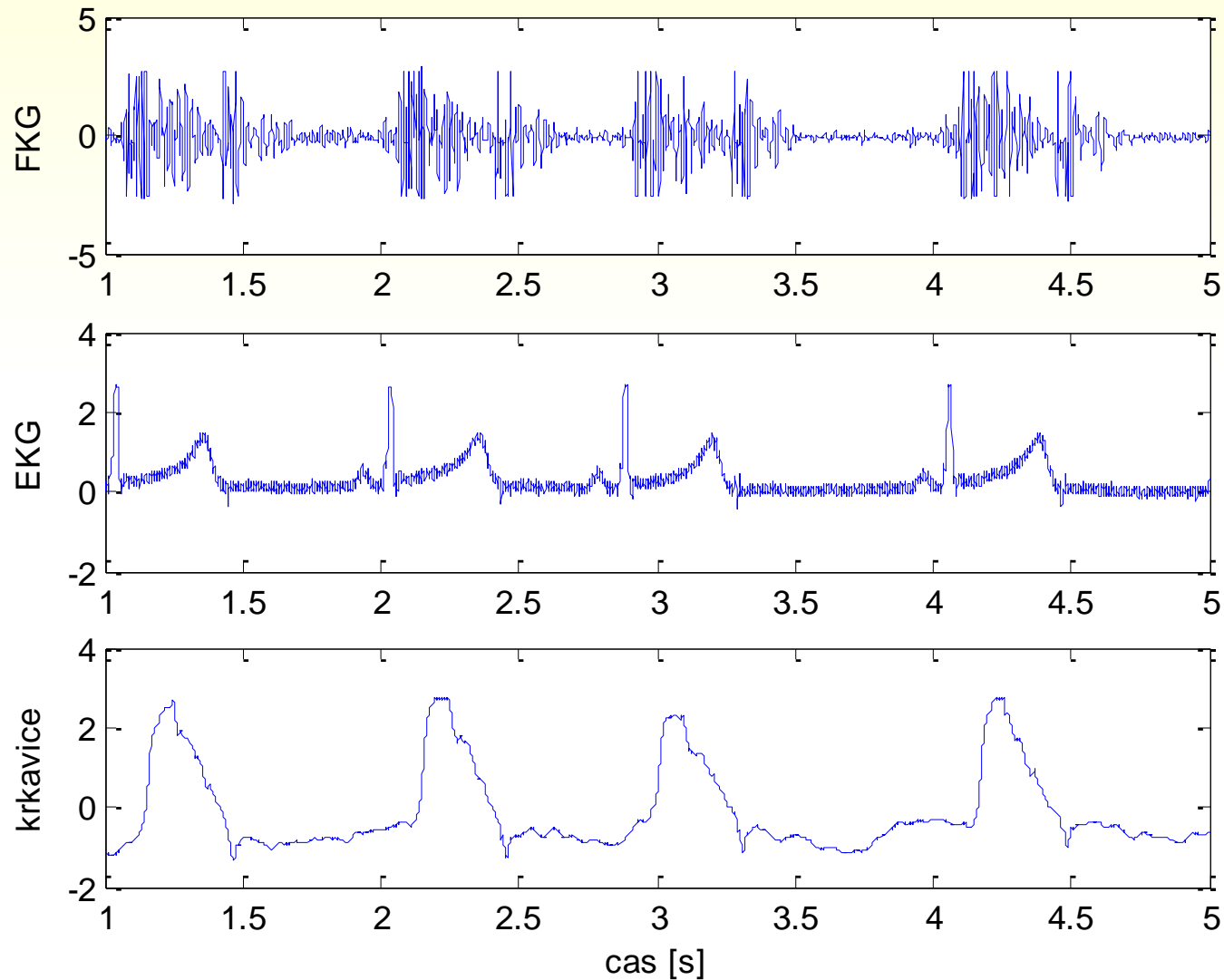
POLYKARDIOGRAFIE

normalni, muz, 23 let



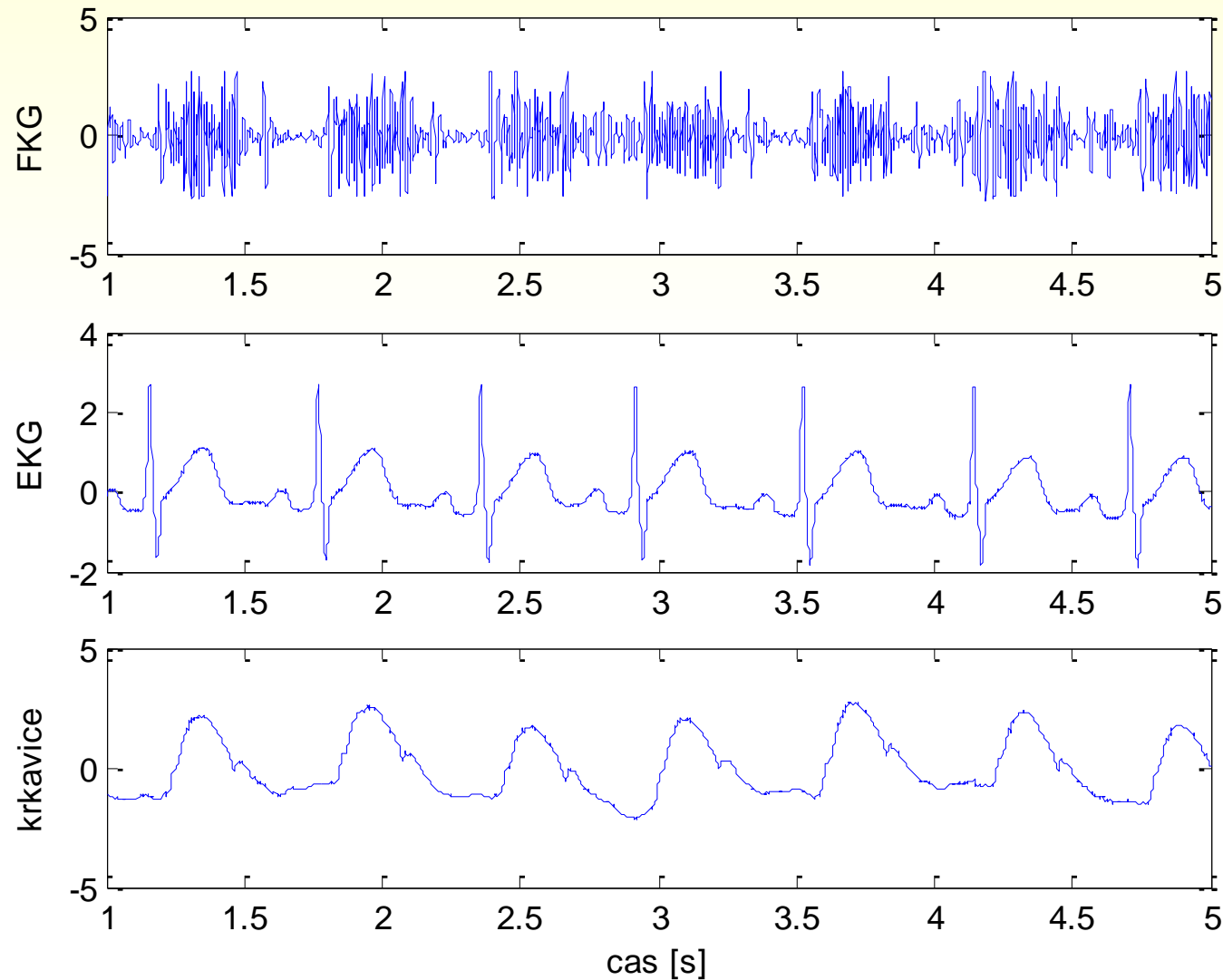
POLYKARDIOGRAFIE

systolic murmur, aortic stenosis, divka, 11 let



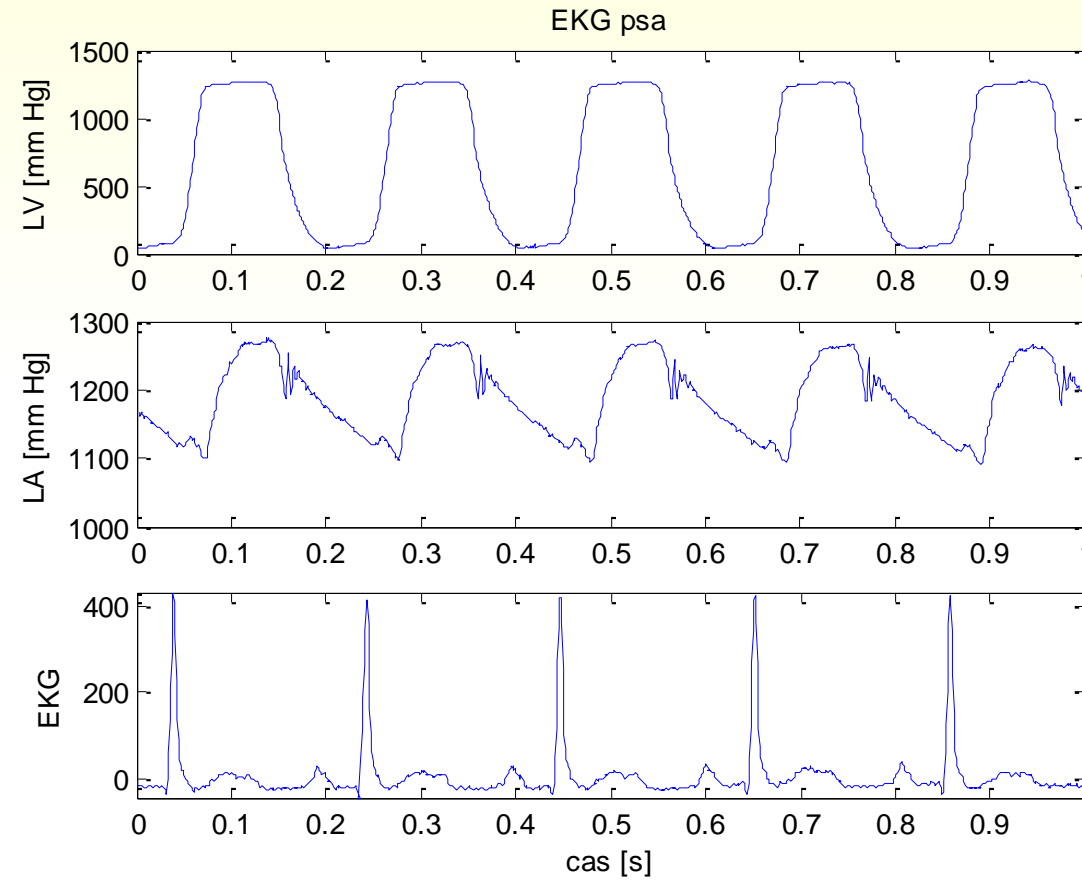
POLYKARDIOGRAFIE

pulmonary stenosis, ventricular septal defekt, pulmonary hypertense, divka, 14 mesicu



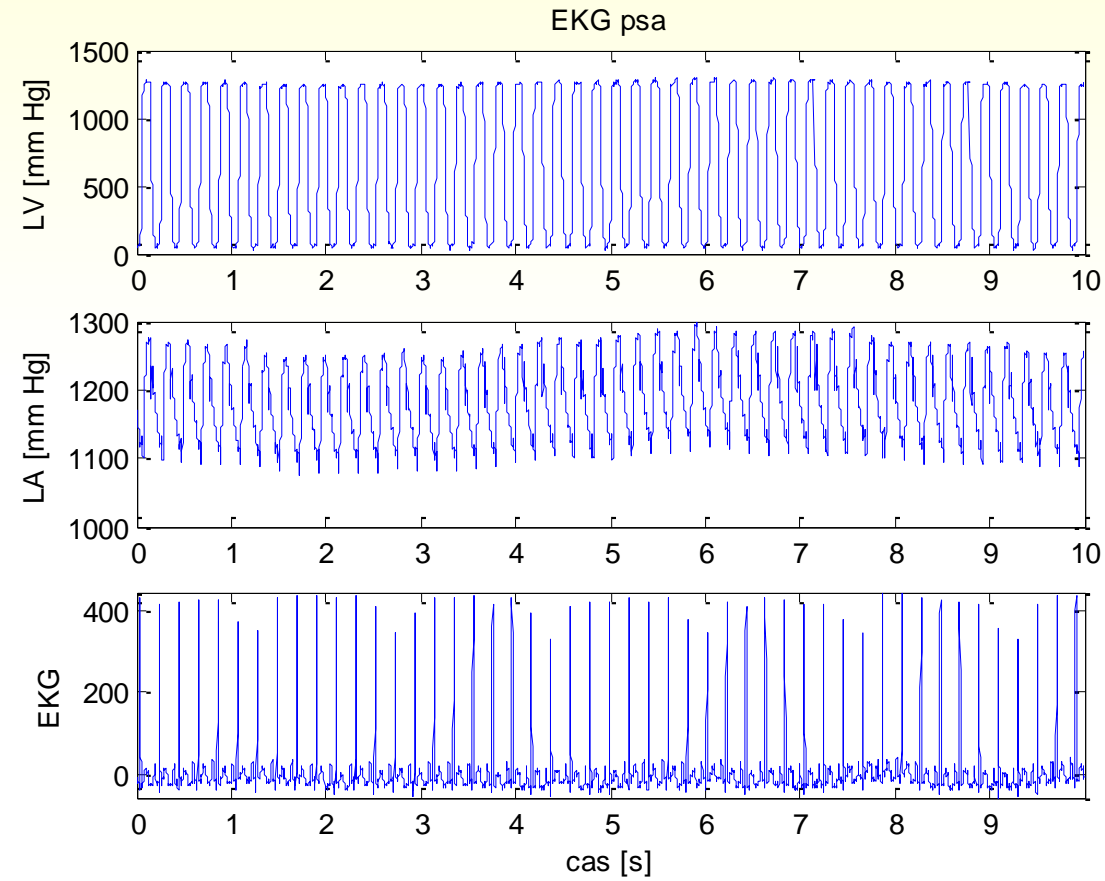
Signály z katetrů

invazivní metody

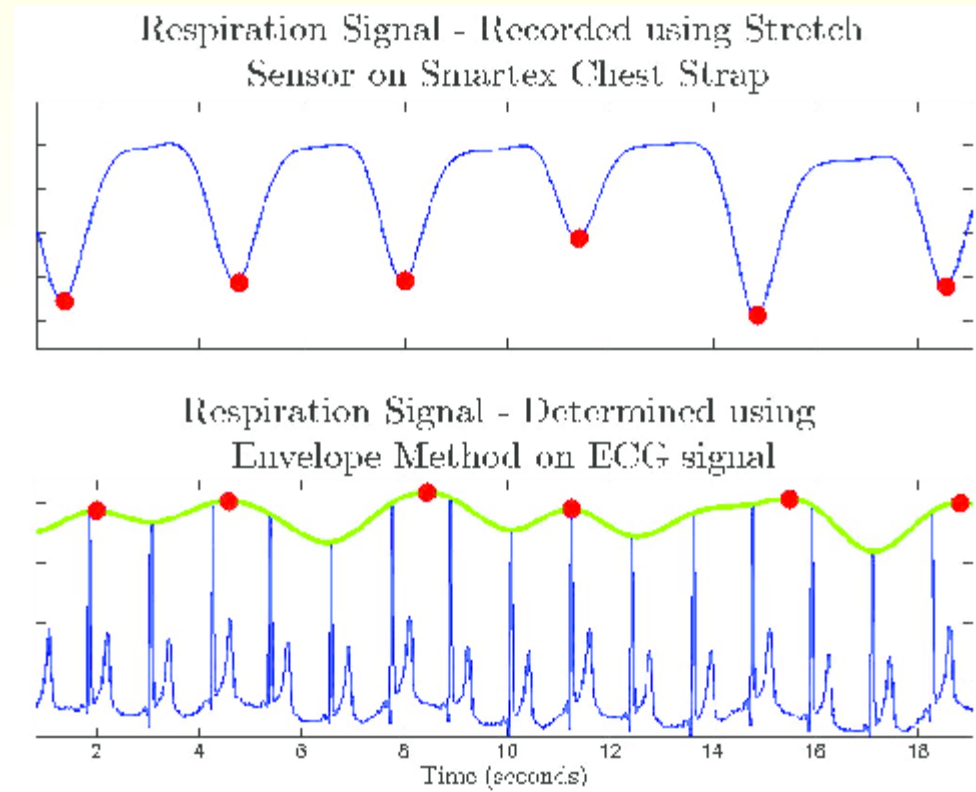


Signály z katetrů

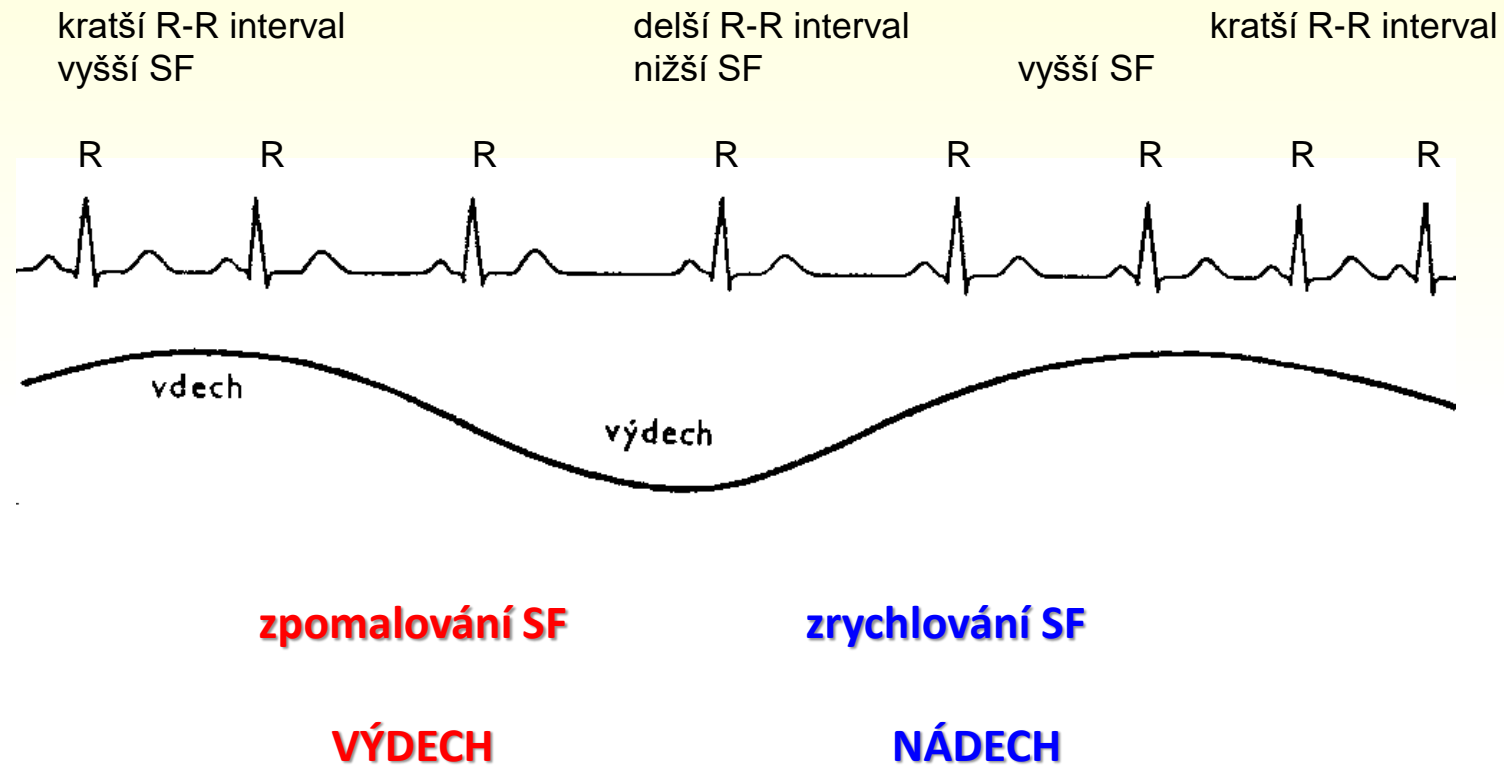
invazivní metody



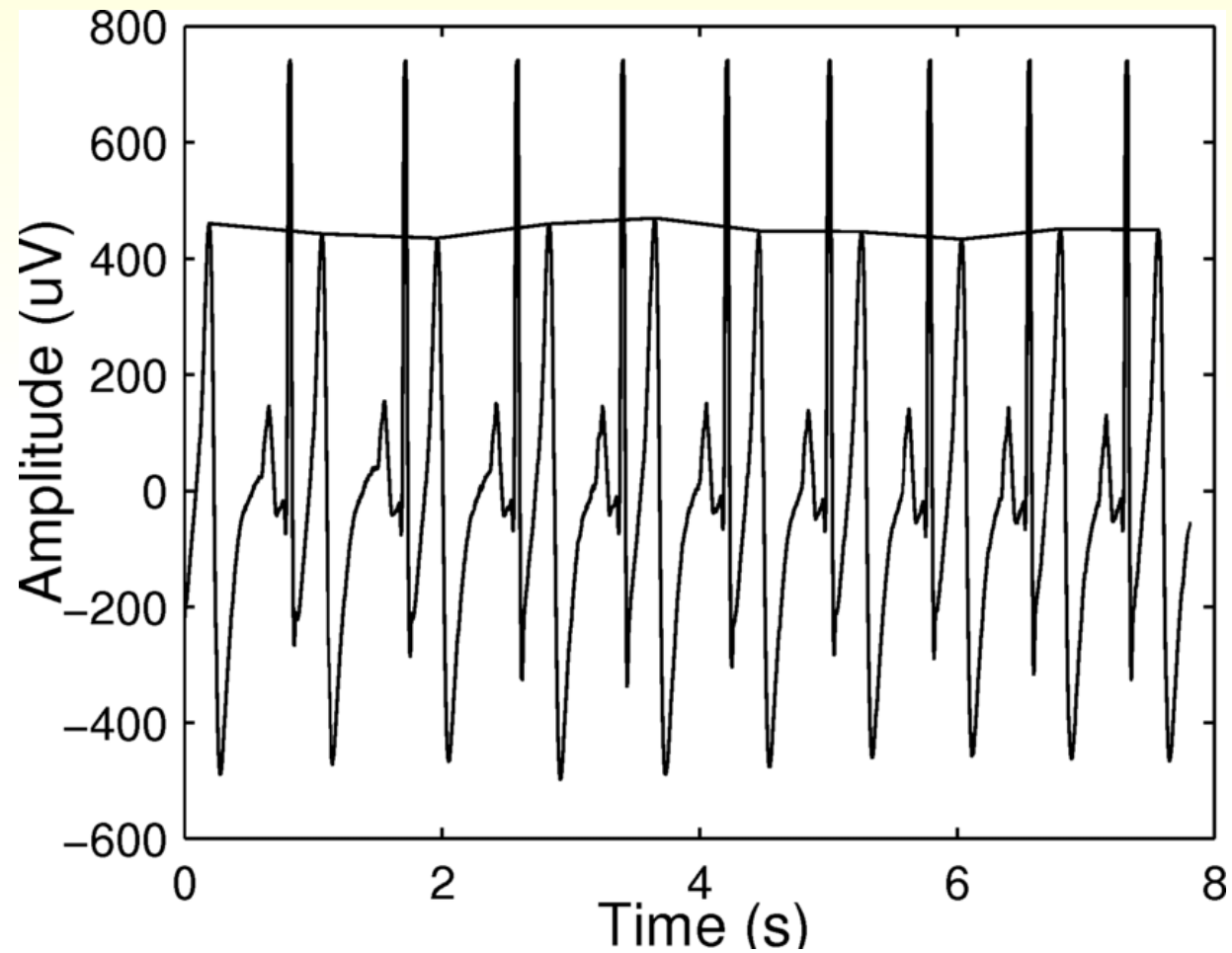
Vliv dýchání



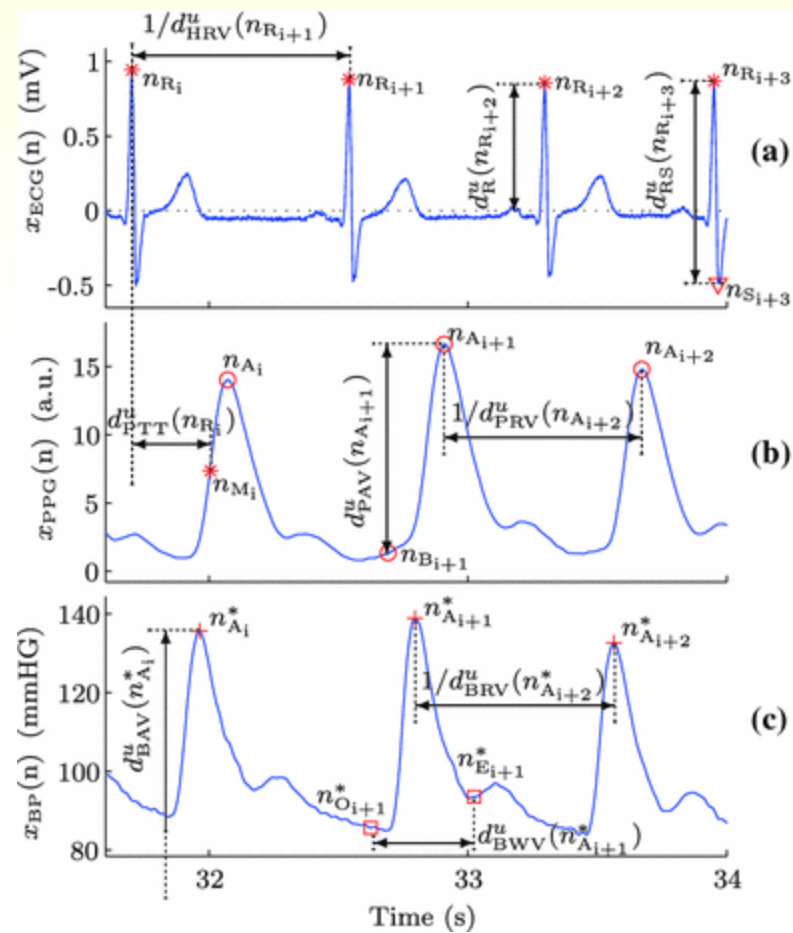
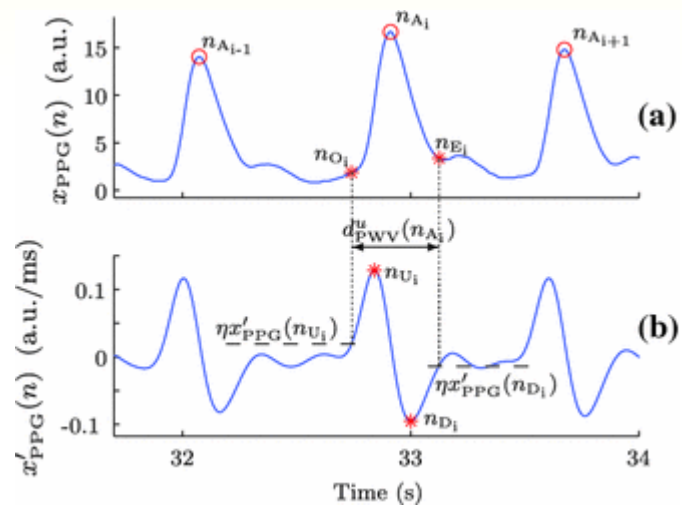
Variabilita srdeční frekvence



Vliv dýchání

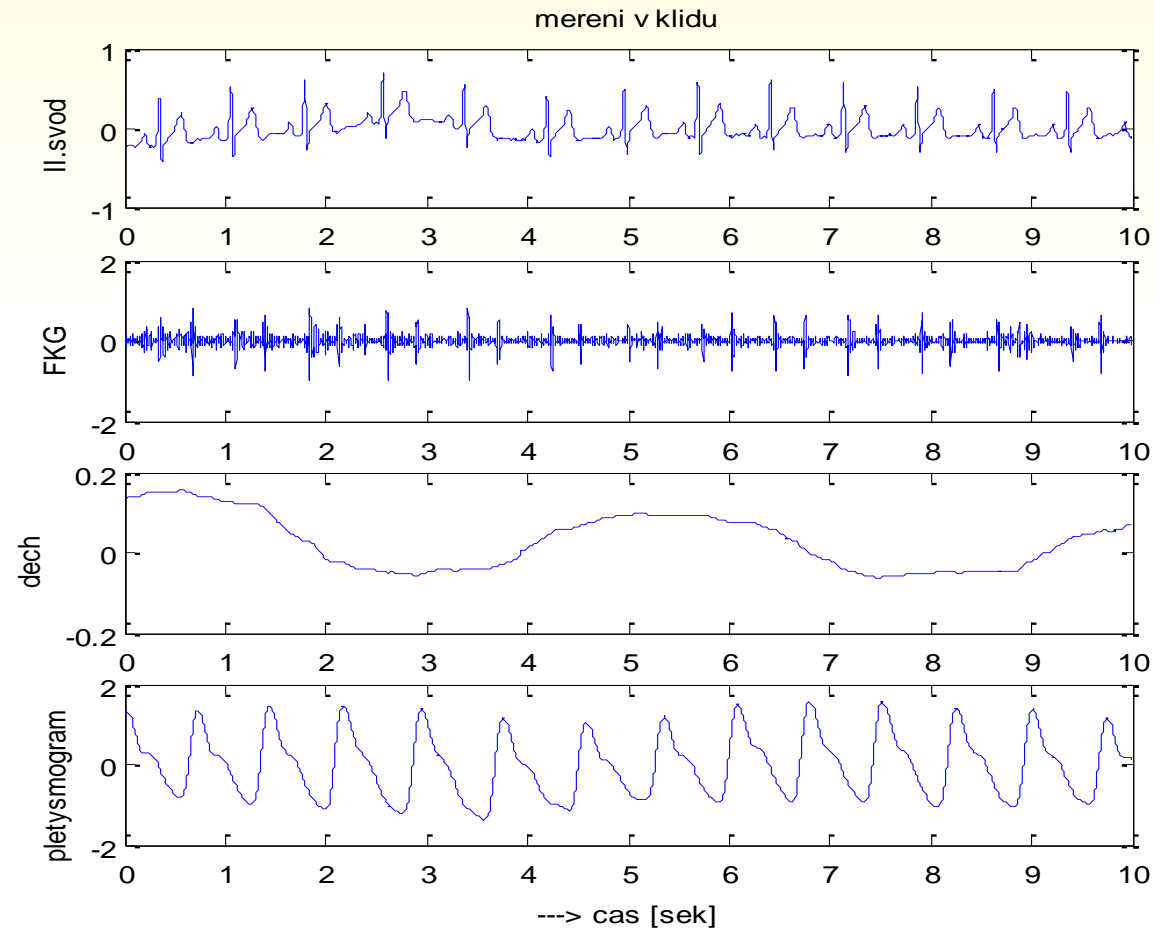


Vliv dýchání

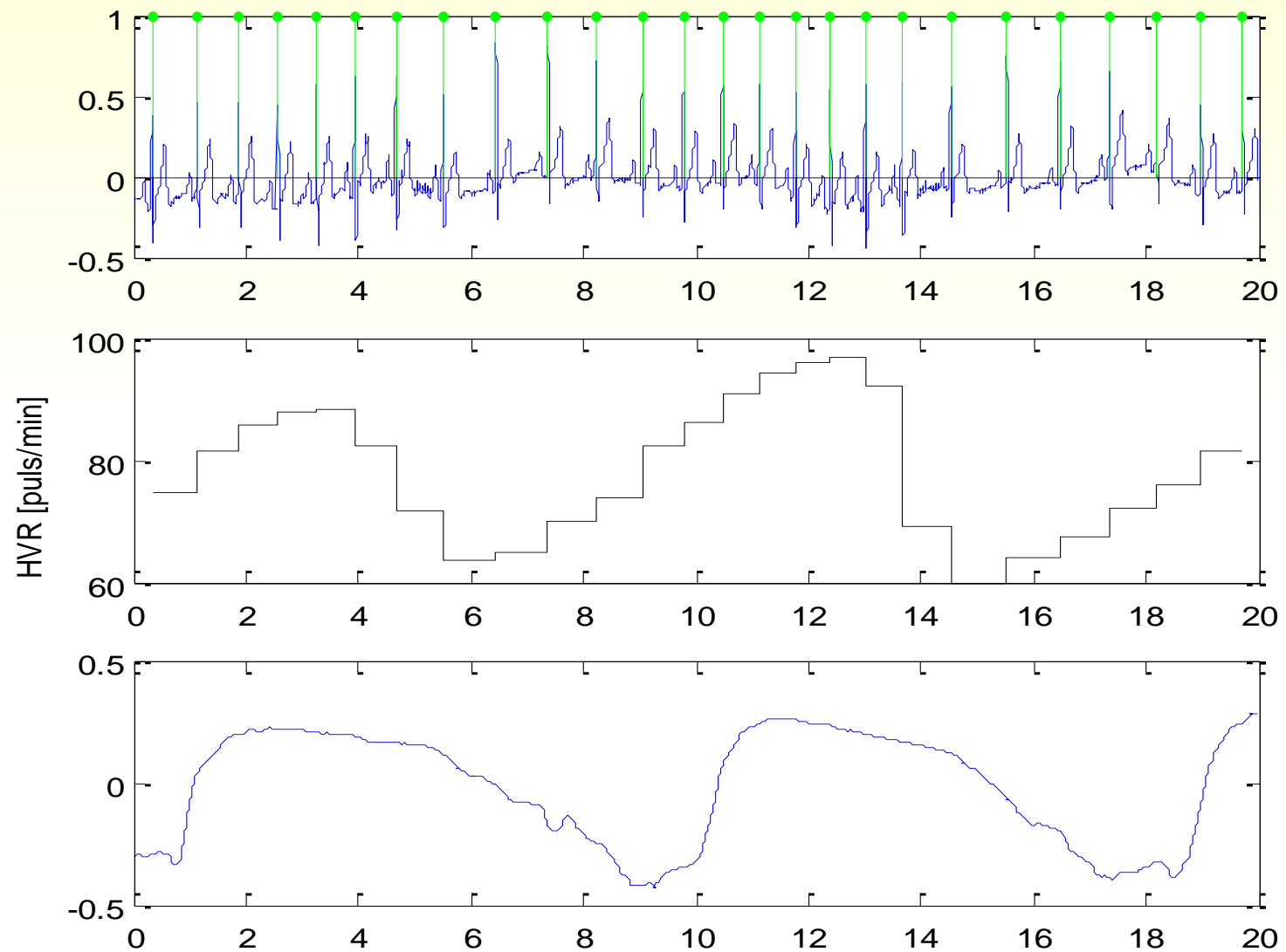


Laboratorní úloha

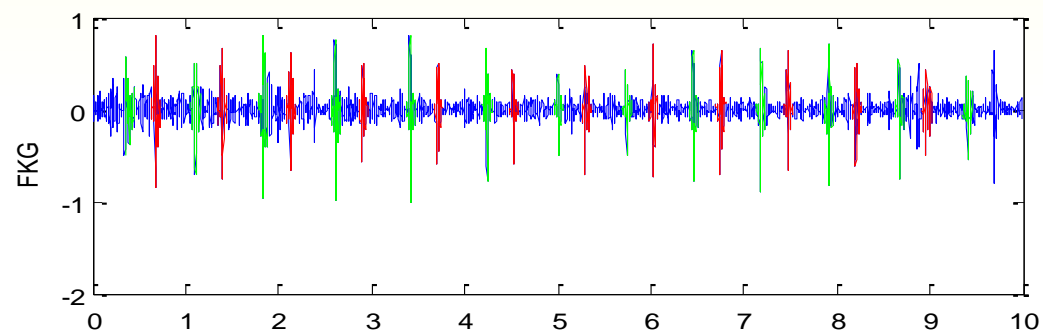
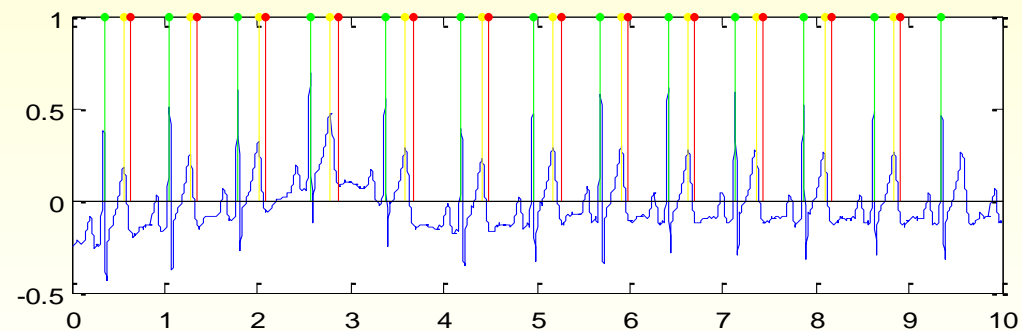
Nejprve probíhá měření po dobu 10 sekund v klidu



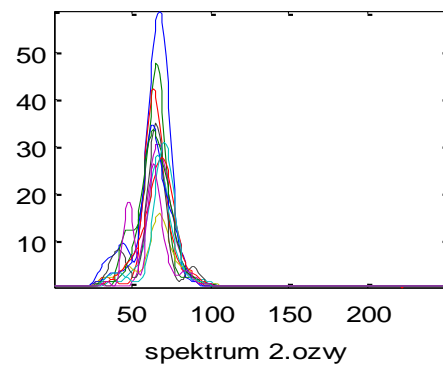
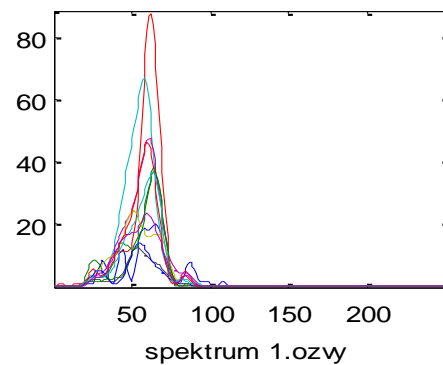
Laboratorní úloha



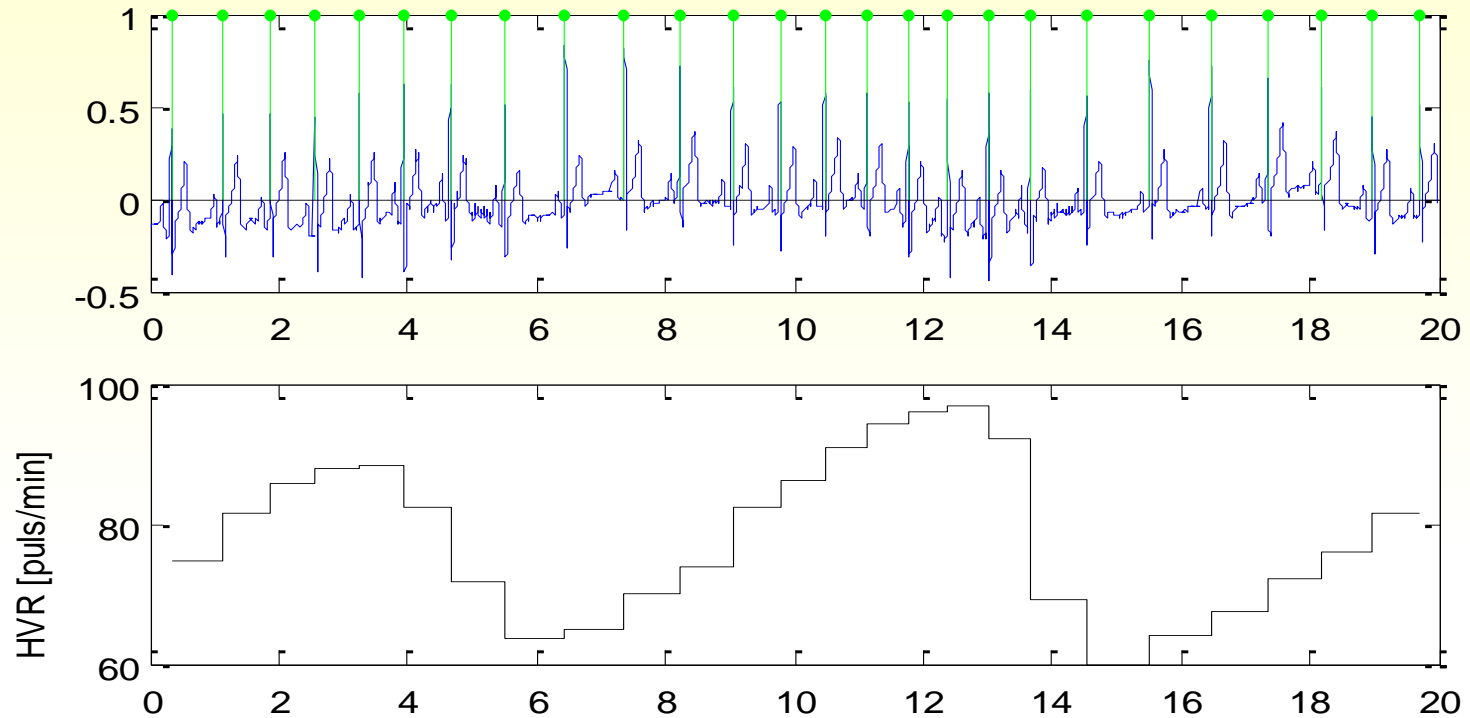
Laboratorní úloha



1.ozva - zelene, 2.ozva - cervene

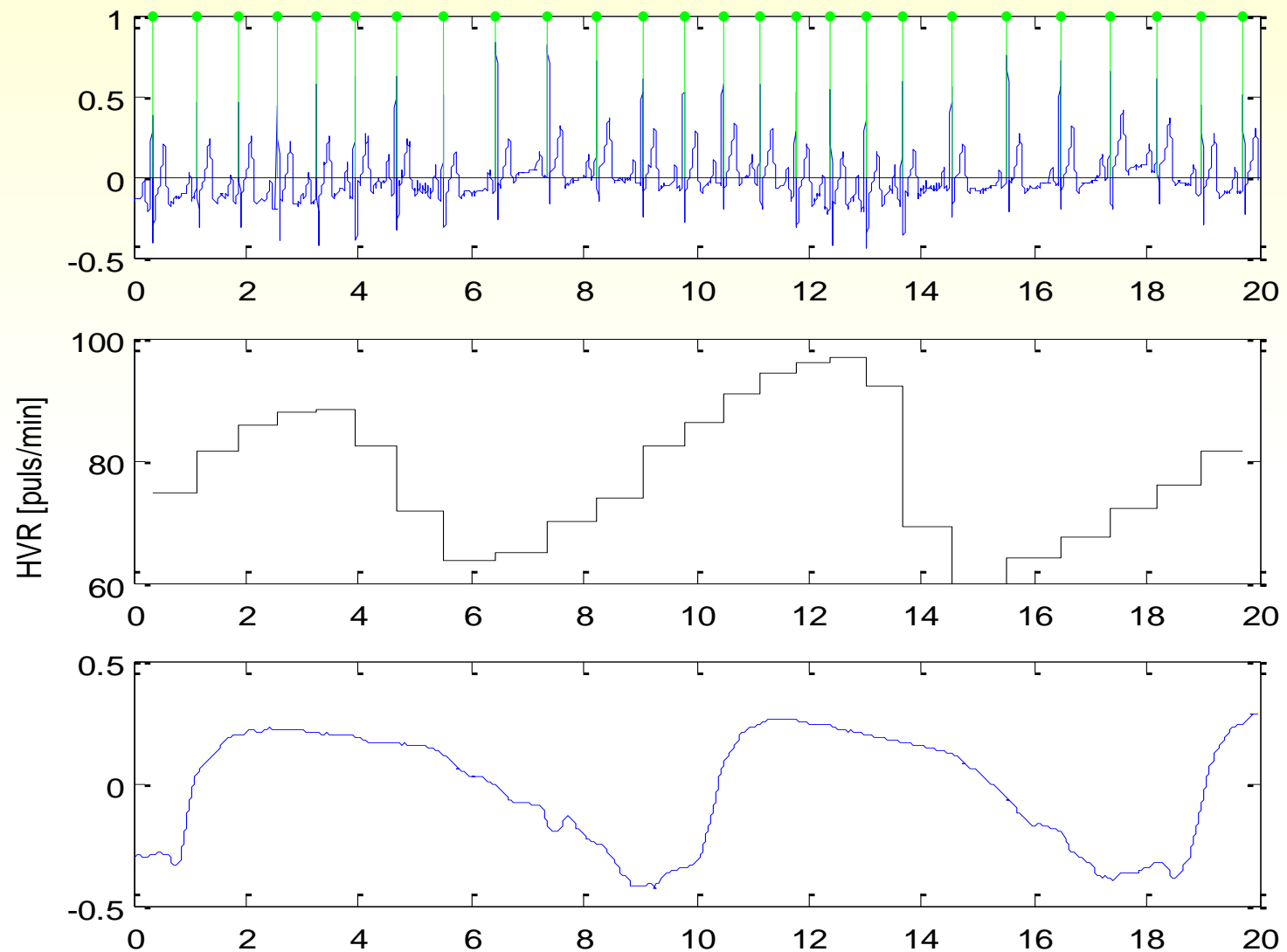


Variabilita srdečního rytmu

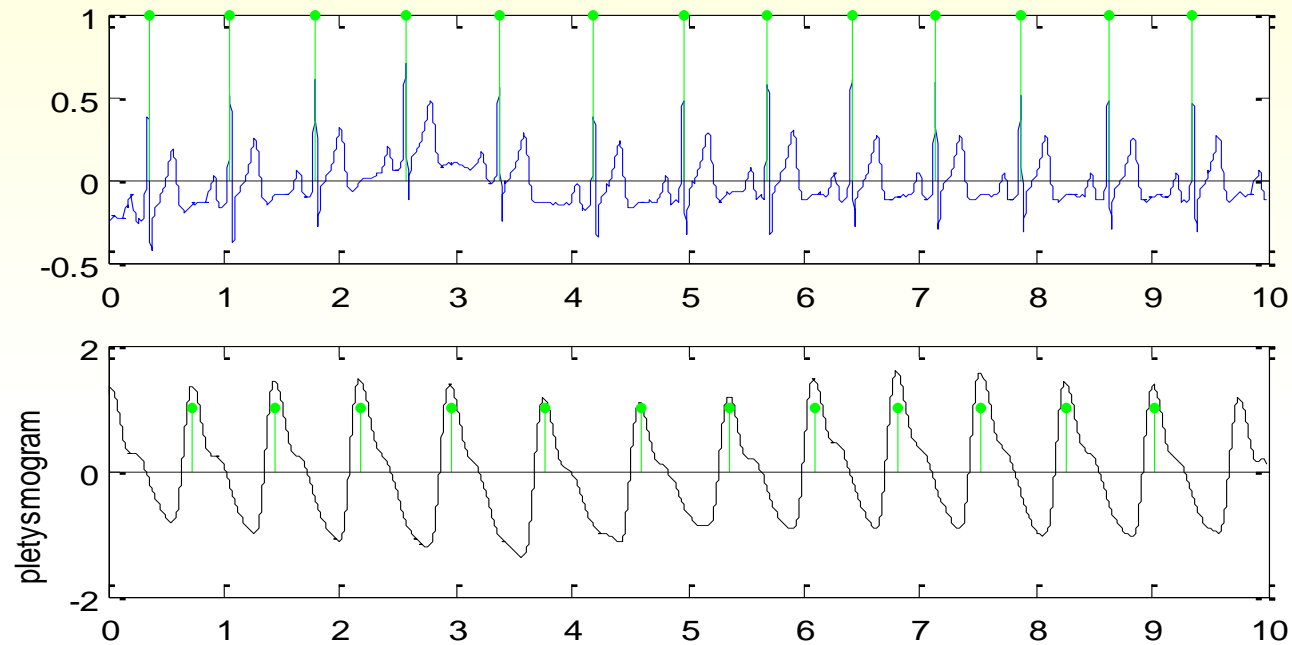


```
dr=diff(r);  
vzda1_vz = [dr;dr(end)];  
stairs(r/fs,60./(vzda1_vz/fs))
```

Variabilita srdečního rytmu

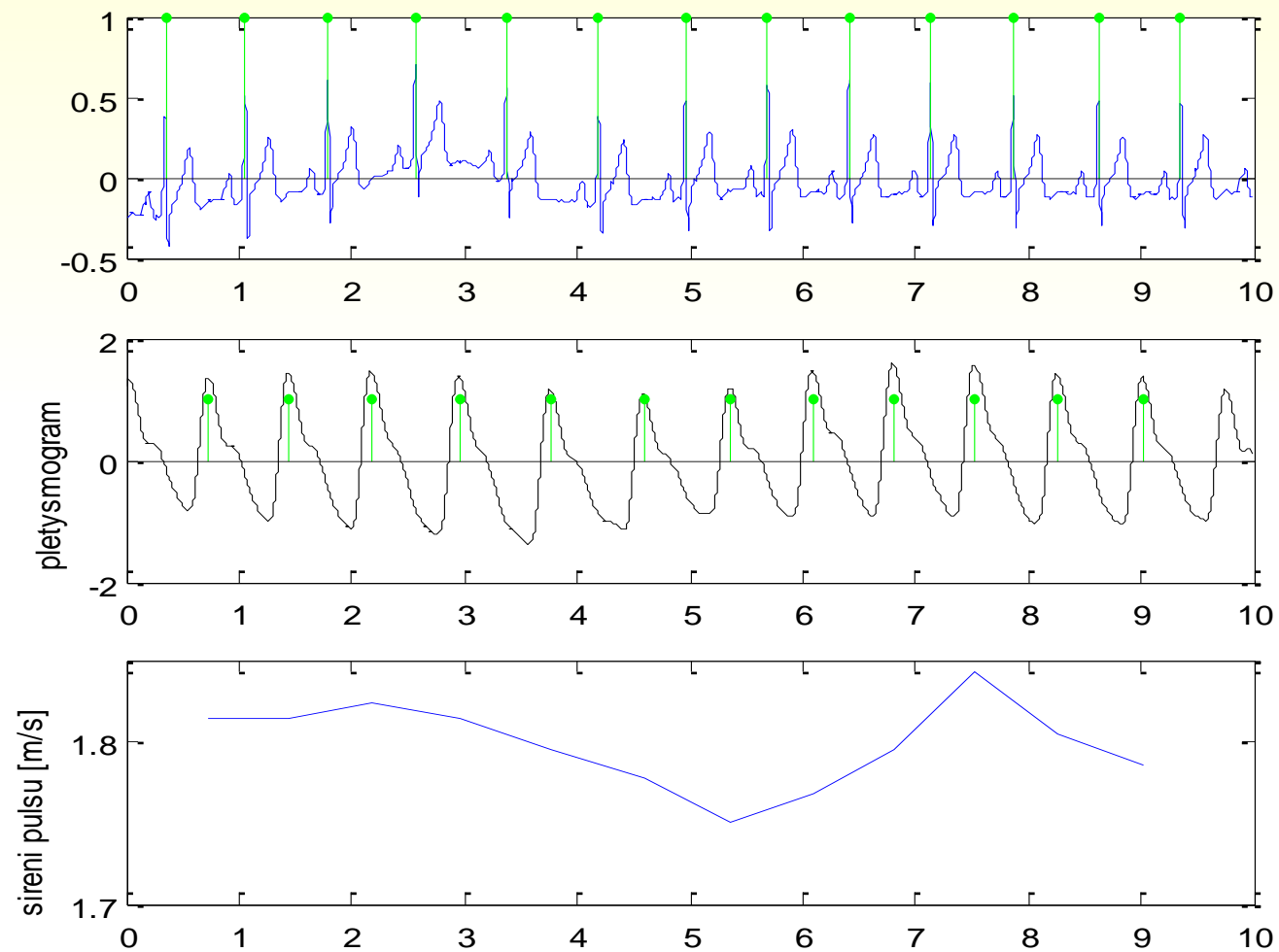


Laboratorní úloha

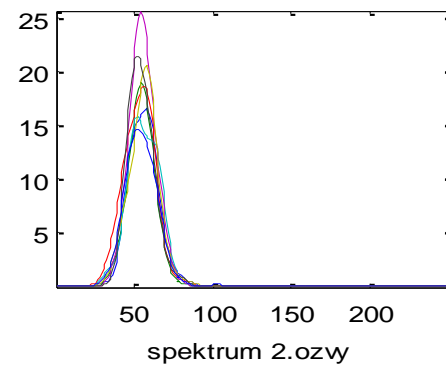
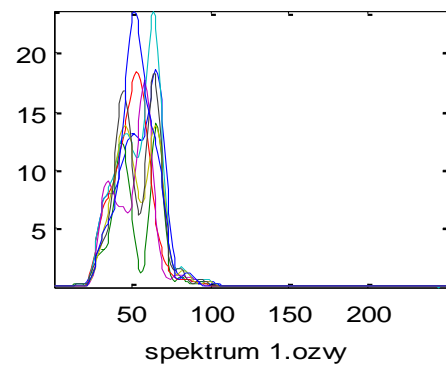
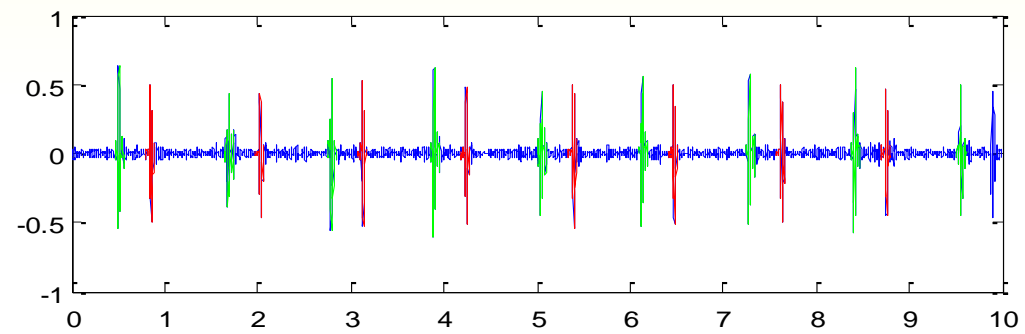
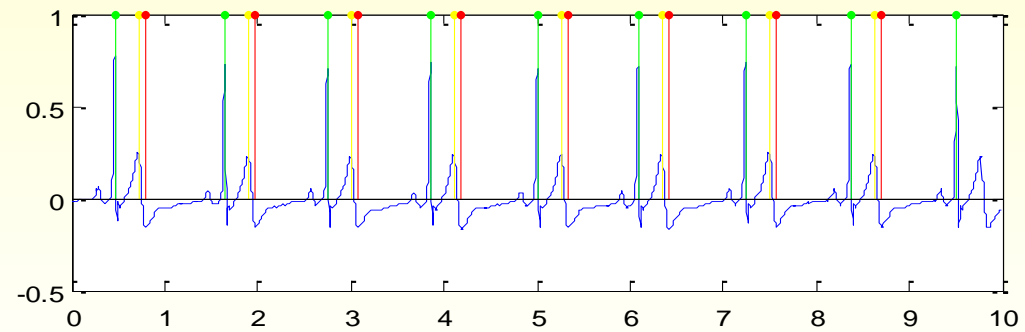


```
for i=1:length(r1)-1
    [m,n(i)]=max(puls(r1(i)+10:r1(i+1)));
end
pv=r1(1:end-1)+10+n'-1;
```

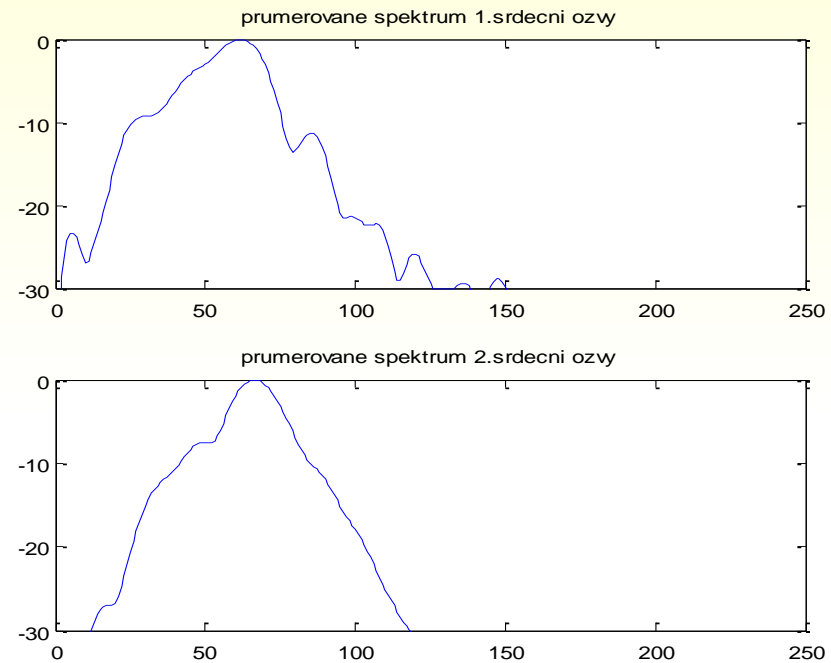
Laboratorní úloha



Laboratorní úloha



Laboratorní úloha



Signál	ozva	1.sp.moment [Hz]	2.sp.moment [Hz]
	I.		
	II.		

Laboratorní úloha

První spektrální moment je dán váhovaným průměrem spektrálních čar I

$$mom_1 = \frac{\sum f \cdot I}{\sum I}$$

kde f je vektor příslušných frekvencí.

Představuje těžiště rozložení energie ve spektru

```
sp = (mean(abs(ozva11(:, 2:250)).^2));
```

```
f = [1:length(sp)] * fs / length(sp) / 2;  
mom_1 = sum(f .* sp) / sum(sp)
```

Laboratorní úloha

První spektrální moment je dán váhovaným průměrem spektrálních čar \mathbf{I}

$$mom_1 = \frac{\sum \mathbf{f} \cdot \mathbf{I}}{\sum \mathbf{I}}$$

kde \mathbf{f} je vektor příslušných frekvencí.

Představuje těžiště rozložení energie ve spektru

Druhý spektrální moment je analogický statistickému rozptylu a je indikátorem rozprostření spektra

$$mom_2 = \sqrt{\frac{\sum \mathbf{f}^2 \cdot \mathbf{I}}{\sum \mathbf{I}} - \left(\frac{\sum \mathbf{f} \cdot \mathbf{I}}{\sum \mathbf{I}} \right)^2}$$

Vyšší hodnotu druhého spektrálního momentu mají ty ozvy, jejichž energie je více rozprostřena přes celé spektrum

$$mom_2 = \text{sqrt}(\text{sum}(\mathbf{f}.^2) \cdot \text{sp}) / \text{sum}(\text{sp}) - mom_1.^2)$$