

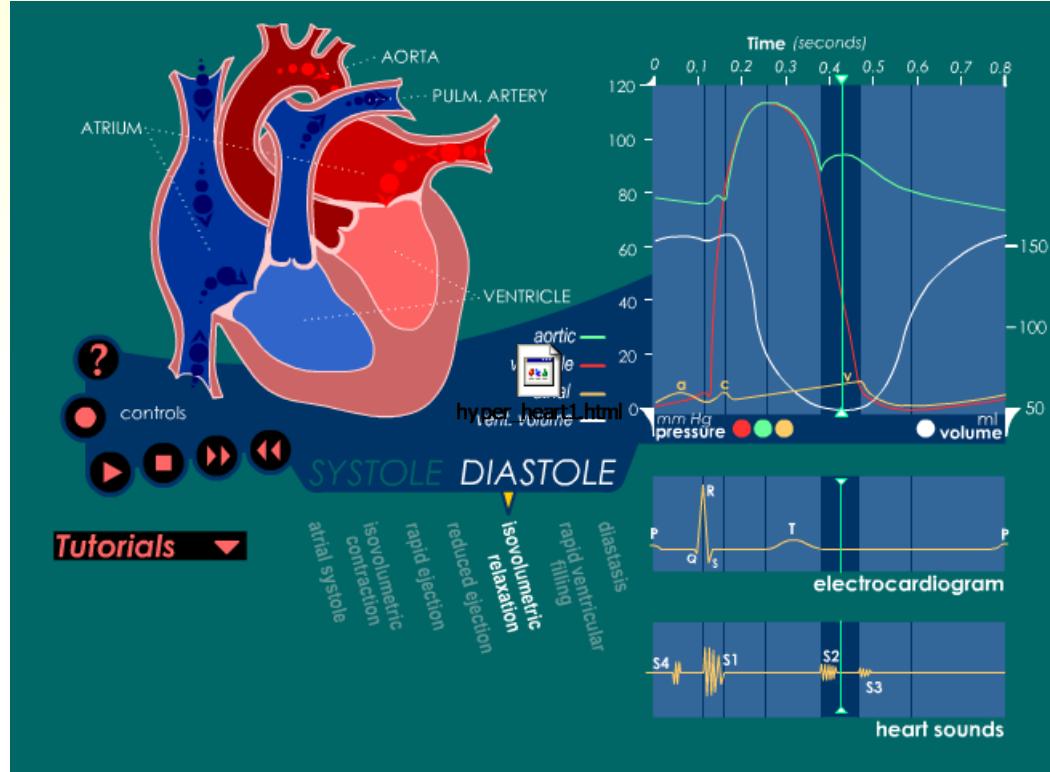
# **6. PŘEDNÁŠKA – SIGNÁLY SRDCE 3**

- **Akustické signály srdce**
  - srdeční chlopňe
  - srdeční ozvy
  - fonokardiogram
- **Mechanické signály srdce**
  - pulsní vlna
  - pletysmogram
- **Variabilita srdeční frekvence**
  - autonomní nervový systém
  - metody v časové oblasti
  - metody ve frekvenční oblasti
  - nelineární metody

# Fonokardiogram

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

# Ozvy – animace



[https://library.med.utah.edu/kw/pharm/hyper\\_heart1.html](https://library.med.utah.edu/kw/pharm/hyper_heart1.html)

# Fonendoskop

France 1846

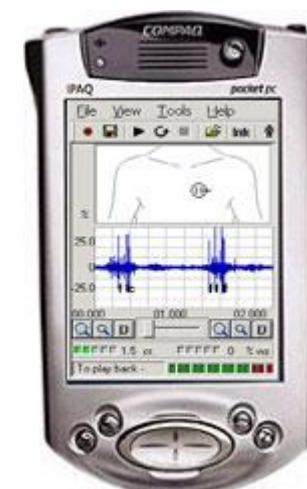
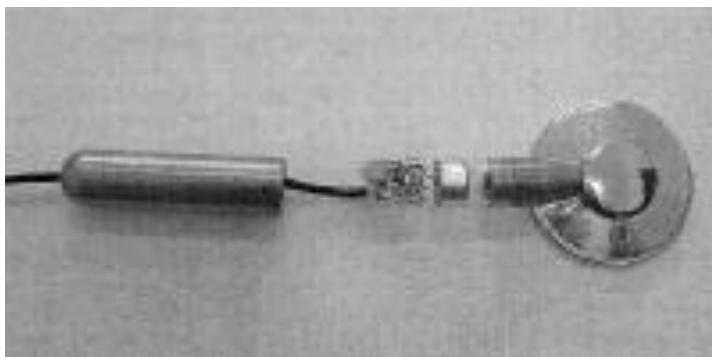


# Moderní fonokardiogramy

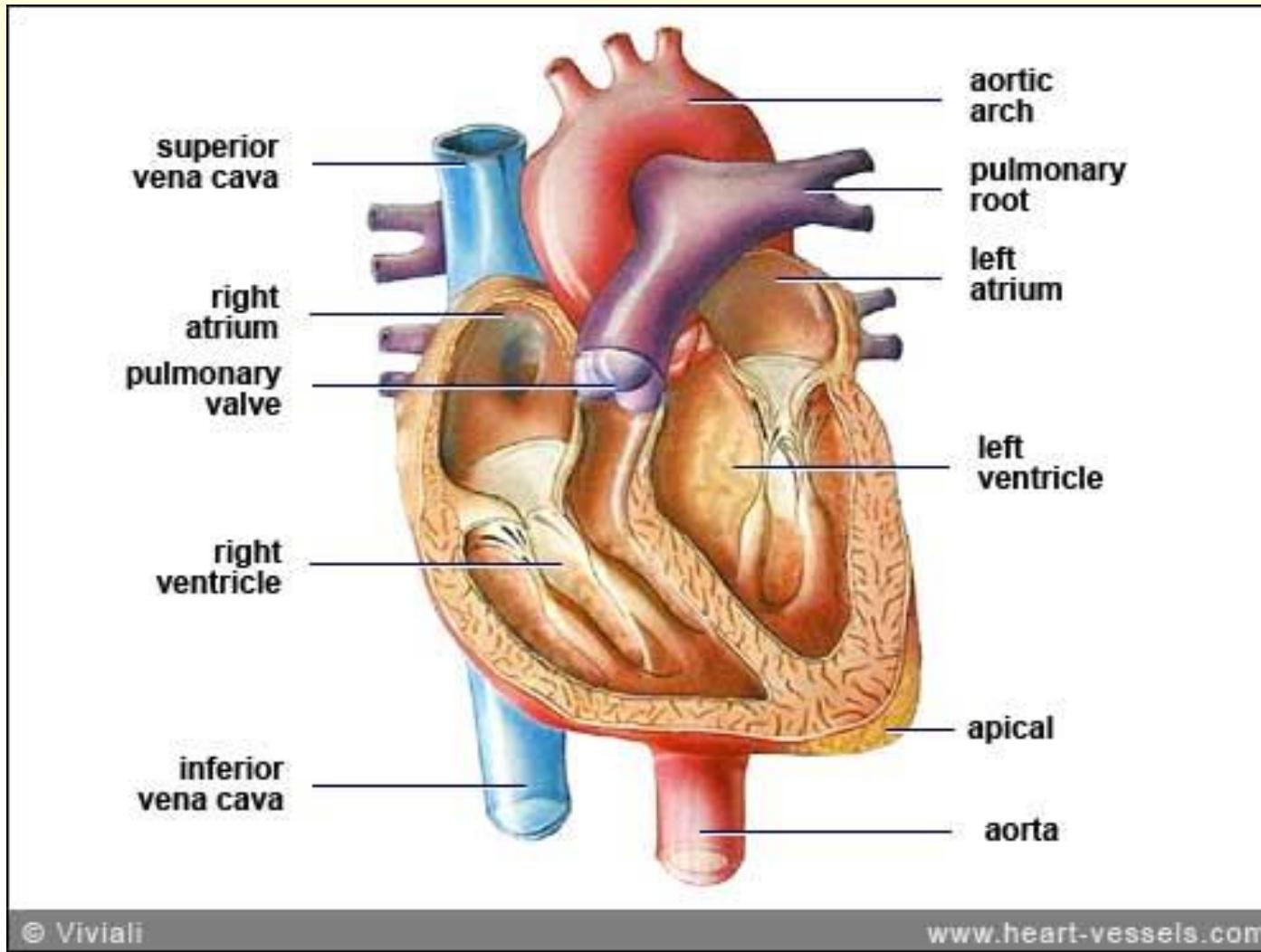


# Fonokardiogram

- **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.

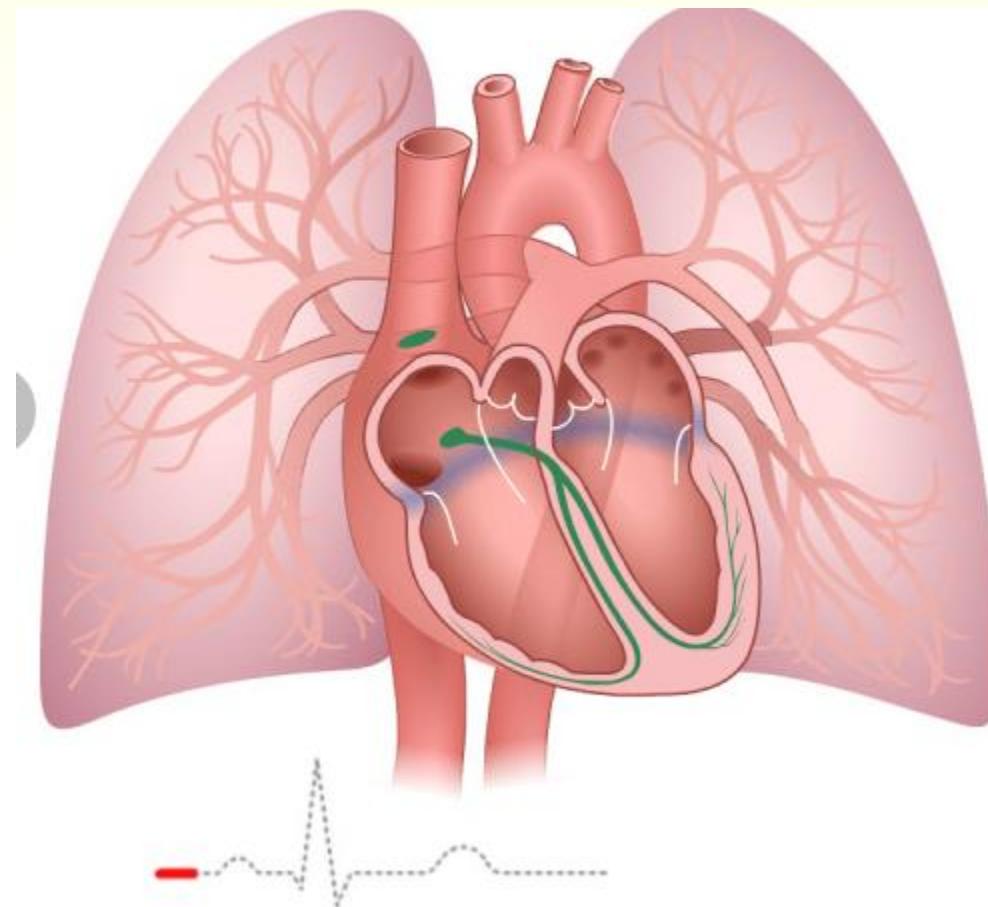


# Fonokardiogram



# Ozvy – animace

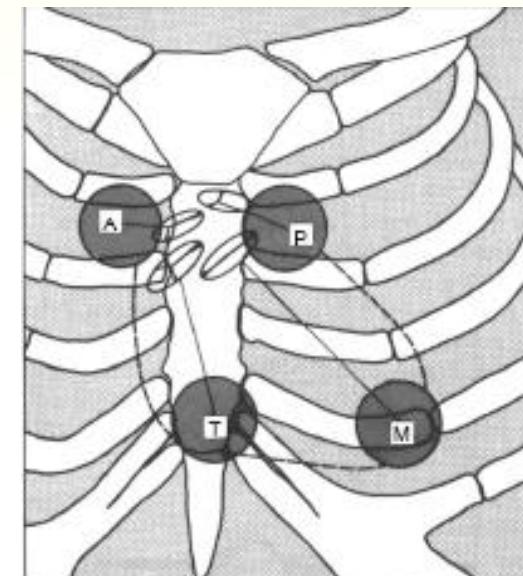
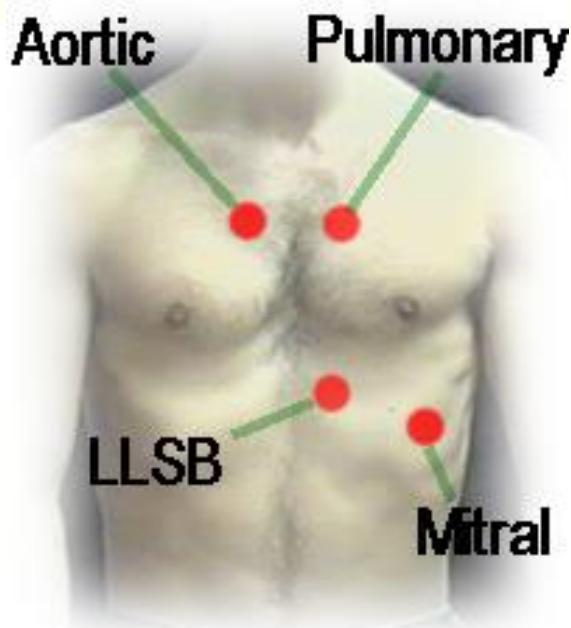
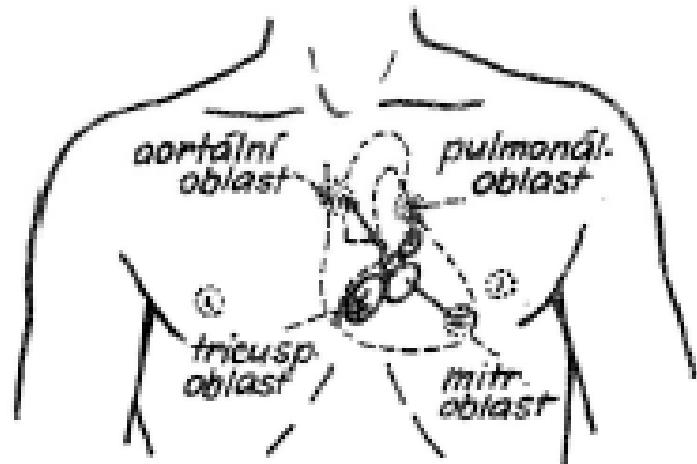
[http://pie.med.utoronto.ca/heart\\_physiology/module/ecg.html](http://pie.med.utoronto.ca/heart_physiology/module/ecg.html)



# Fonokardiogram

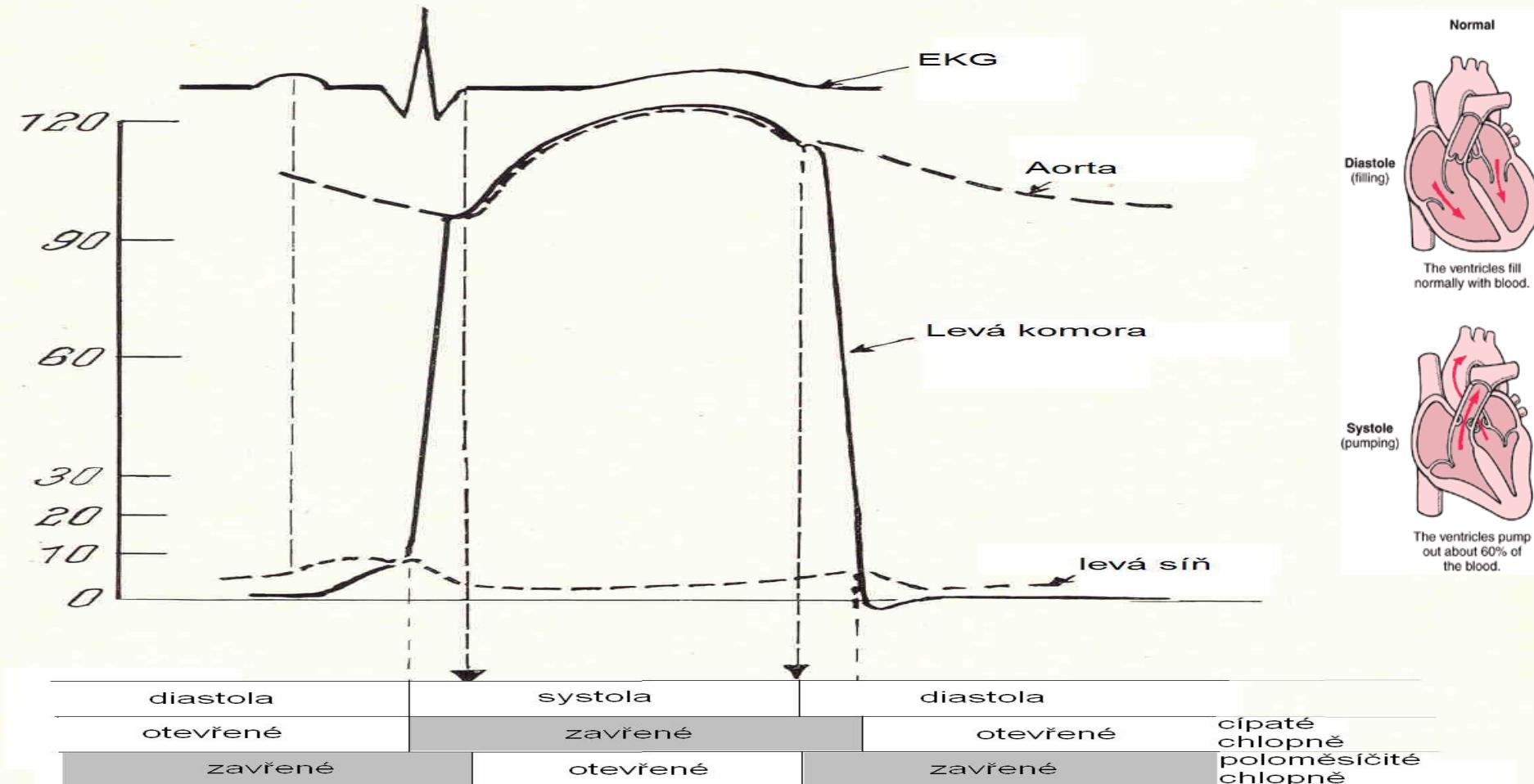
snímací místa

poslechová místa srdečních ozev

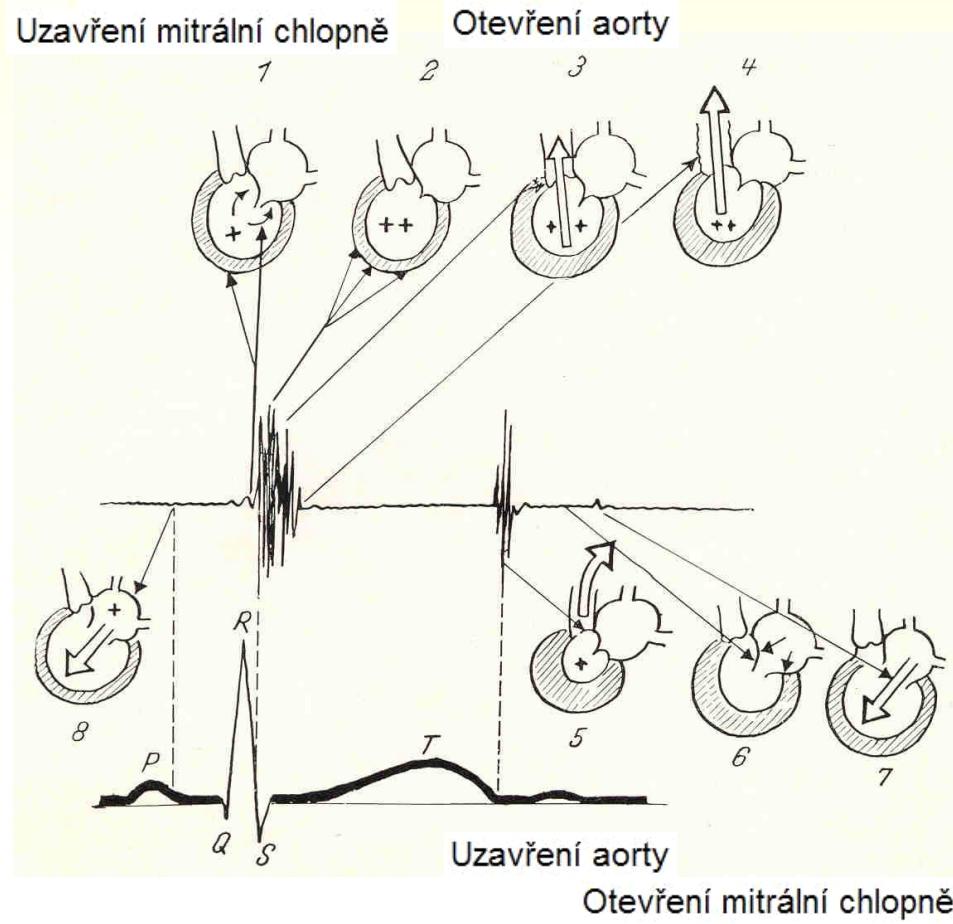
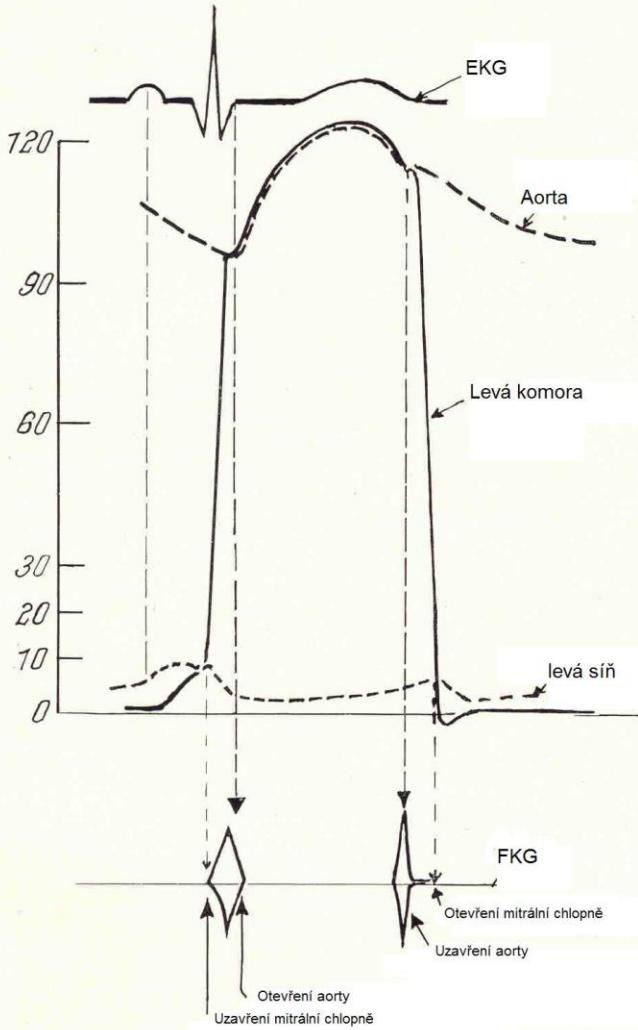


**srdeční ozvy** – ohraničené krátce trvající  
zvuky vyvolané standardní činností myokardu

# Vzájemný vztah EKG signálu, tlaku v aortě a srdečních ozev



# Vzájemný vztah EKG signálu, tlaku v aortě a srdečních ozev



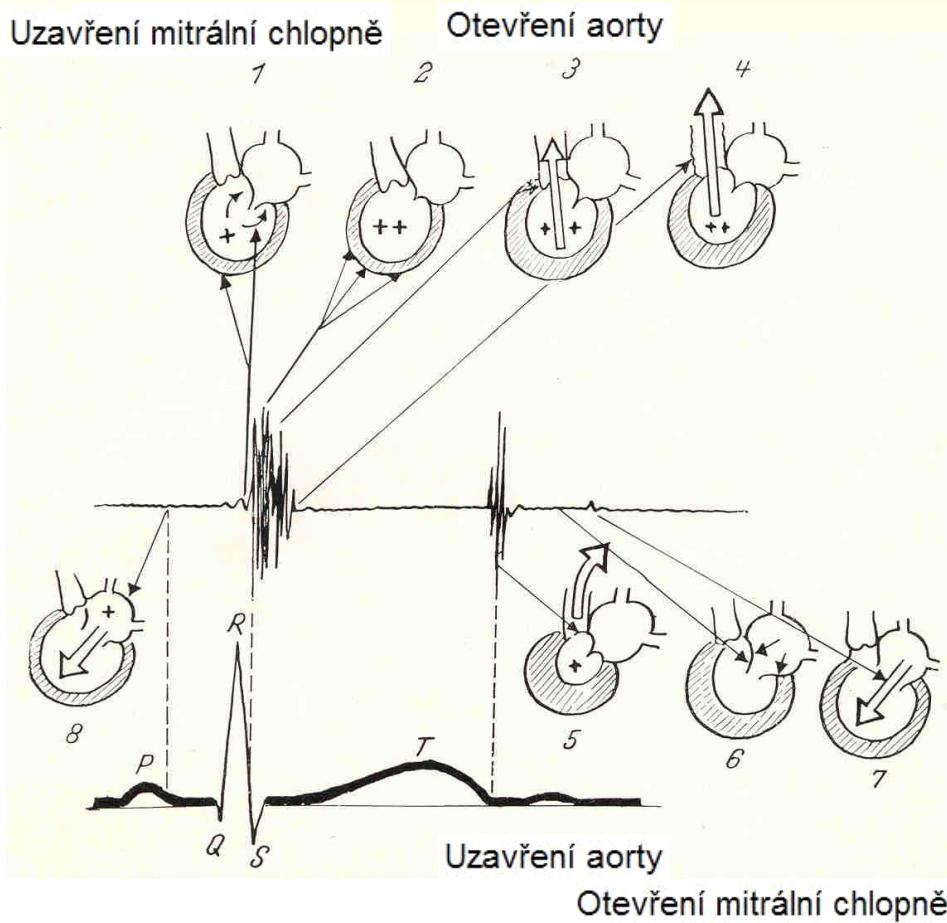
# Fonokardiogram - I. ozva

## 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



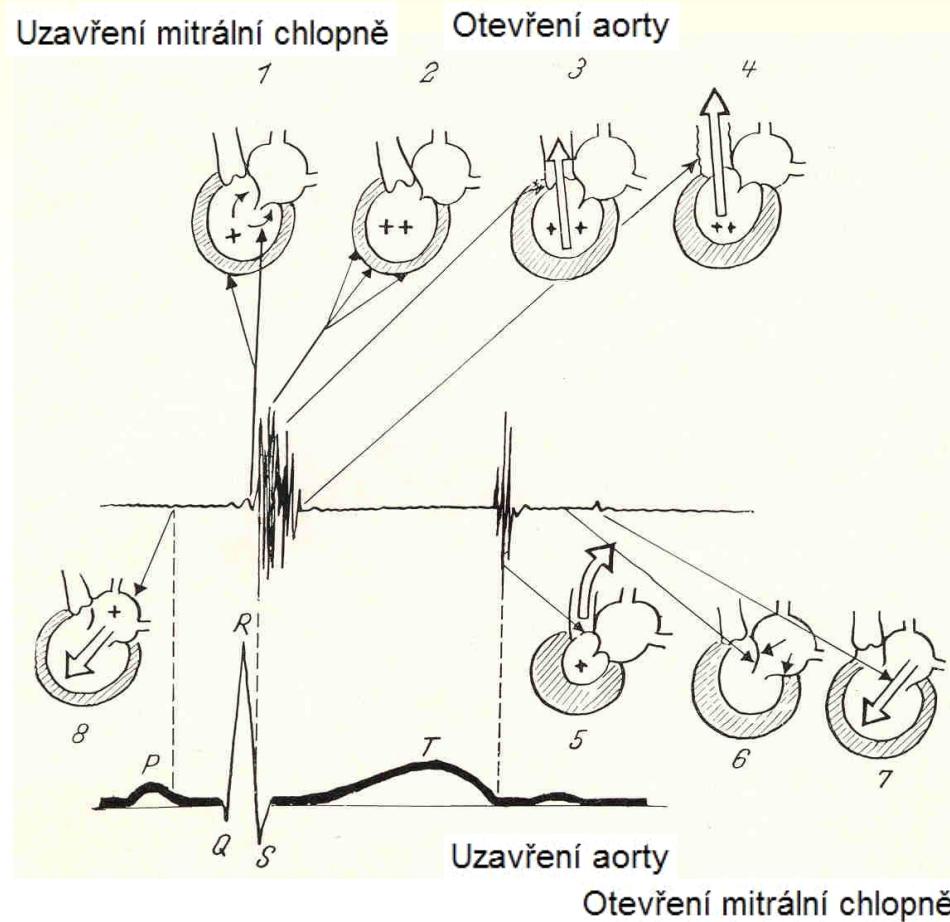
# Fonokardiogram - II. ozva

## II. ozva (diastolická)

- způsobena uzavřením poloměsíčitých chlopní na začátku diastoly
- intenzita kolísá s výší 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:

1. Aortální a pulmonální
2. Mitrální a trikuspidální



# Fonokardiogram – III. a IV. ozva

## III. a IV. ozva

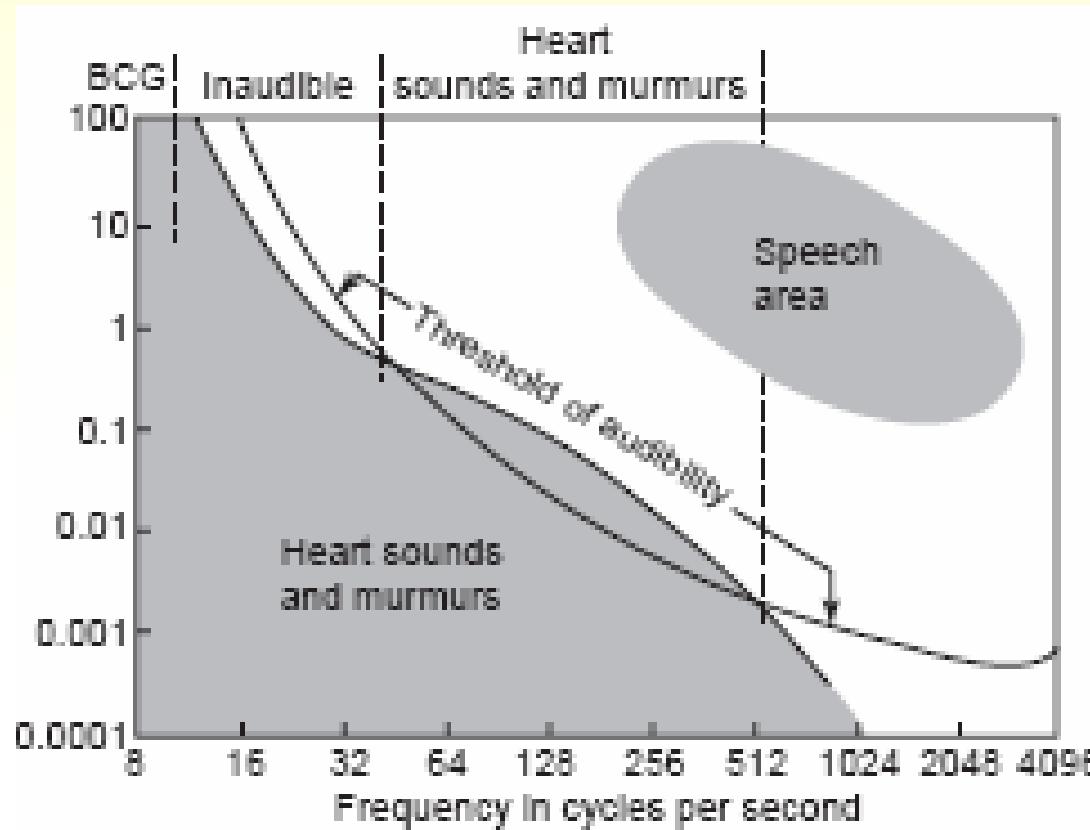
- obtížně slyšitelné,  
registrovatelné pouze na fonokardiogramu
- významně nižší úroveň signálu
- pásmo 10 až 40 (70) Hz
- **III. ozva** během během vlny U  
(konec rychlého plnění komory)
- **IV. ozva** těsně před komplexem QRS  
(splývá s I. ozvou)

# Fonokardiogram - šelesty

## Srdeční šelesty

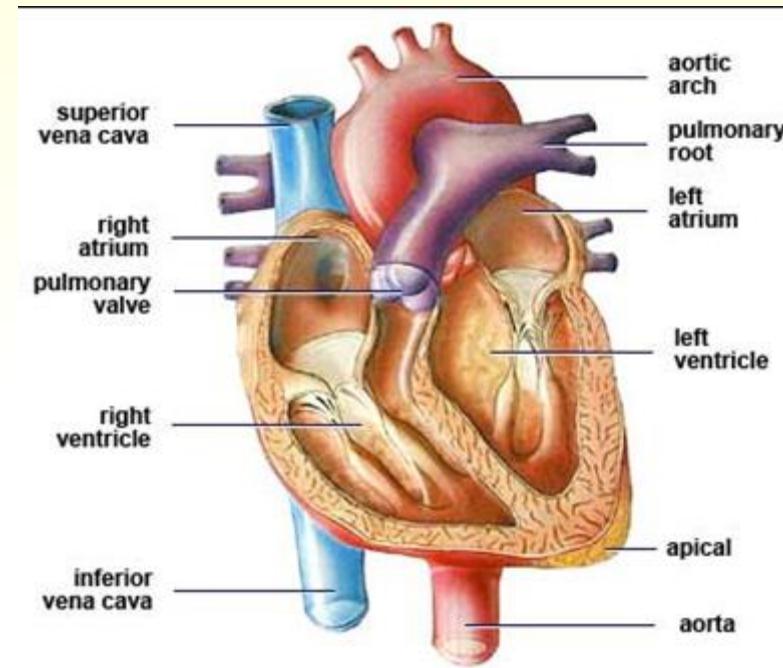
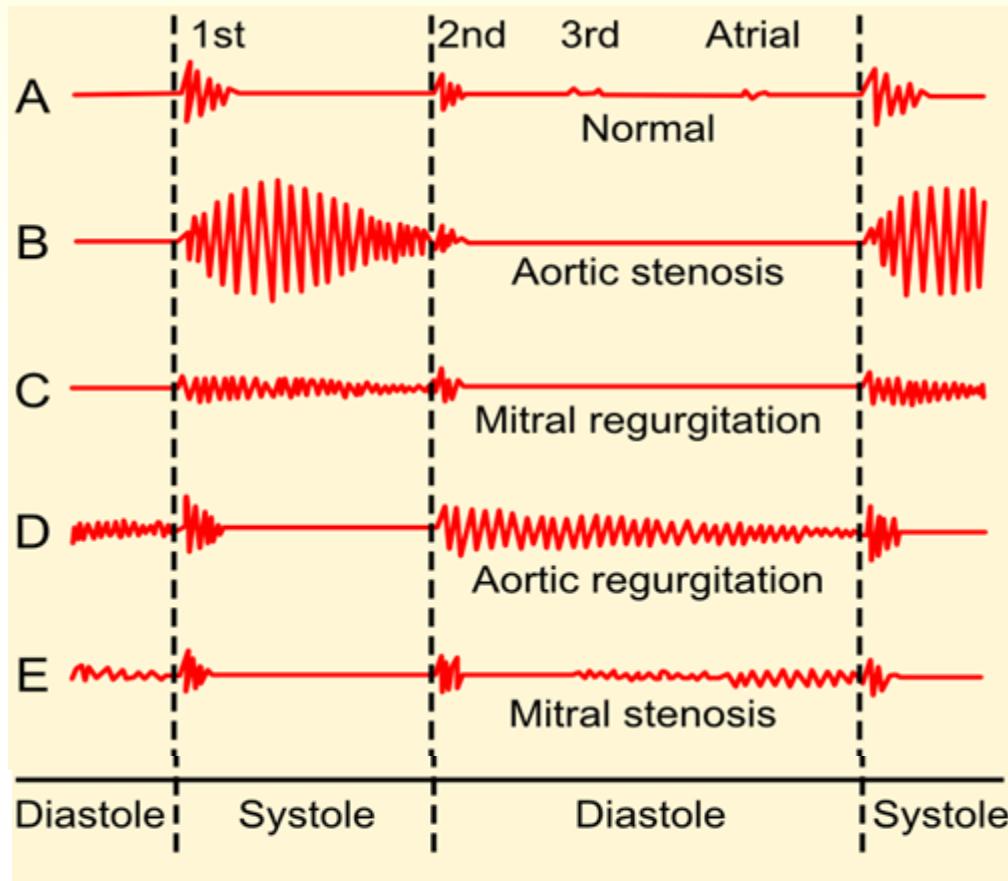
- vznikají jako důsledek víření krve;  
trvají déle než normální ozvy
- **patologické** (chlopňové vady)  
charakter je typický pro různé druhy srdečních vad
- **fyziologické**
  - nitrosrdeční a nitrocévní  
(zrychlení krevního toku u mladých osob)
  - mimosrdeční (srdečně plicní, osrdečníkové)  
vznikají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

# Fonokardiogram

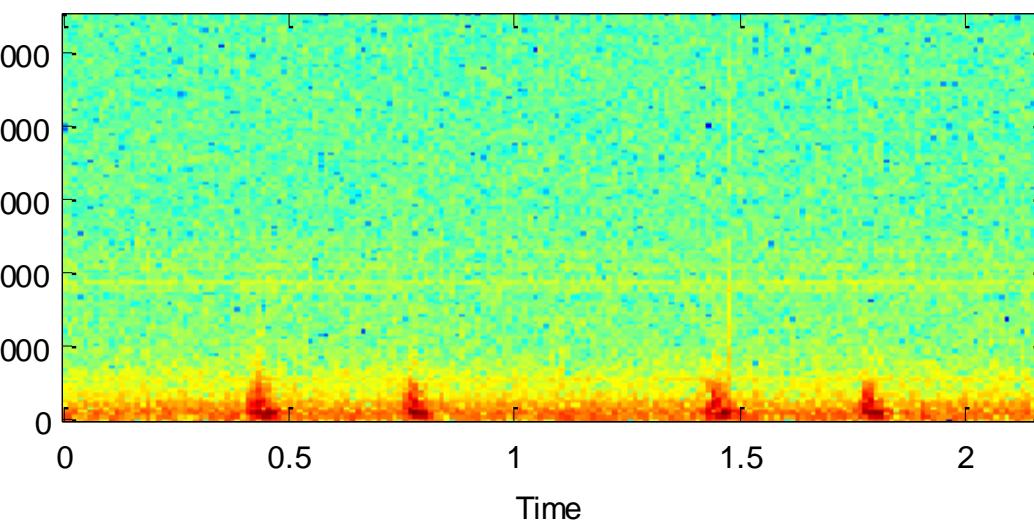
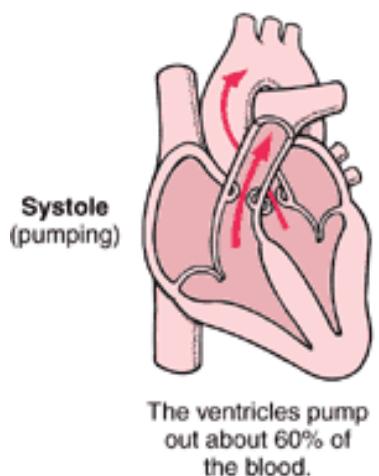
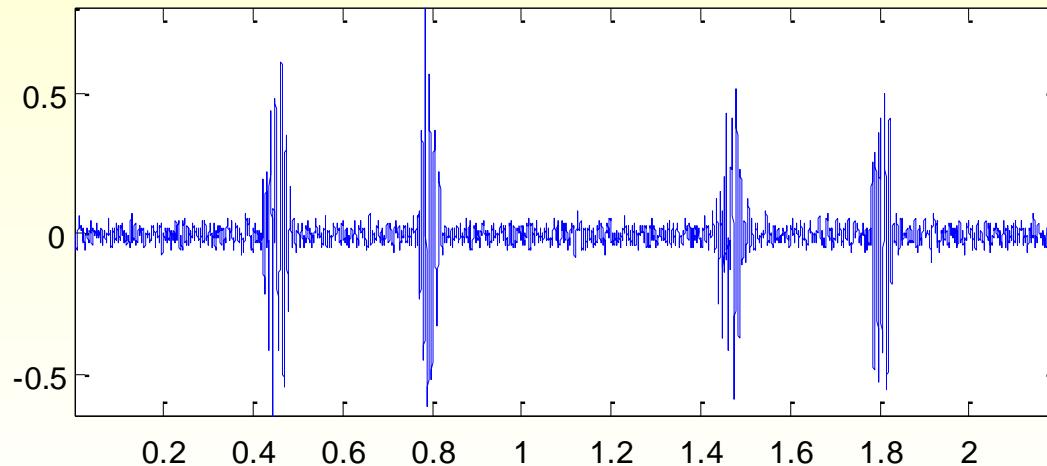
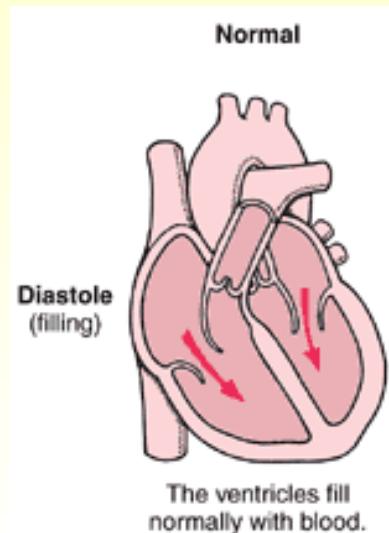


- Intenzita srdečních ozev a šelestů ve vztahu k prahu slyšitelnosti a k řeči

# Fonokardiogram

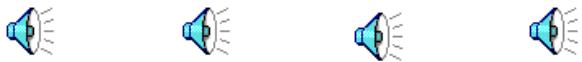
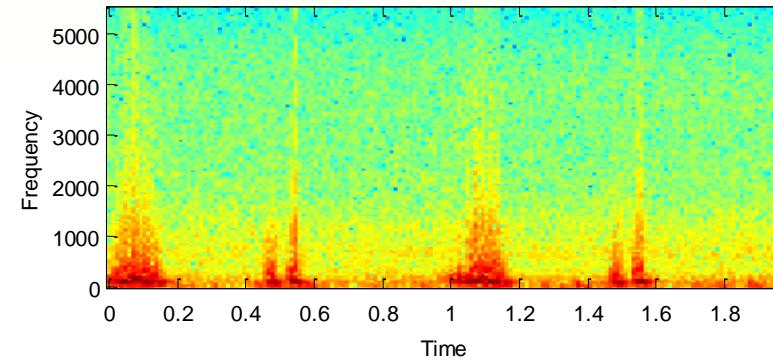
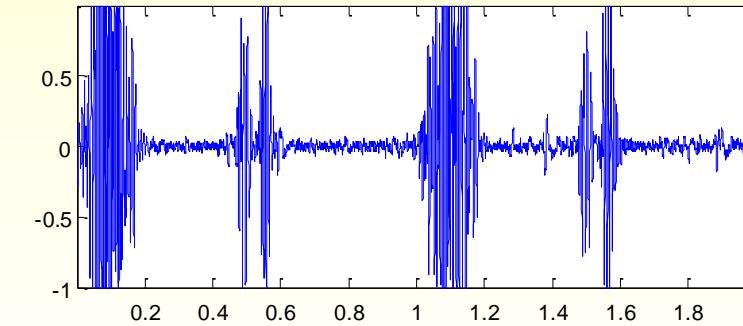
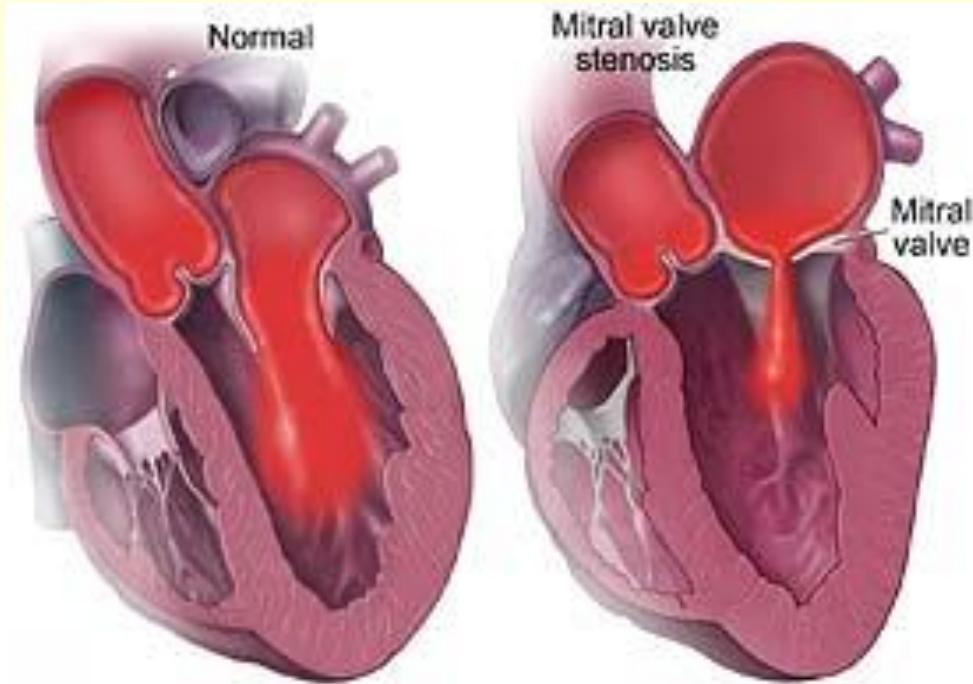


# Normální



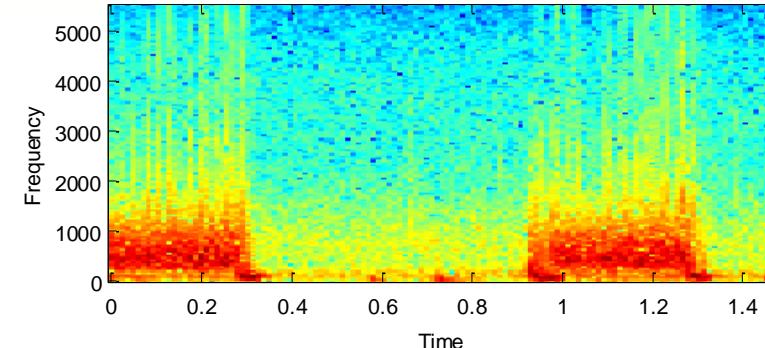
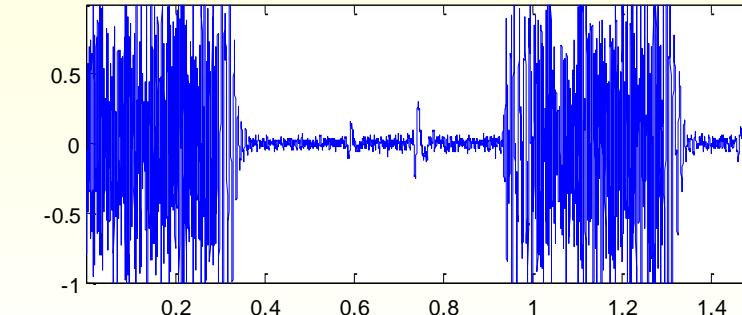
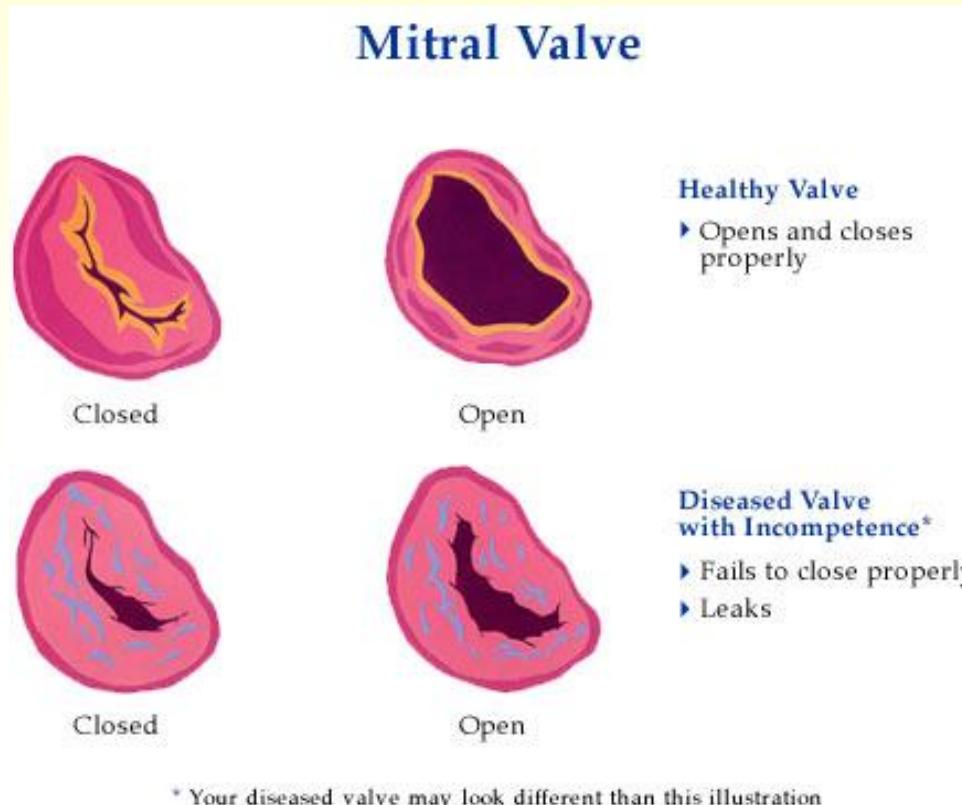
Normální srdeční ozvy

# Mitrální stenóza

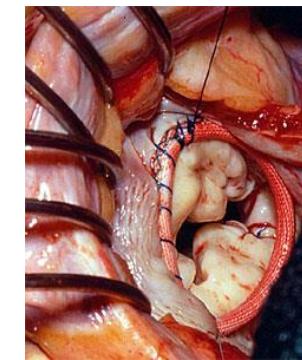


Zesílená první ozva zní klapavě

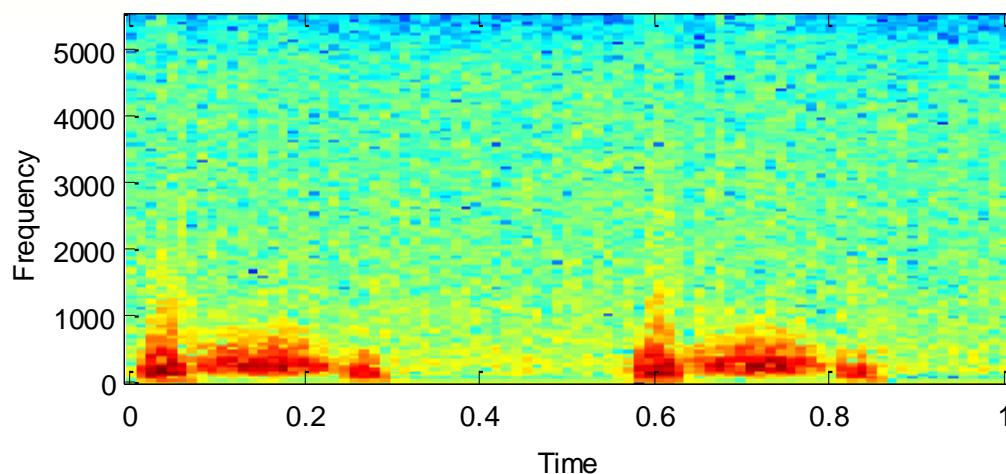
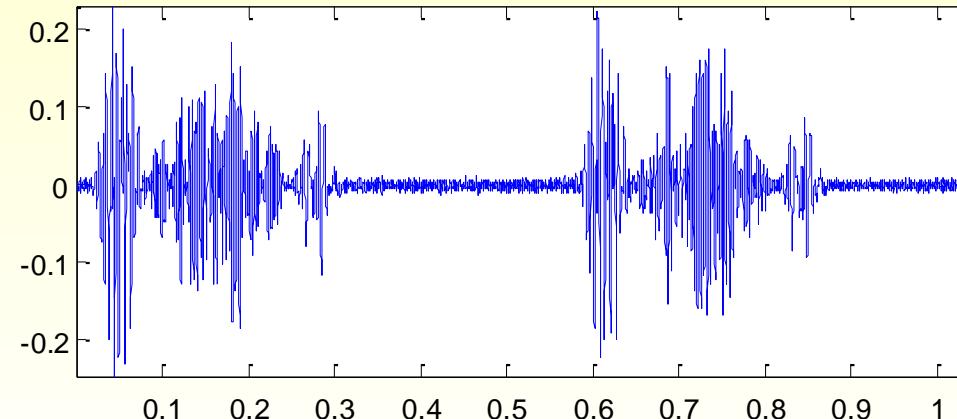
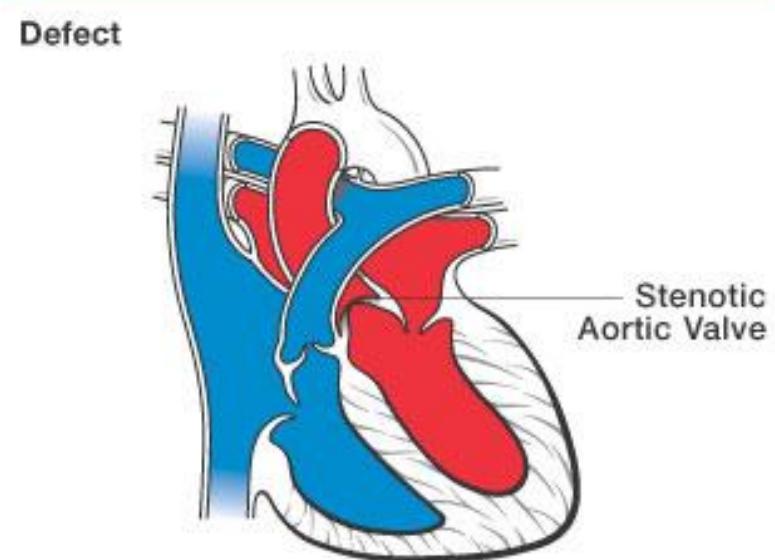
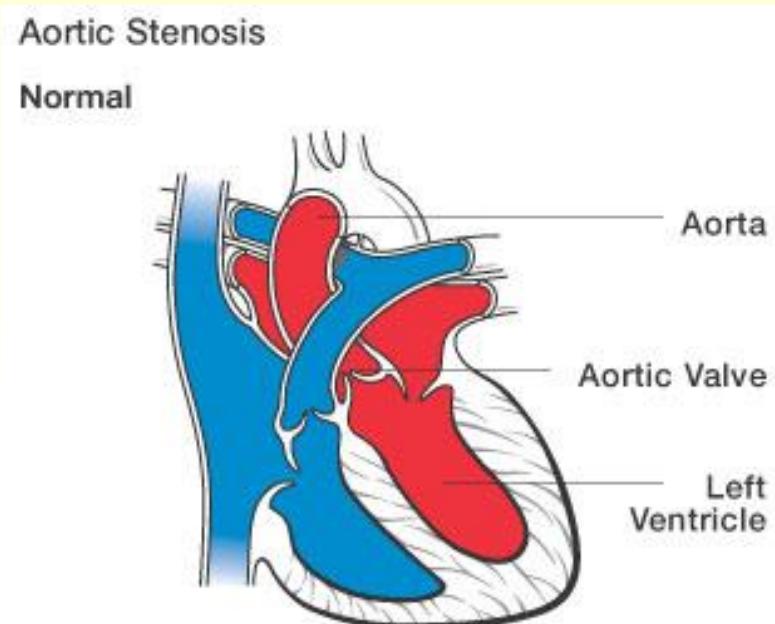
# Mitrální regurgitace



Systolický šelesť

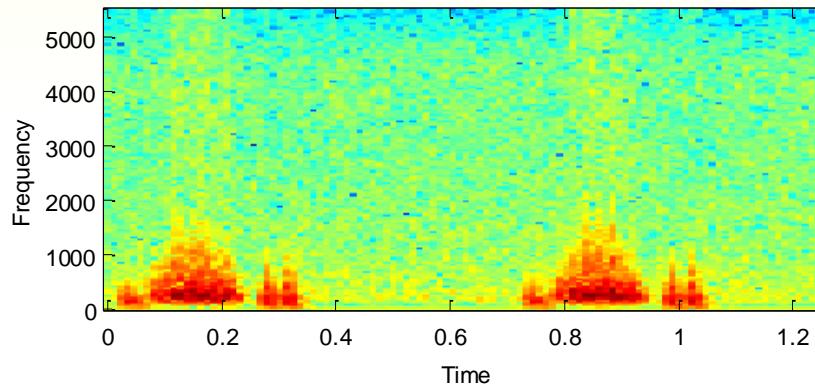
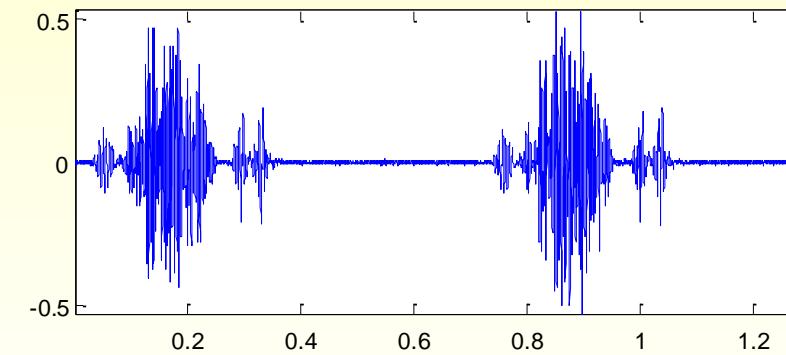
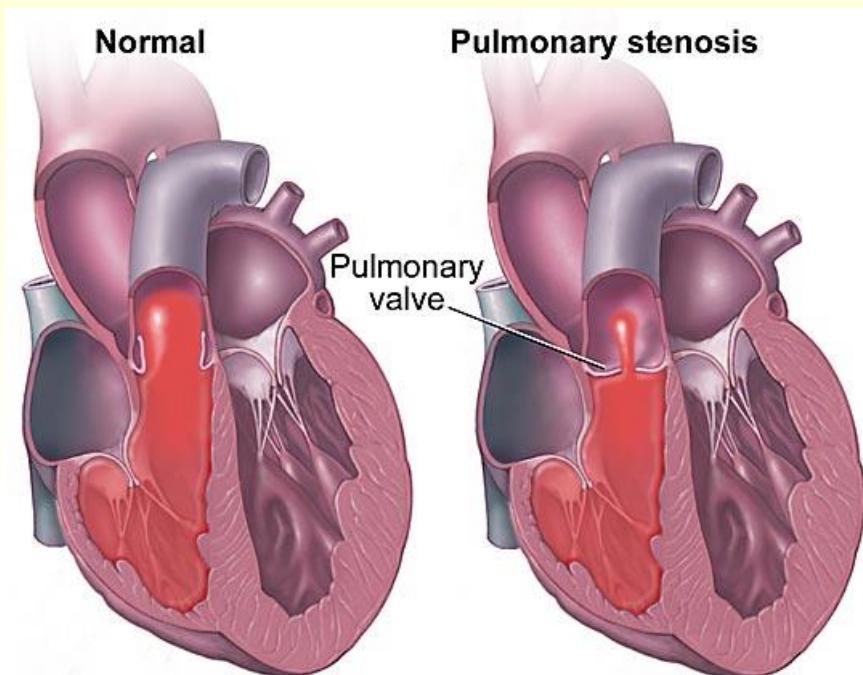


# Aortální stenóza



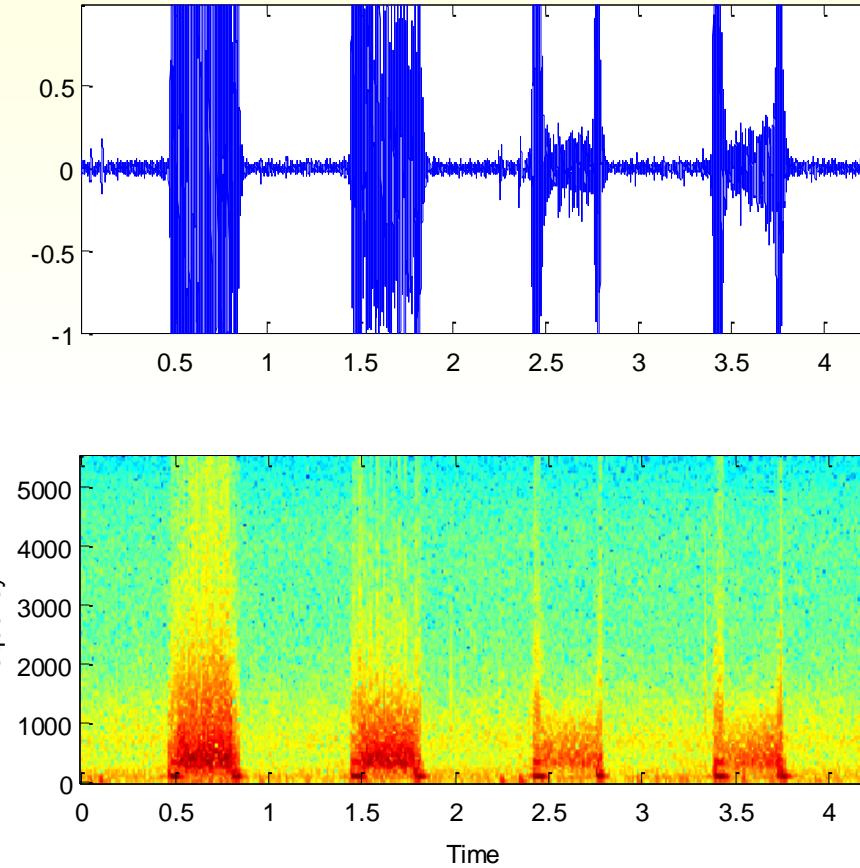
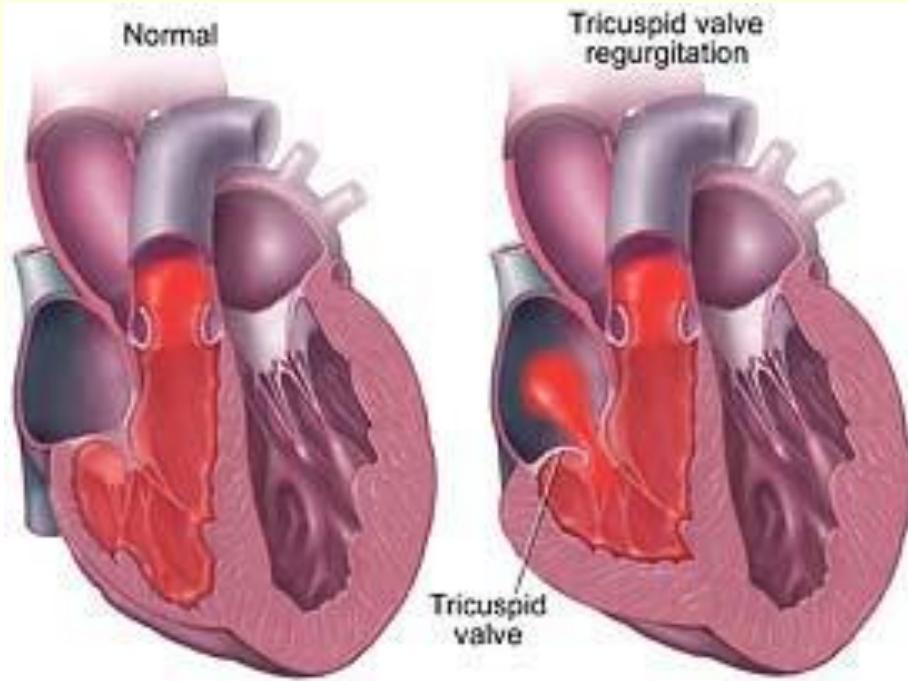
Otevření aorty, časné systolické ozvy

# Pulmonální stenóza



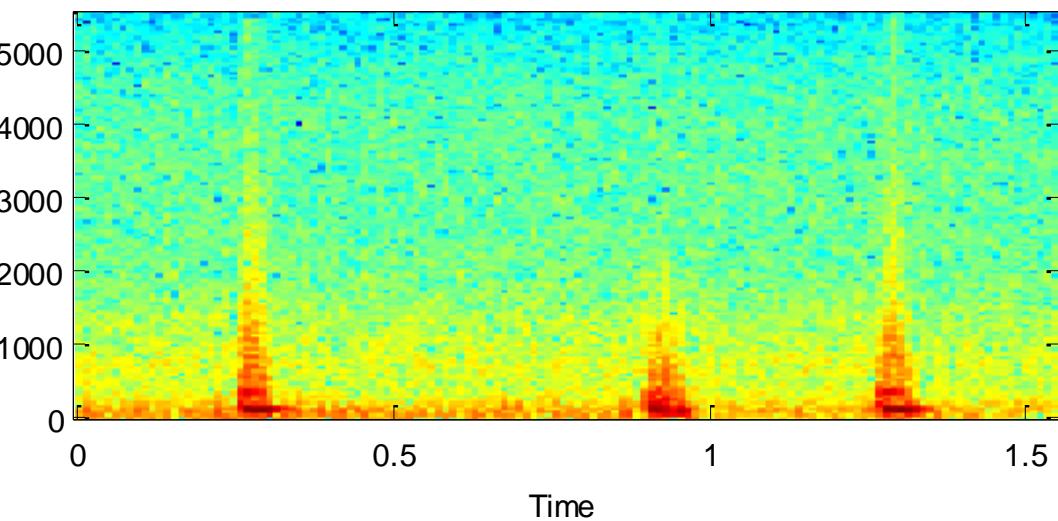
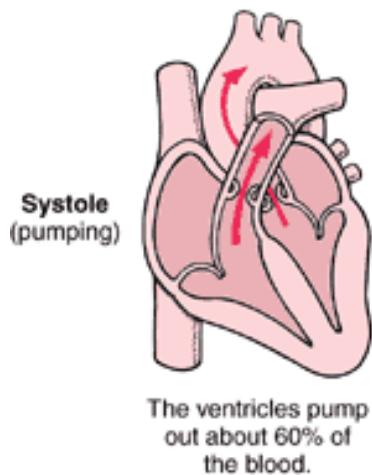
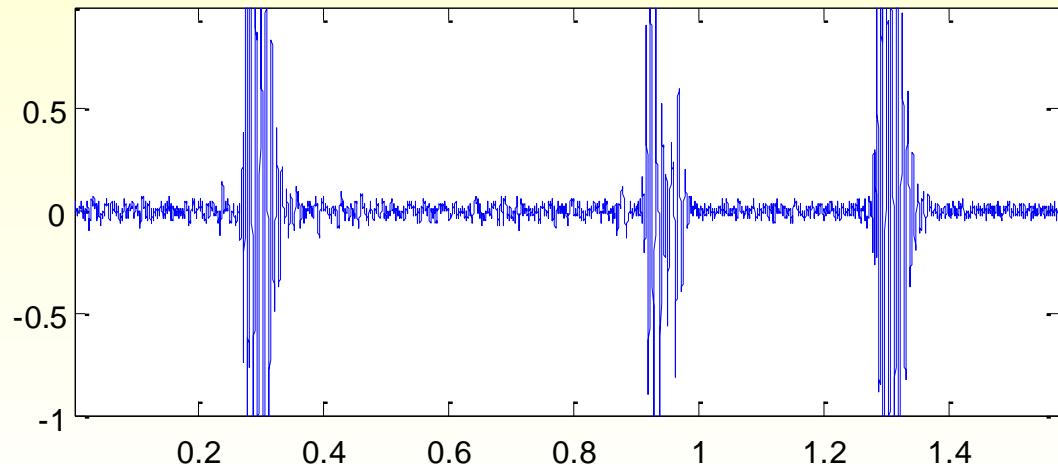
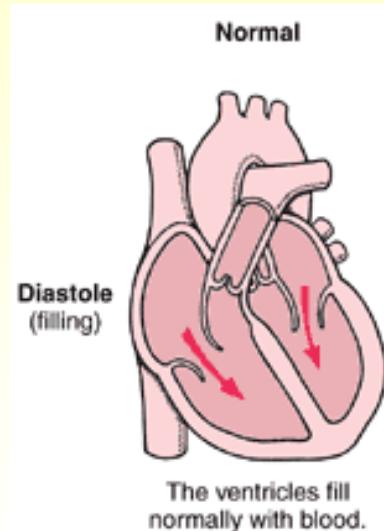
Systolický šelest

# Trikuspidální nedomykavost



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

# Systémová hypertenze



Zesílená druhá ozva

# Zpracování FKG

**PCG signál** – nestacionární a skládá se z krátkých přechodných jevů s měnící se frekvencí

**Segmentace** pomocí EKG nebo PPG

**Časově frekvenční analýzy:**

- spektrogramy
- parametrické metody AR(2) spektra
- vlnková transformace

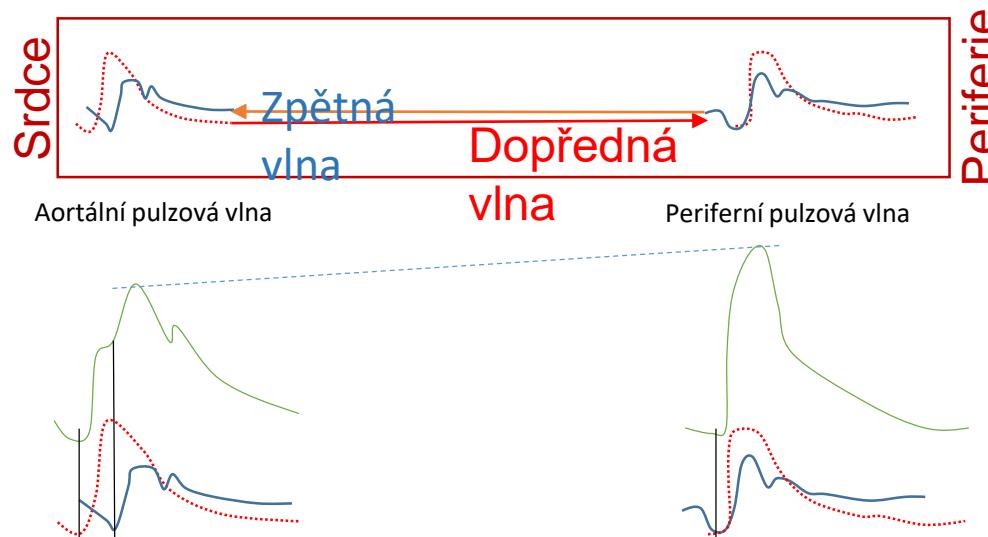
# Pletysmogram

- Pletysmogram
  - pulsní vlna
  - charakteristiky pulsní vlny

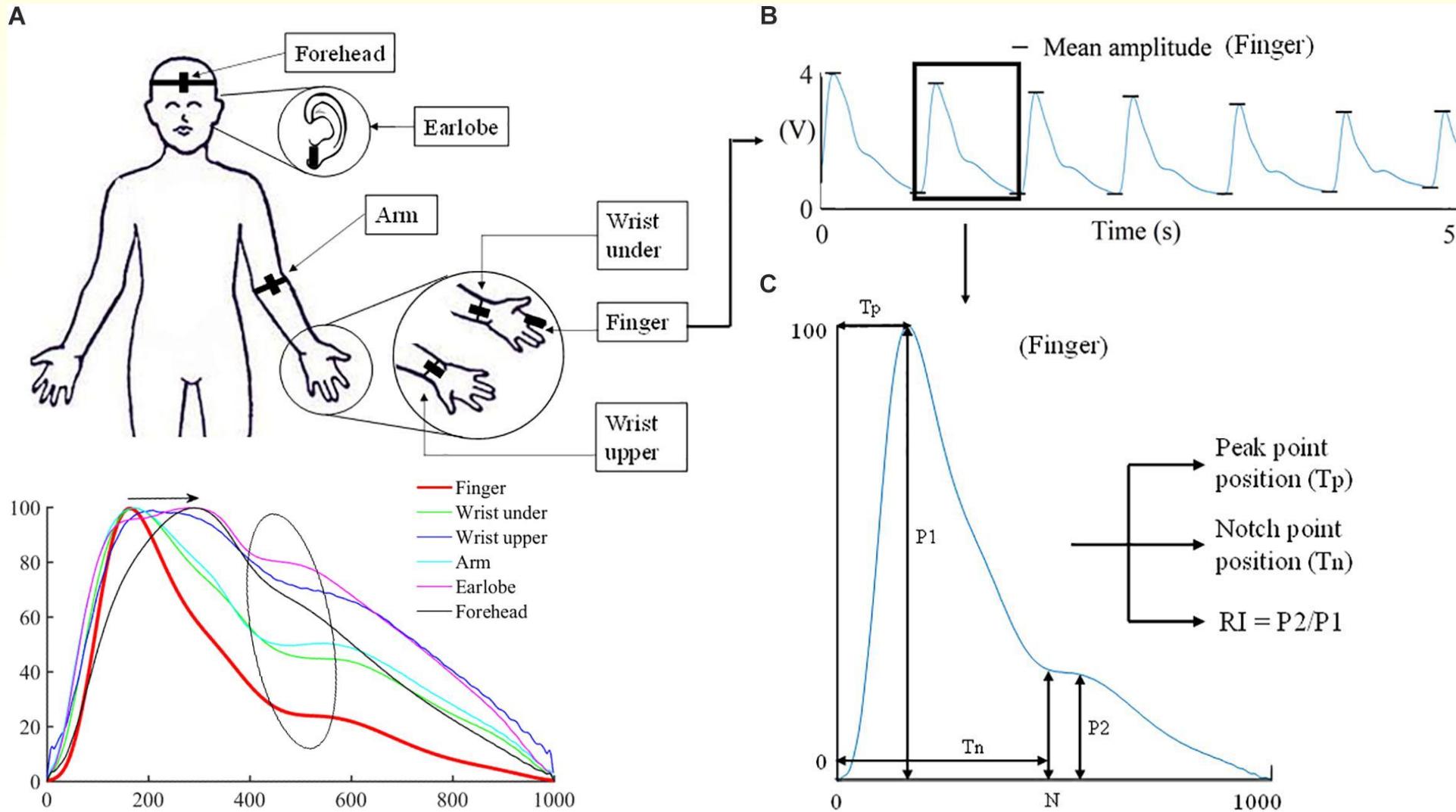
# Pulzní vlna

- **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

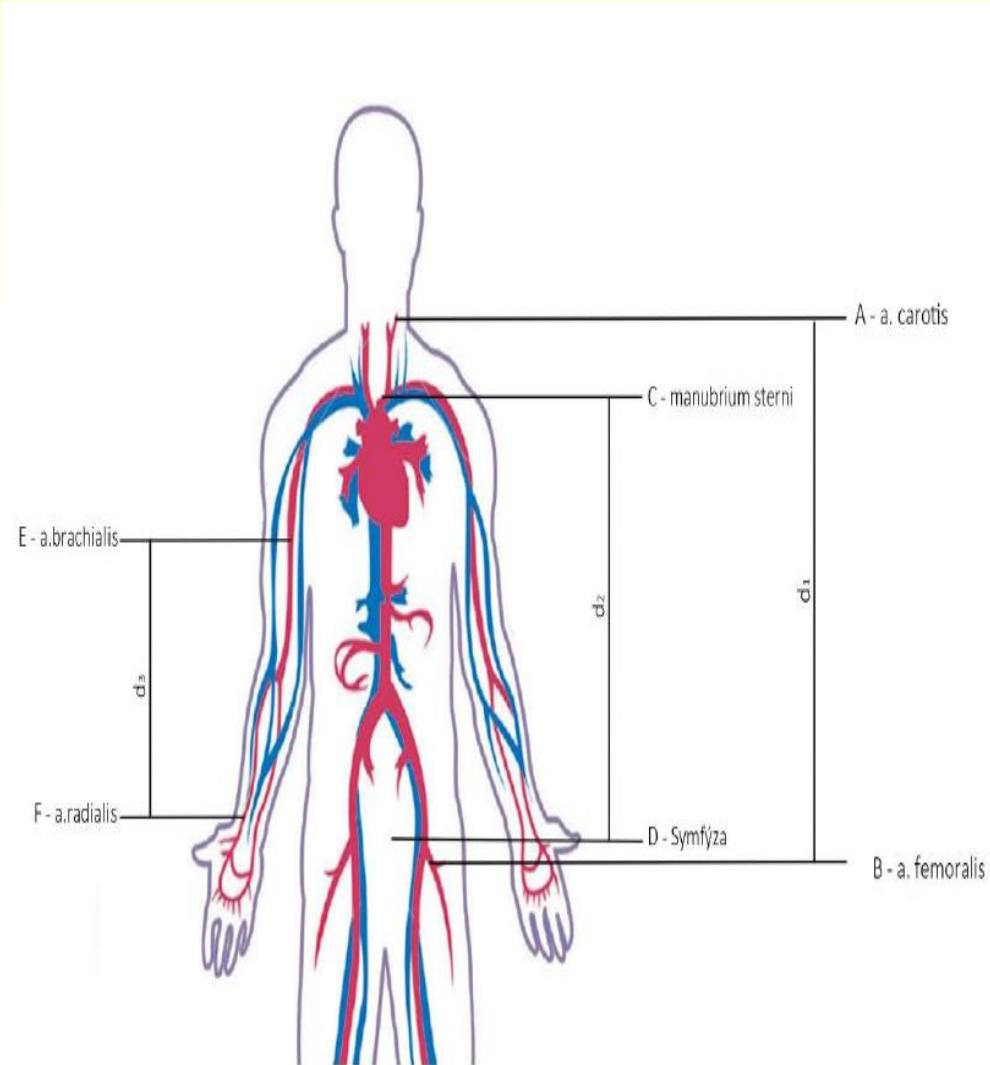


# Pulzní vlna

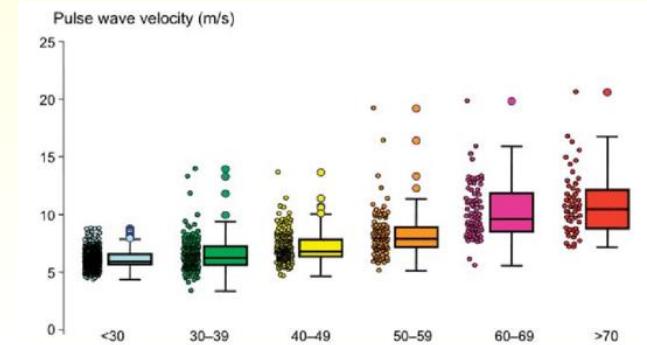


# Faktory ovlivňující pulzní vlny

(rychlosť, 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

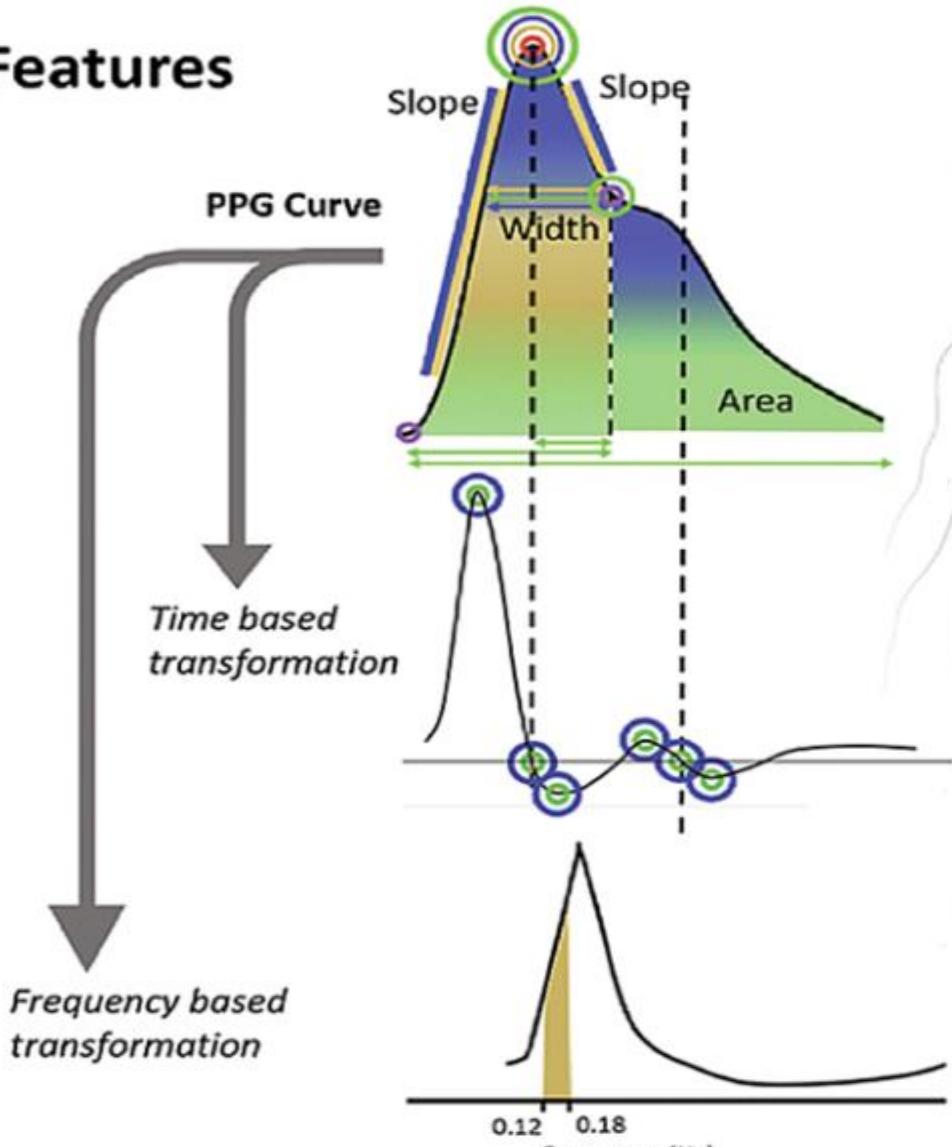
# Pletysmogram

## Princip

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

# Studie o měření pulzní vlny pomocí PPG

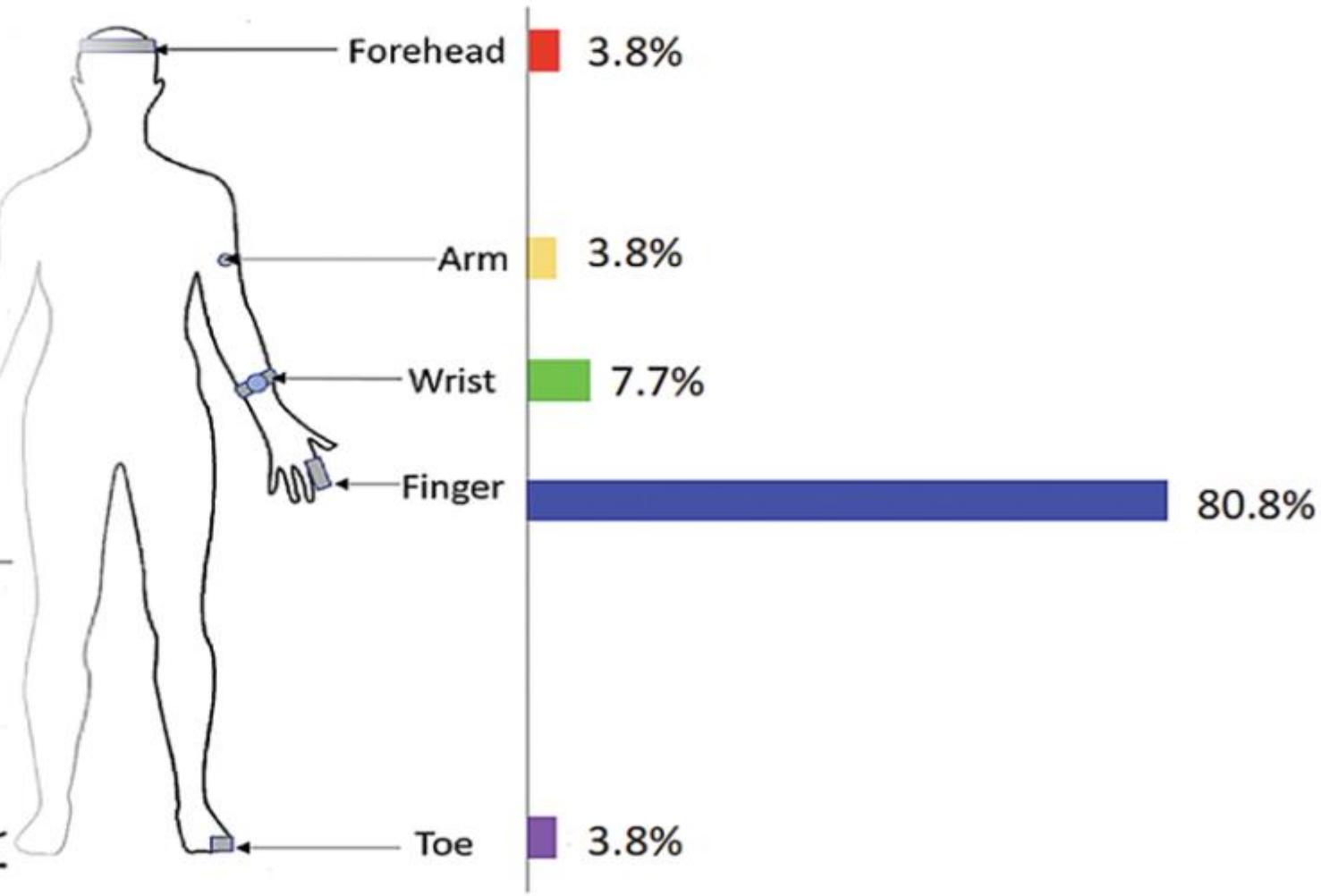
## Features



*Time based  
transformation*

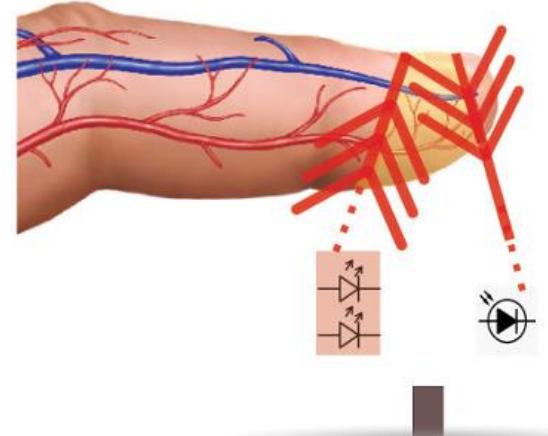
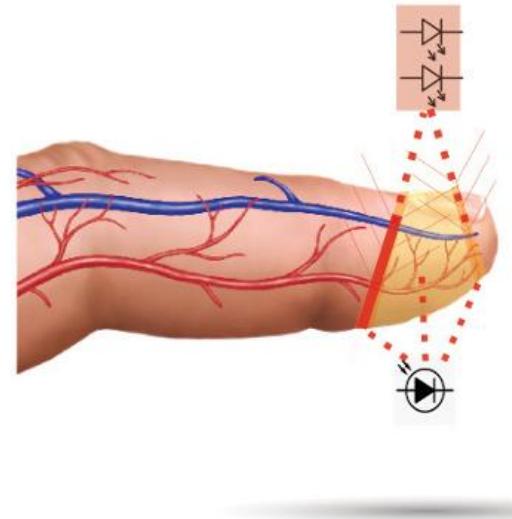
*Frequency based  
transformation*

## Sites

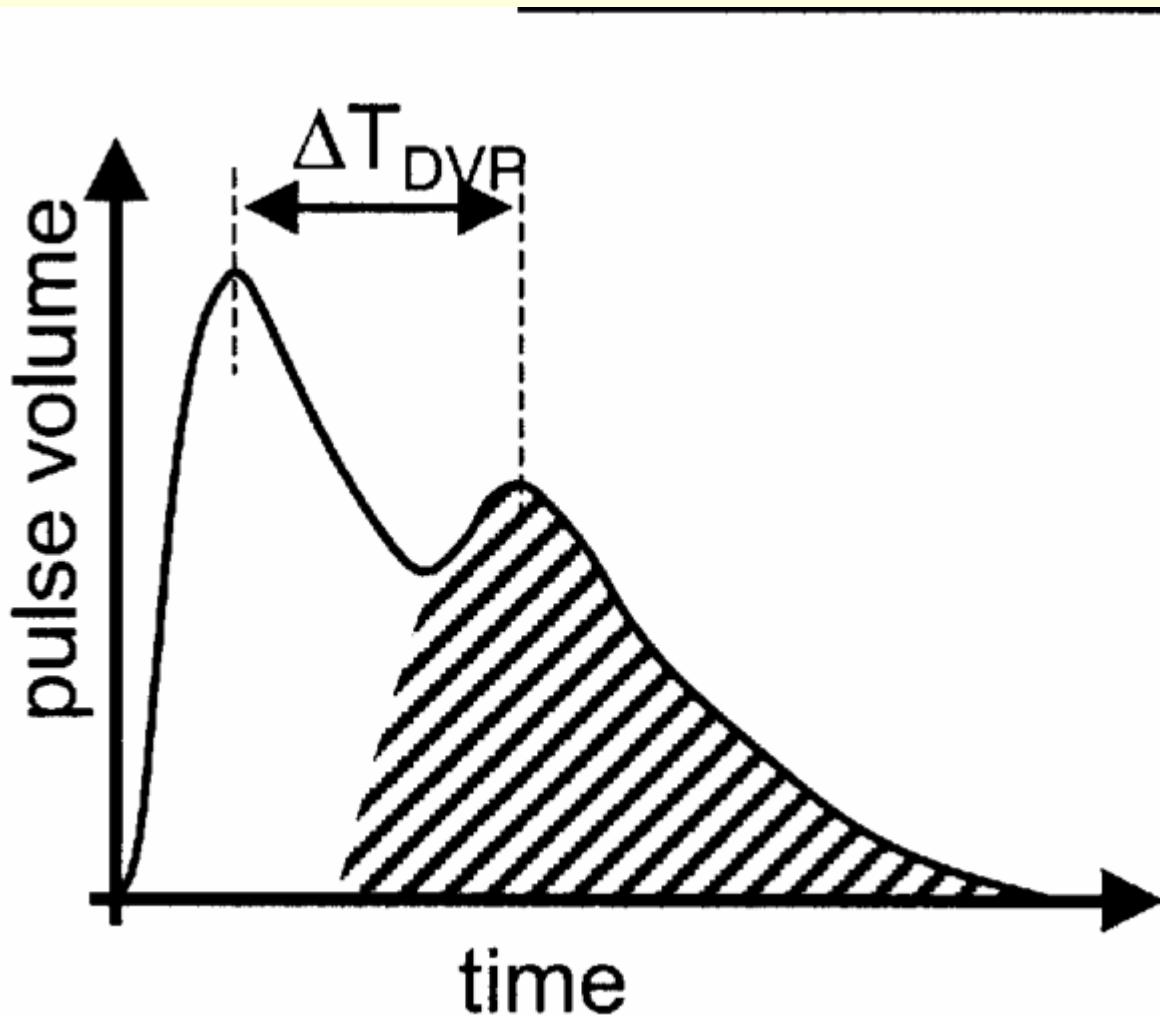


# Fotoelektrický pletysmograf

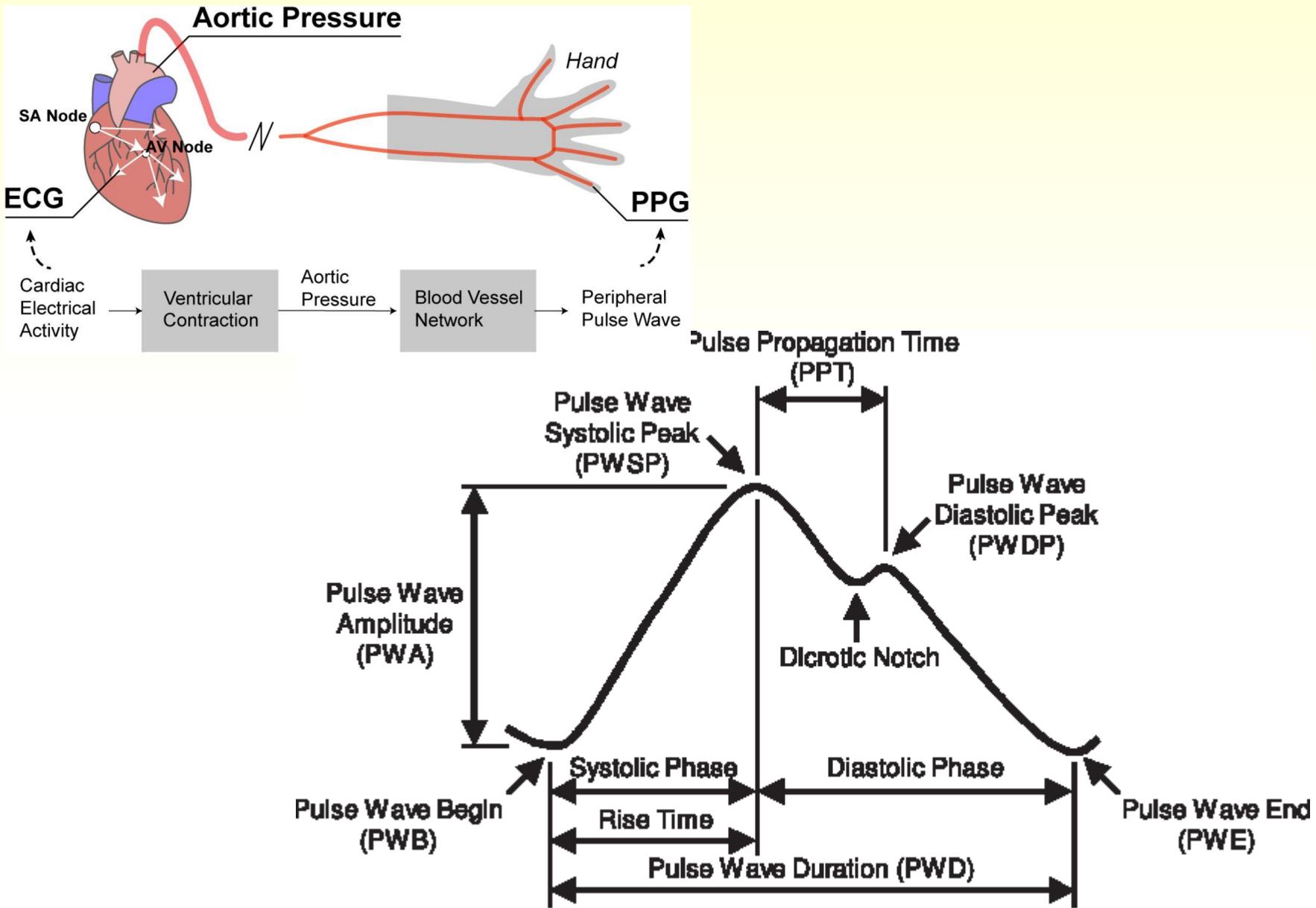
- průsvitový
- reflexní
  - světlo prochází přes kapilární řečiště
  - změny tlaku krve souvisejících s činností srdce
  - mění se objem kapilár a způsobuje změnu absorpce, odrazu a rozptylu světla



# Fotopletysmogram

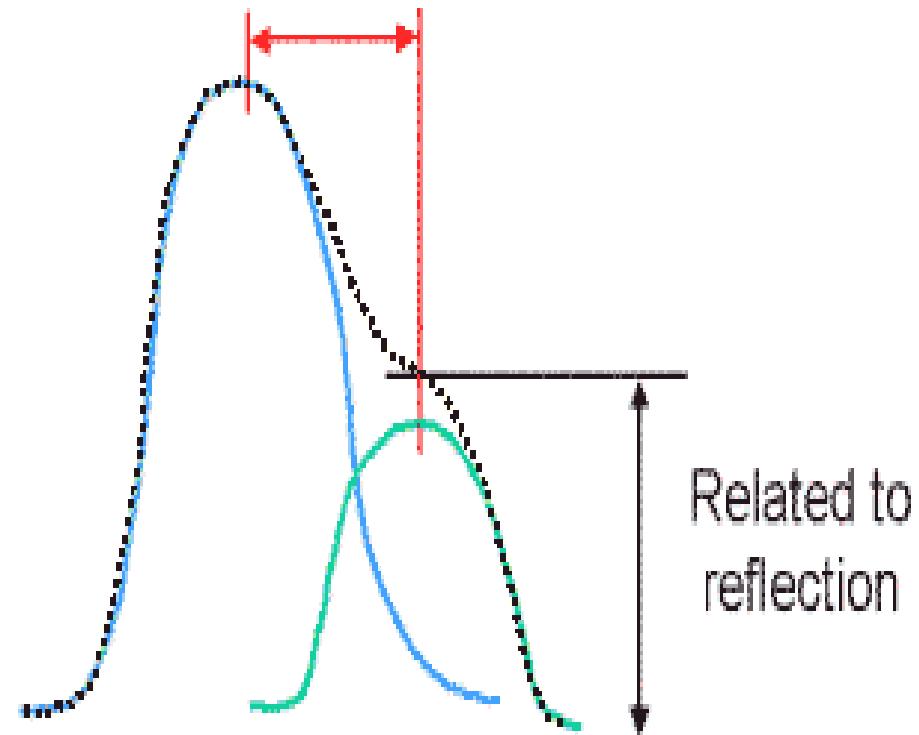


# Fotopletysmogram

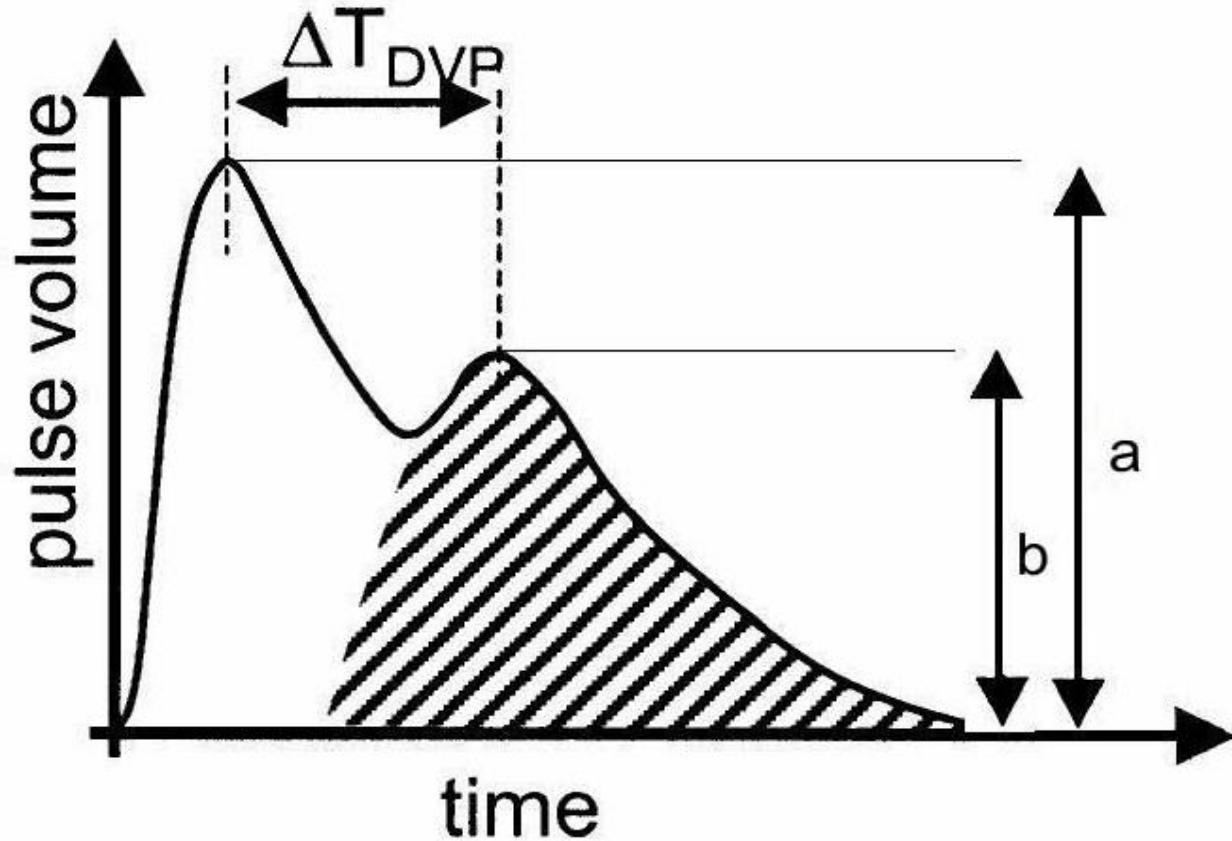


# Fotopletysmogram

Related to arterial stiffness

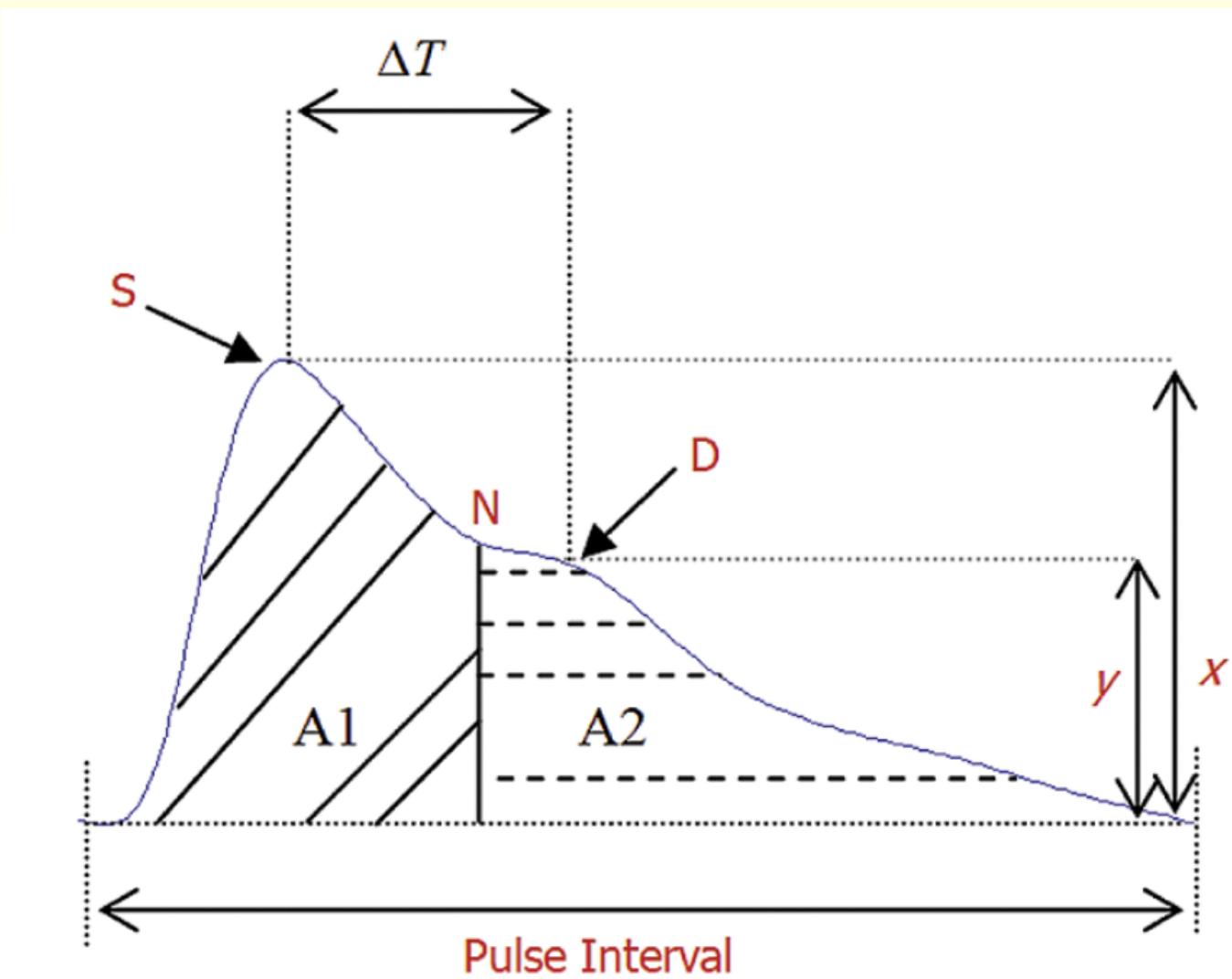


# Fotopletysmogram

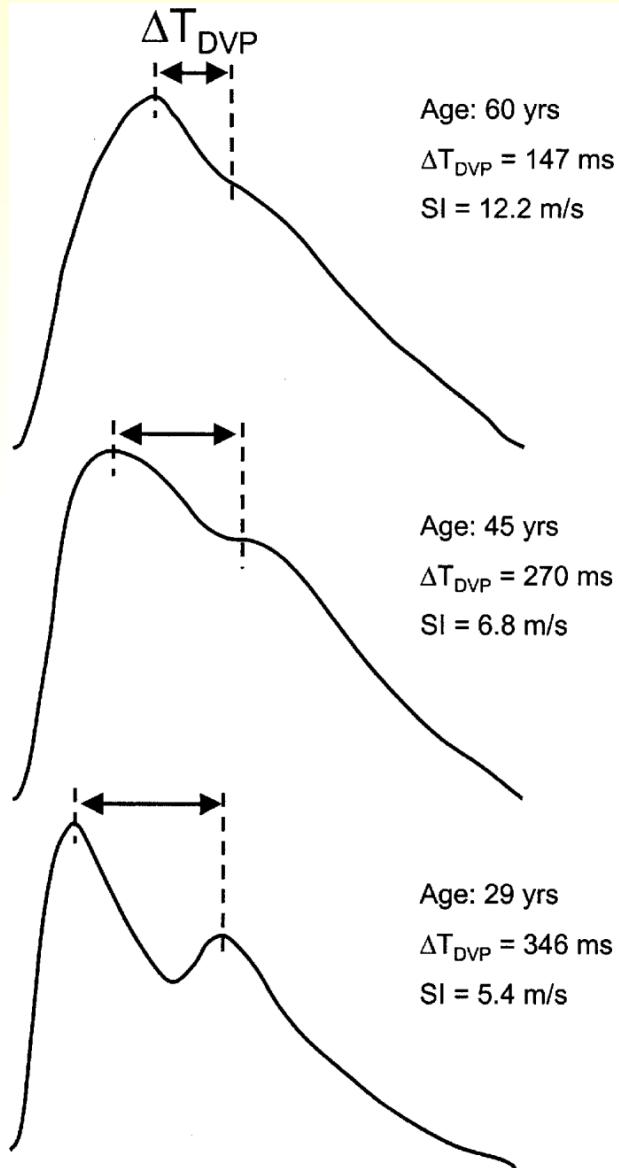


$$RI = \frac{b}{a} \cdot 100$$

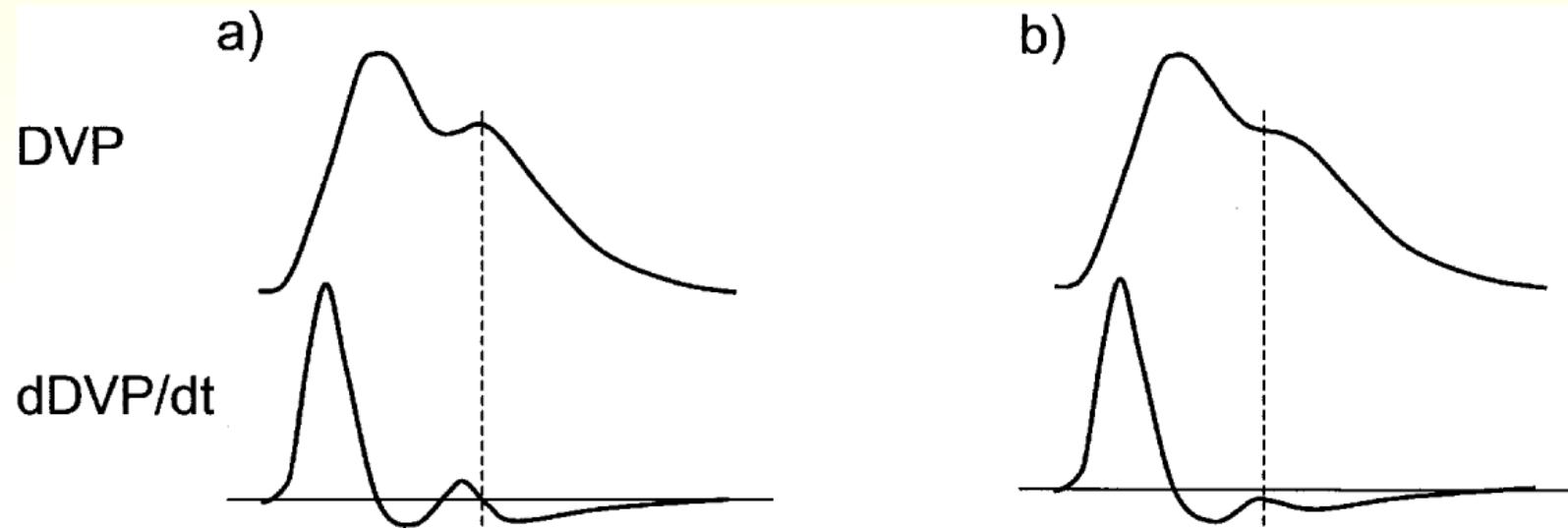
$$SI = \frac{h}{\Delta T}$$



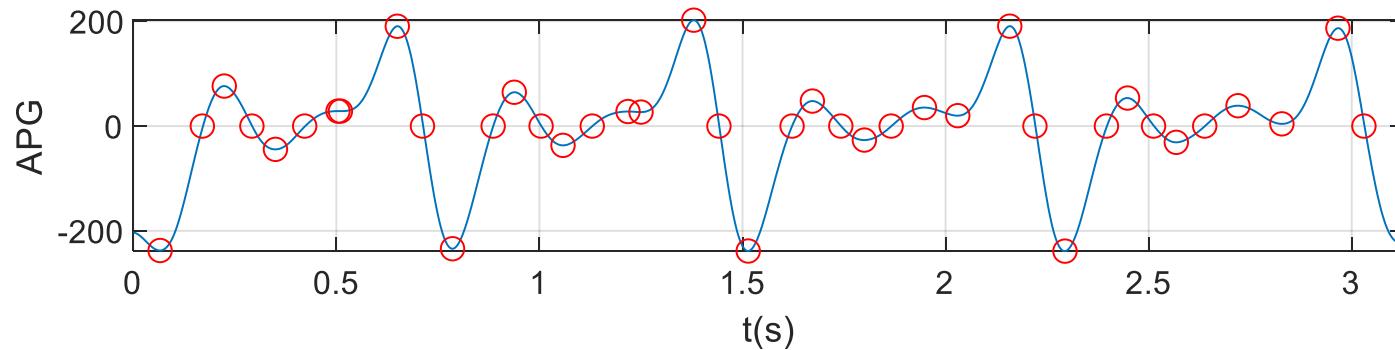
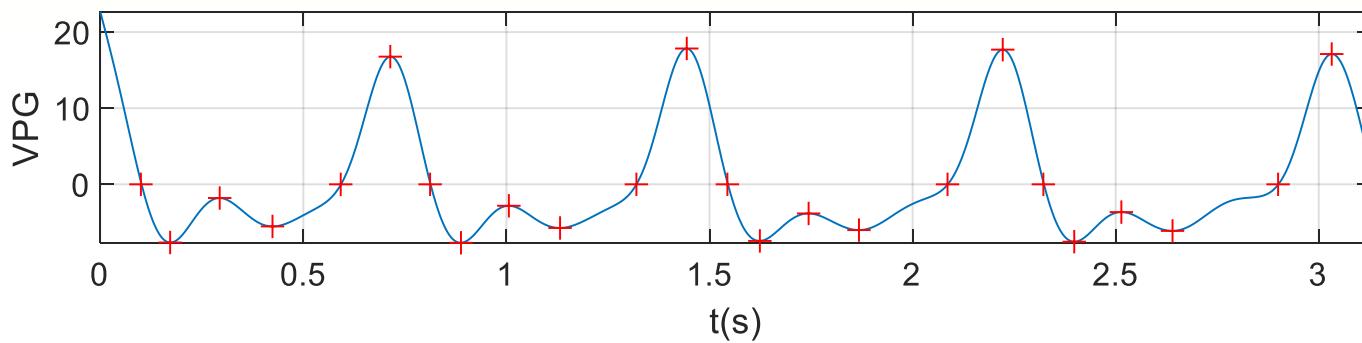
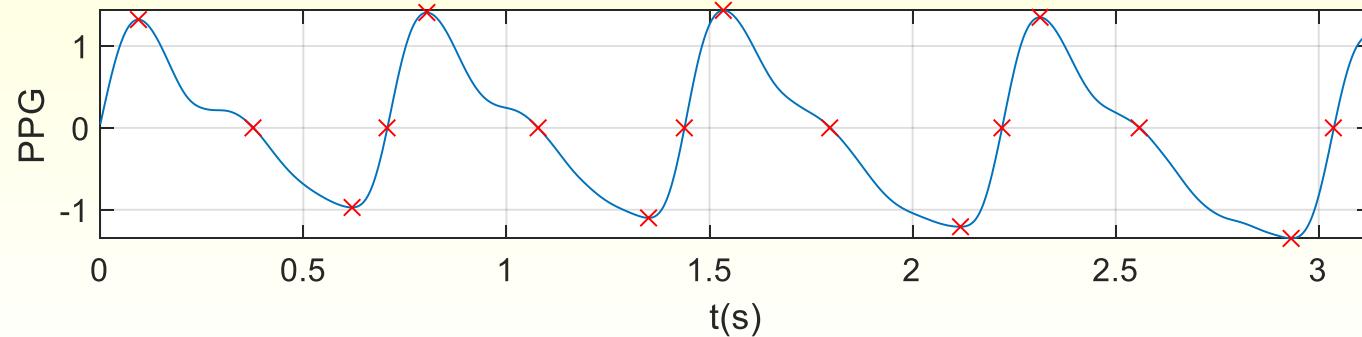
# Fotopletysmogram



# Fotopletysmogram

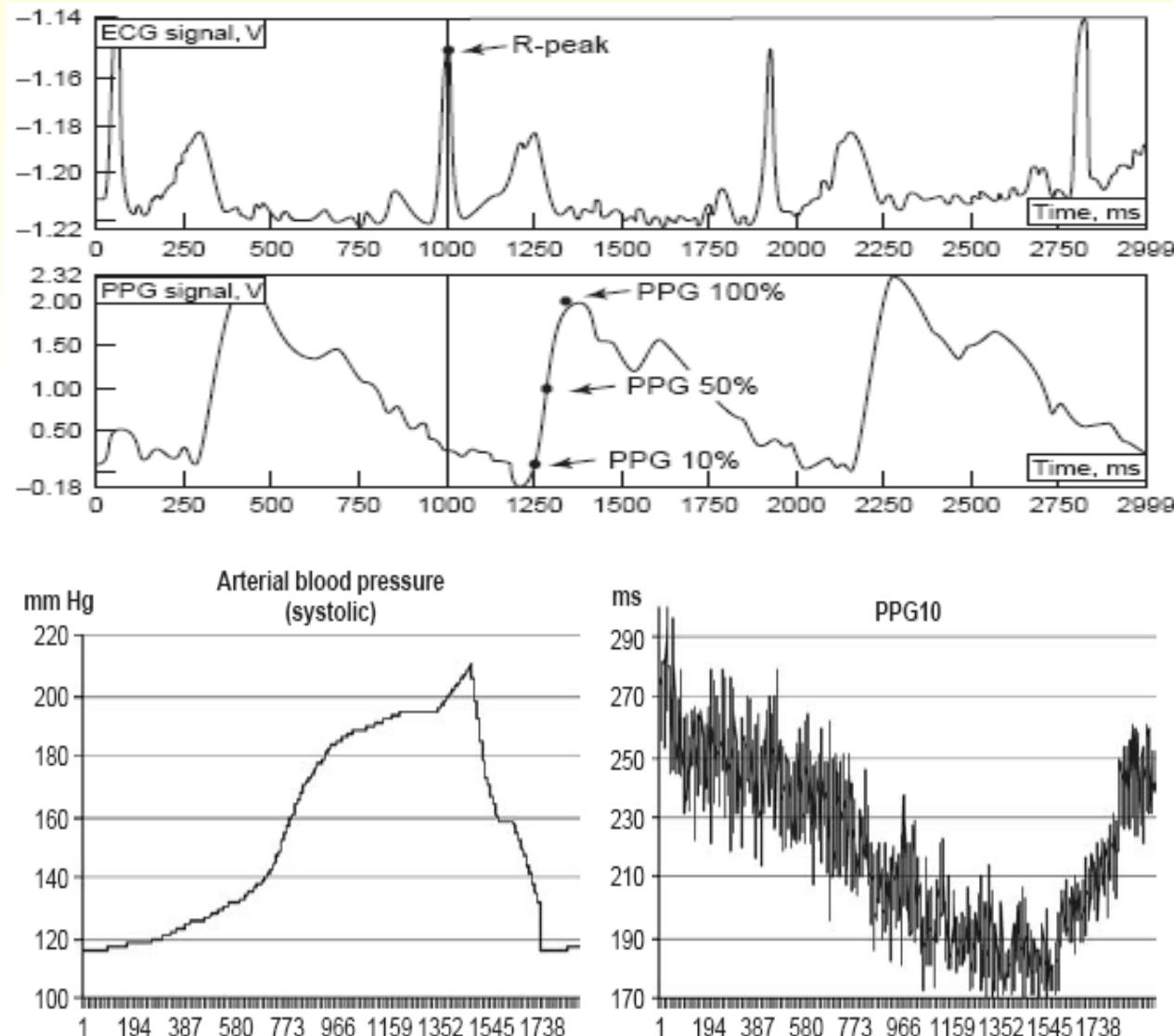


# Fotopletysmogram

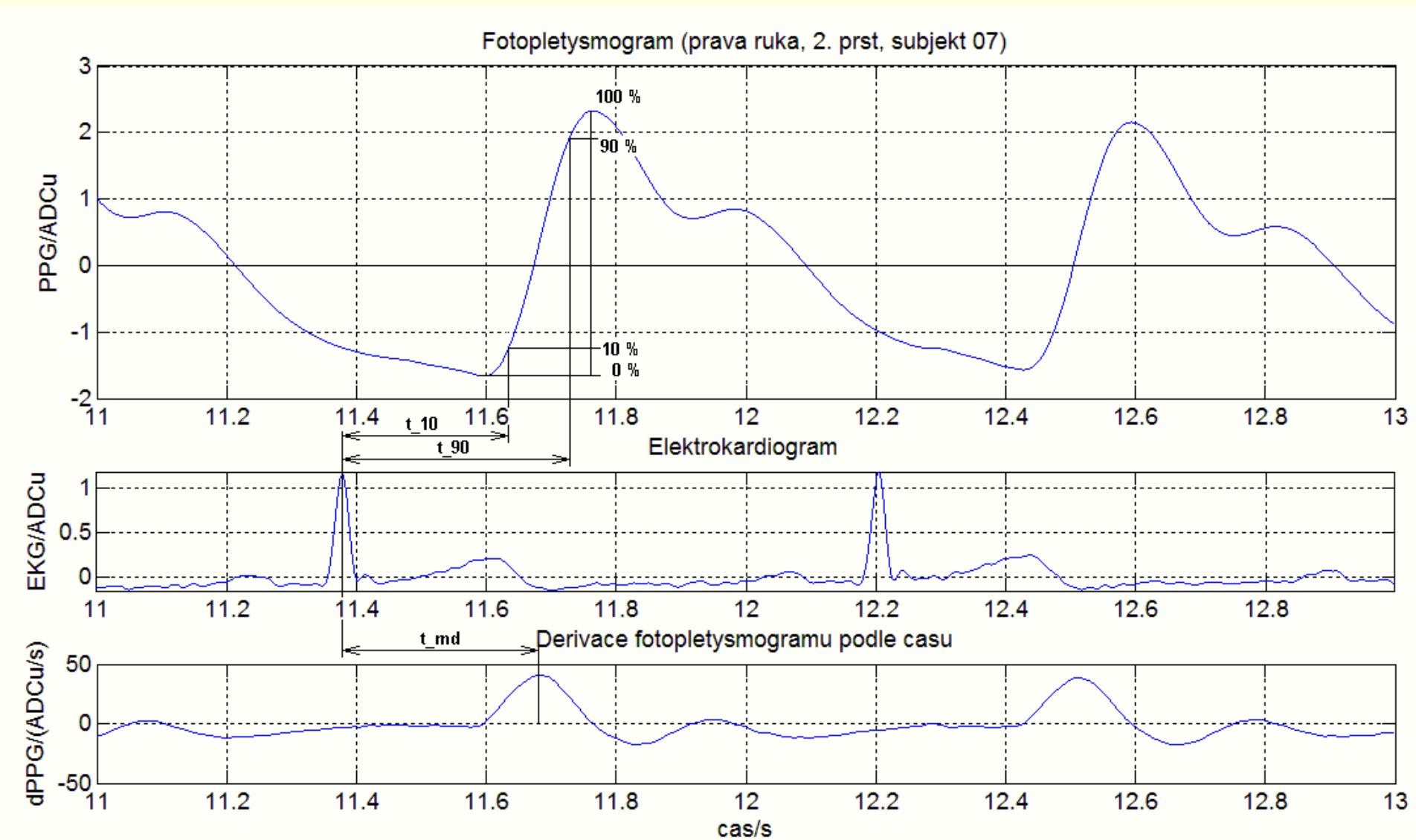


# Fotopletysmogram

- 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



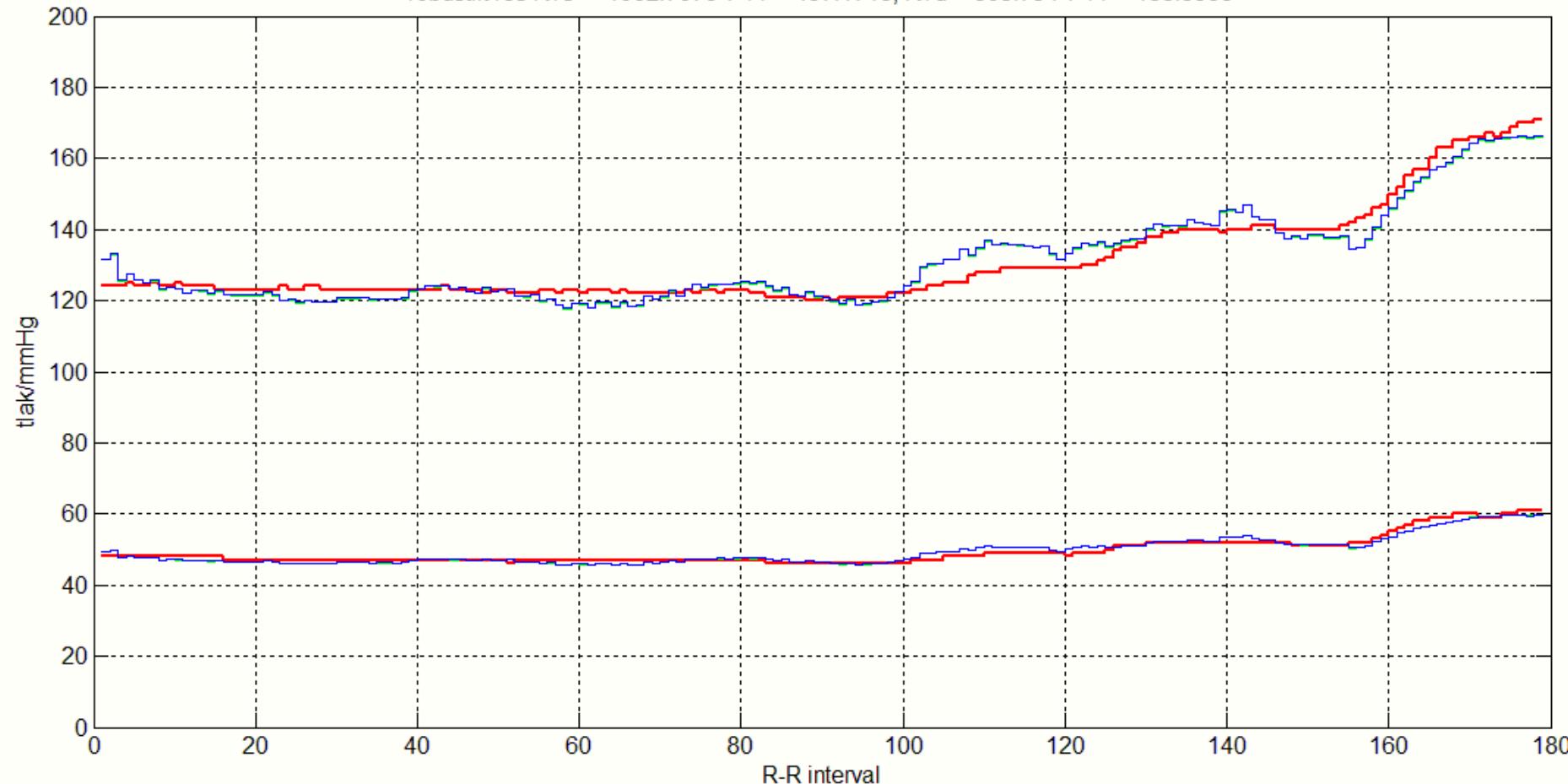
# Odhad tlaku na základě doby šíření (příklad)

Syst. a diast. KT, zelené je aproximace průběhu polyfit a modré robustfit. Soubor tlakc\_m\_0.txt, Prumer casu do 90 % a 10 %

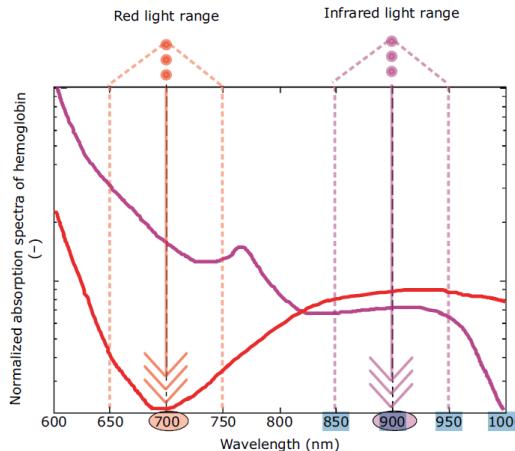
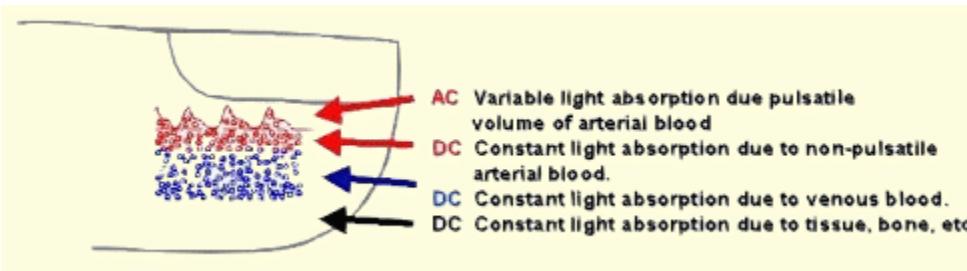
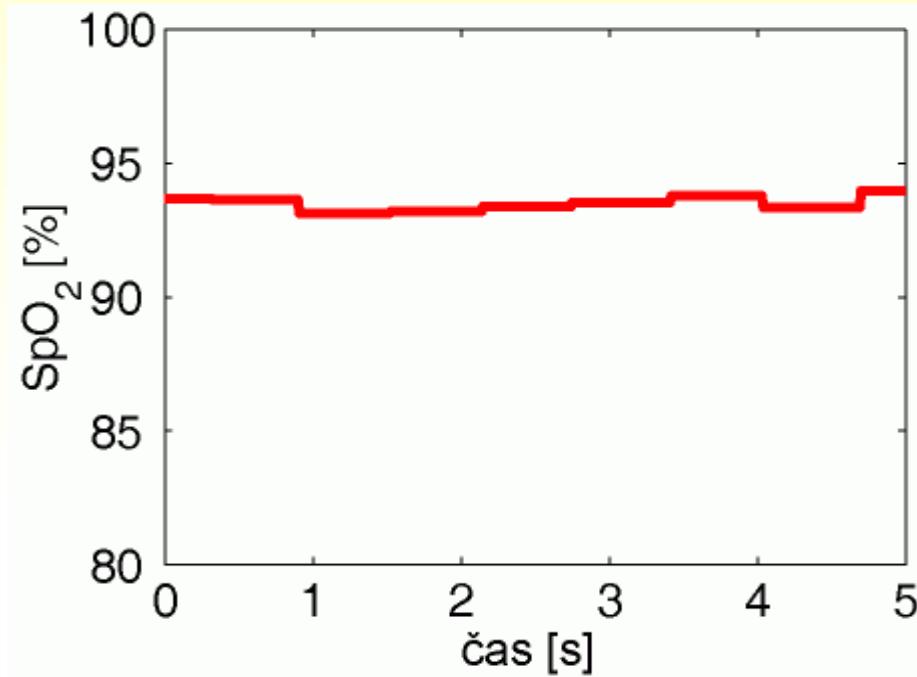
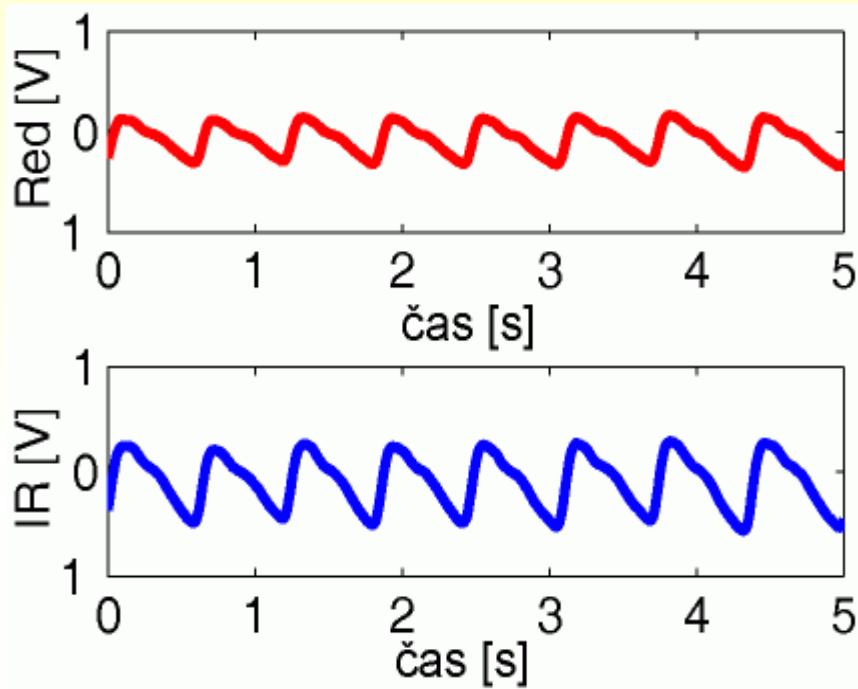
pred = 15, zac = 1, cast = 100

polyfit rce KT<sub>s</sub> = -1059.9108\*PTT + 436.1435, KT<sub>d</sub> = -312.0537\*PTT + 139.216

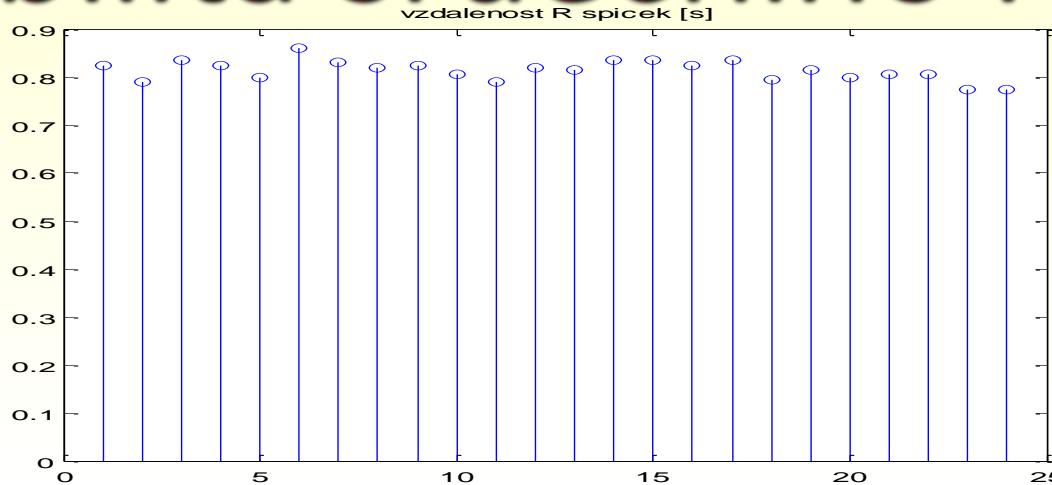
robustfit rce KT<sub>s</sub> = -1062.7675\*PTT + 437.1715, KT<sub>d</sub> = -309.794\*PTT + 138.5938



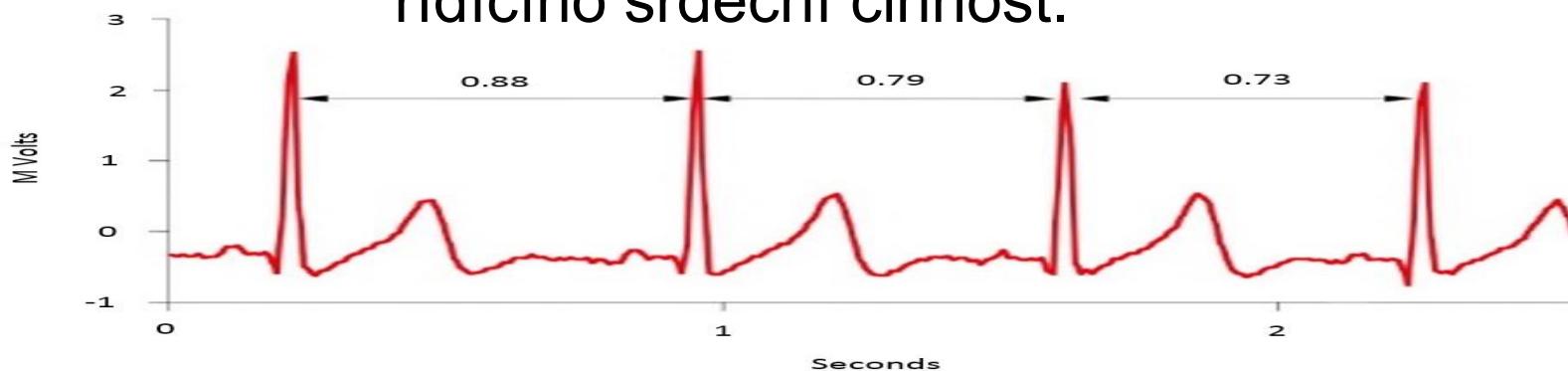
# Pozn.: pulsní oxymetrie



# Variabilita srdečního rytmu



**VARIABILITA SRDEČNÍHO RYTMU**  
je jev, který reprezentuje stav  
**autonomního nervového systému**  
řídícího srdeční činnost.

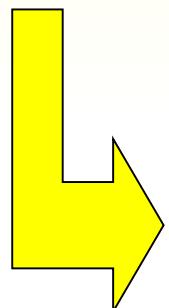


# Autonomní nervový systém

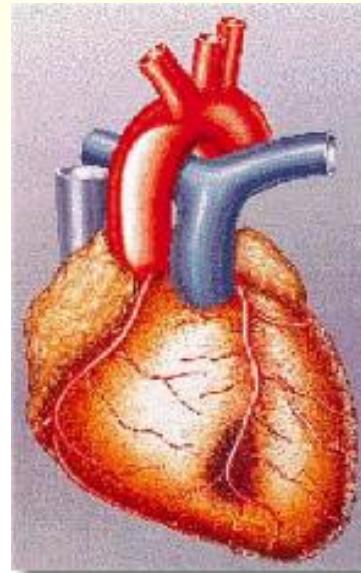
velmi citlivý zpětnovazebný indikátor změn v organismu

ANS lze rozdělit do dvou větví

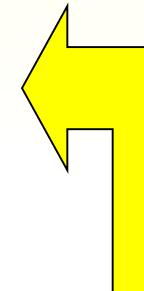
sympatikus



Zrychluje SF



a parasympatikus  
(n. vagus)

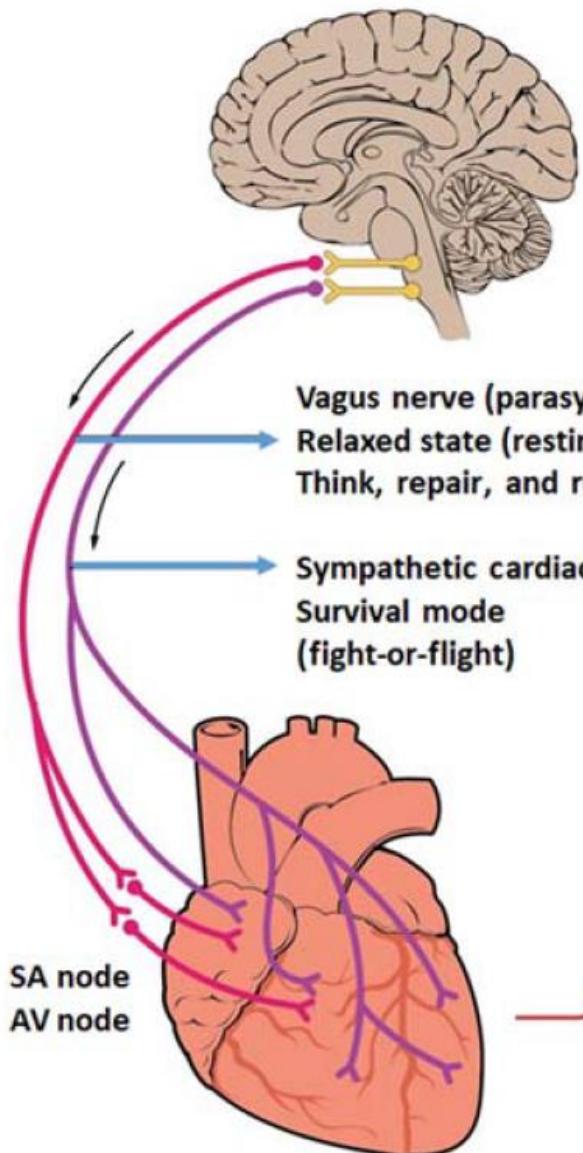


Zpomaluje SF



VARIABILITA SRDEČNÍ FREKVENCE (HRV)

# Autonomní nervový systém

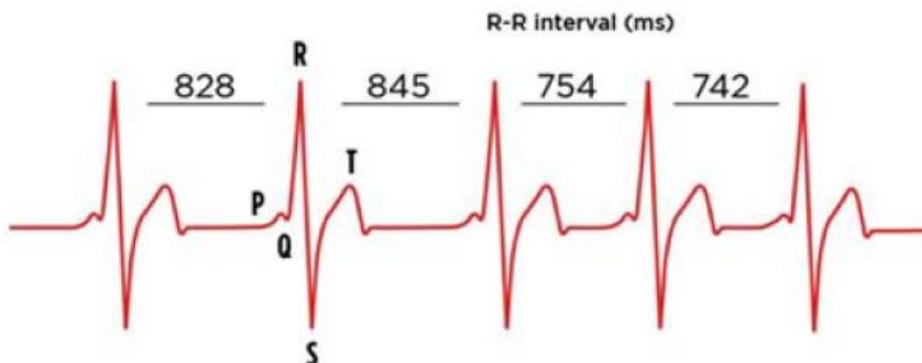


## Parasympathetic nervous system (PSNS):

- Reduced heart rate
- Increased HRV
- Respiration slows
- Low stress hormone level

## Sympathetic nervous system (SNS):

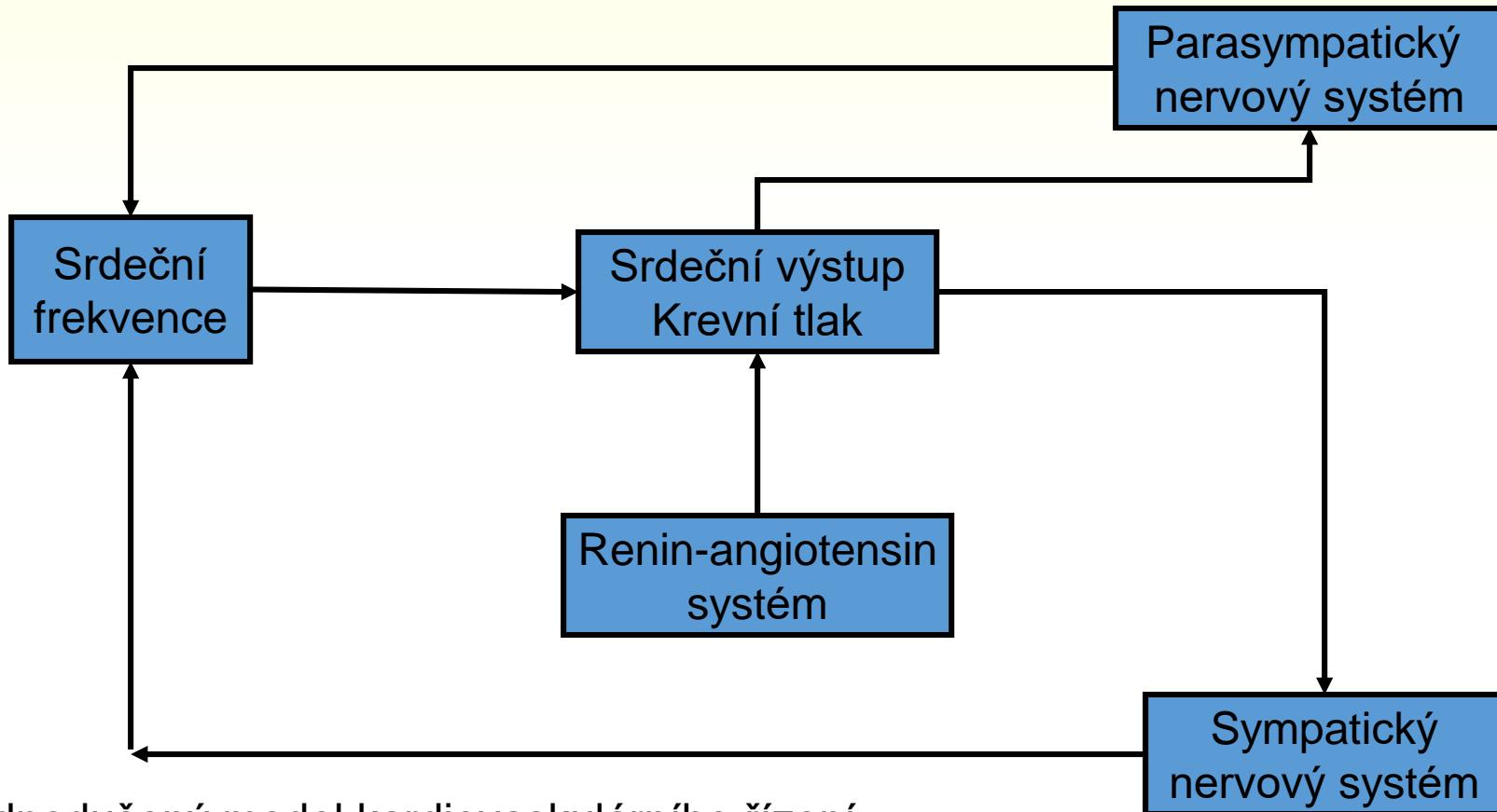
- Increased heart rate
- Reduced HRV
- Respiration speeds up
- High stress hormone level



Intervals between each heart beat vary and  
this variation constitutes HRV

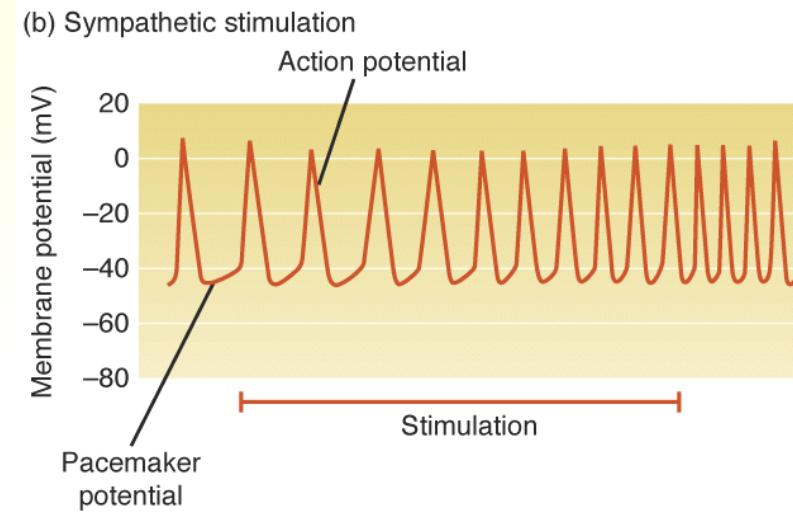
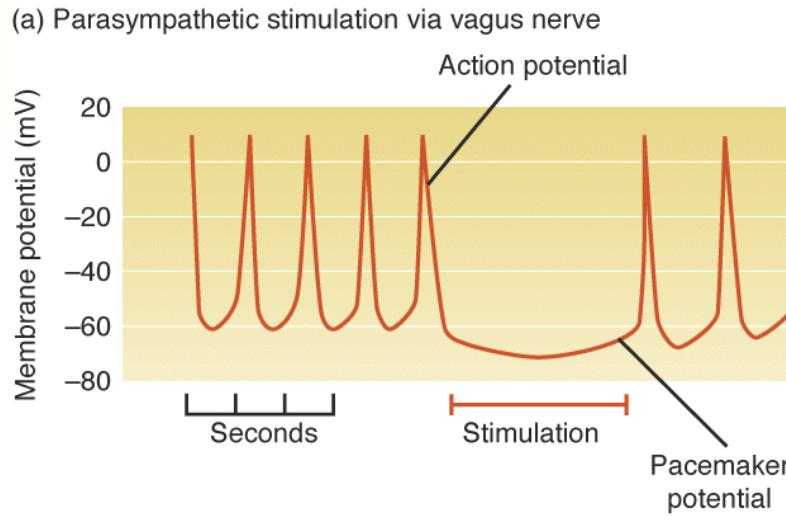
# Autonomní nervový systém

[https://cs.wikipedia.org/wiki/Autonomn%C3%AD\\_nervov%C3%A1\\_soustava](https://cs.wikipedia.org/wiki/Autonomn%C3%AD_nervov%C3%A1_soustava)



Zjednodušený model kardiovaskulárního řízení

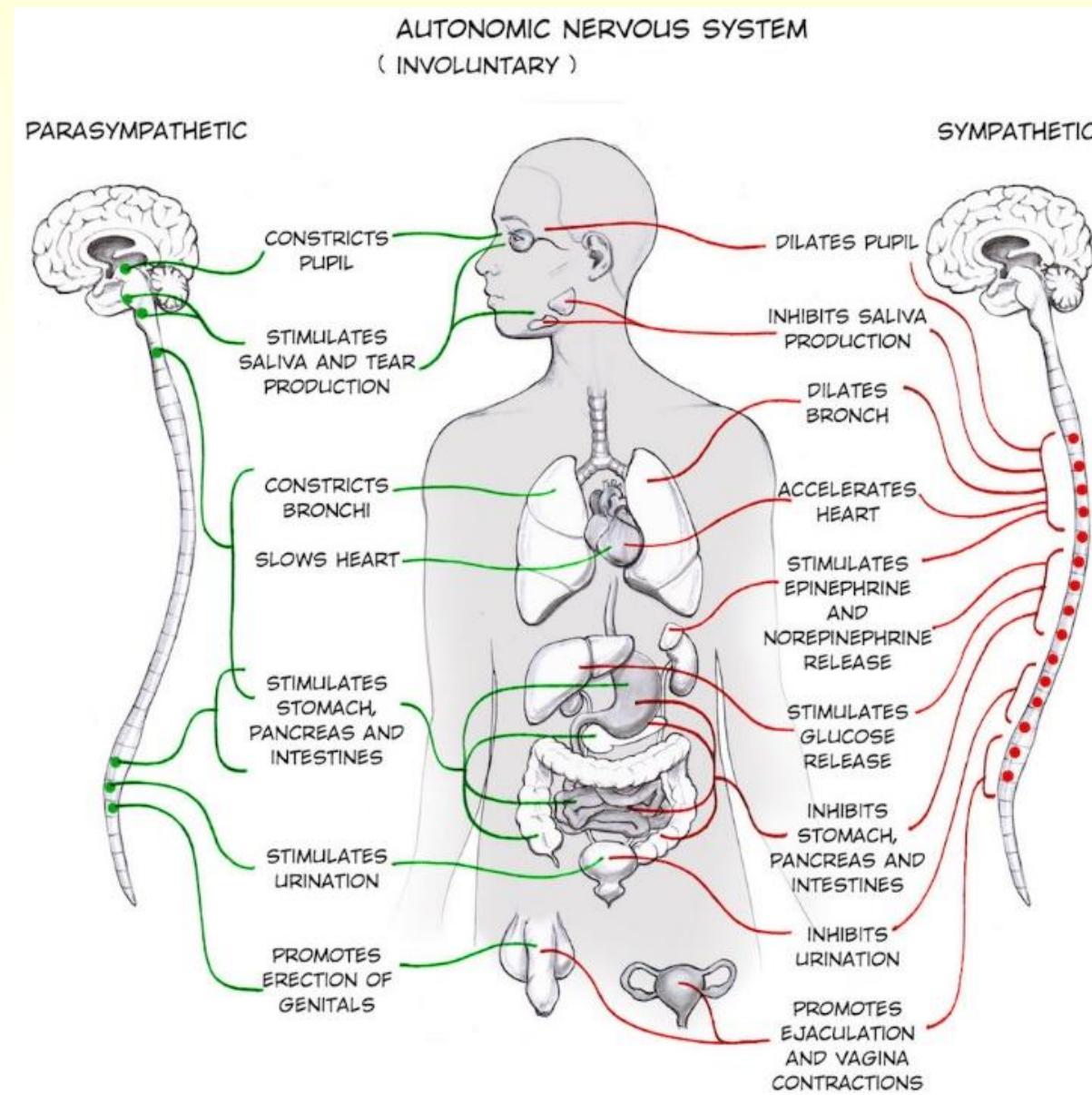
# Autonomní nervový systém



Parasympathetic Nervous System  
(PNS),  
inhibits cardiac action potentials

Sympathetic Nervous System (SNS),  
stimulates cardiac action potentials

# Autonomní nervový systém



# Autonomní nervový systém



# Variabilita srdečního rytmu

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

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

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

# Zdroje HRV

- **vnější**

- pohybová aktivita
- duševní stres
- fyzický stres
- spánková apnoe
- kouření

- **vnitřní**

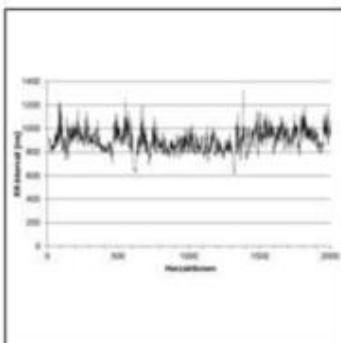
- respirační sinusová arytmie
- regulace baroreceptorového reflexu
- termoregulace
- neuroendokrinní sekrece
- cirkadiánní rytmy
- další neznámé rytmy

# Analýza HRV

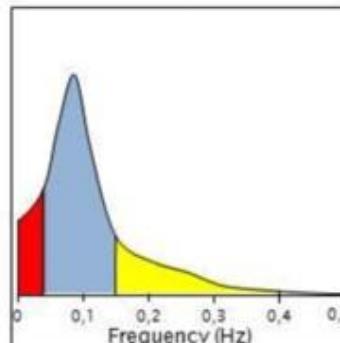
## Heart rate variability (HRV)



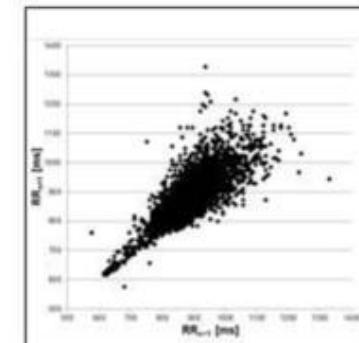
Time domain  
methods



Frequency domain  
methods



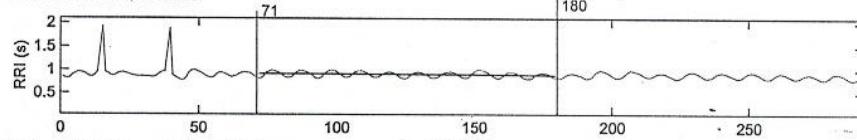
Non-linear  
methods



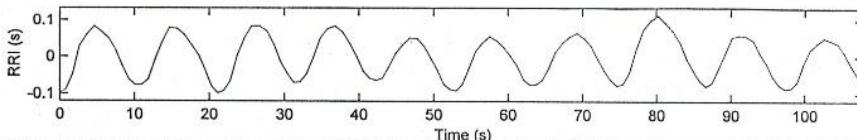
# Heart Rate Variability Analysis

9.8.2008 \_23.20.46\_suunto.txt  
Page 1/1

## RR Interval Time Series



## Selected RR Interval Time Series

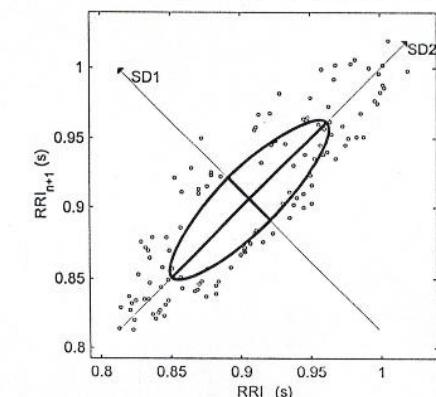


## Time Domain Results

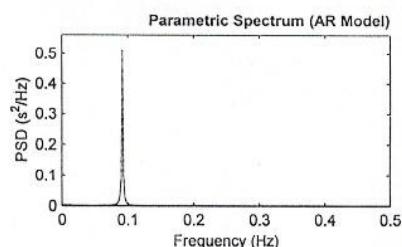
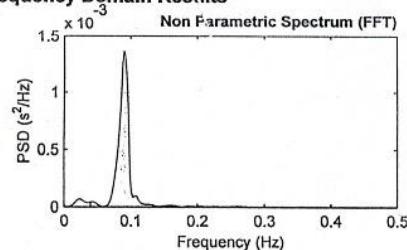
Variable	Units	Value
<b>Statistical Measures</b>		
Mean RR*	(s)	0.906
STD	(s)	0.057
Mean HR*	(1/min)	66.48
STD	(1/min)	4.18
RMSSD	(ms)	29.8
NN50	(count)	6
pNN50	(%)	5.0
<b>Geometric Measures</b>		
RR triangular index		0.105
TINN	(ms)	255.0
<b>Distributions*</b>		
	RRI (s)	
	HR (beats/min)	

## Poincare Plot\*

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



## Frequency Domain Results



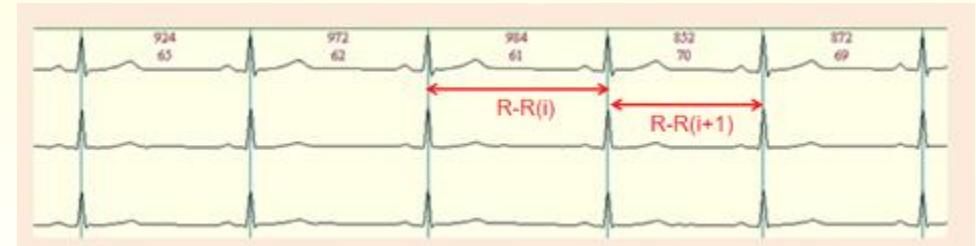
Frequency Band	Peak (Hz)	Power ( $ms^2$ )	Power (%)	Power (n.u.)
VLF	0.0234	1	5.3	
LF	0.0898	23	91.5	96.6
HF	0.1621	1	3.2	3.4
LF/HF		28.326		

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		

# Analýza HRV v časové oblasti

- **SDNN** – standardní směrodatná odchylka intervalů NN v ms (často za 24 h)

$$SDNN = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (RR_i - \bar{RR})^2}$$



$$SDNN = \text{std(intervals)} * 1000;$$

- **SDANN** – směrodatná odchylka průměrných intervalů (obvykle za 5 minut)

$$SDANN = \sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_{s=1}^m (\bar{RR}_s - \bar{RR}_{all})^2}$$

# Analýza HRV v časové oblasti

- **RMSSD** – druhá odmocnina ze střední hodnoty druhých mocnin po sobě jdoucích rozdílů mezi sousedními intervaly

$$RMSSD = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} (\Delta RR_i)^2}$$

diff NN = diff(intervals) \* 1000; % v milisekundách  
RMSSD = rms(diffNN);

- **SDSD** – standardní směrodatná odchylka rozdílů intervalů NN v ms

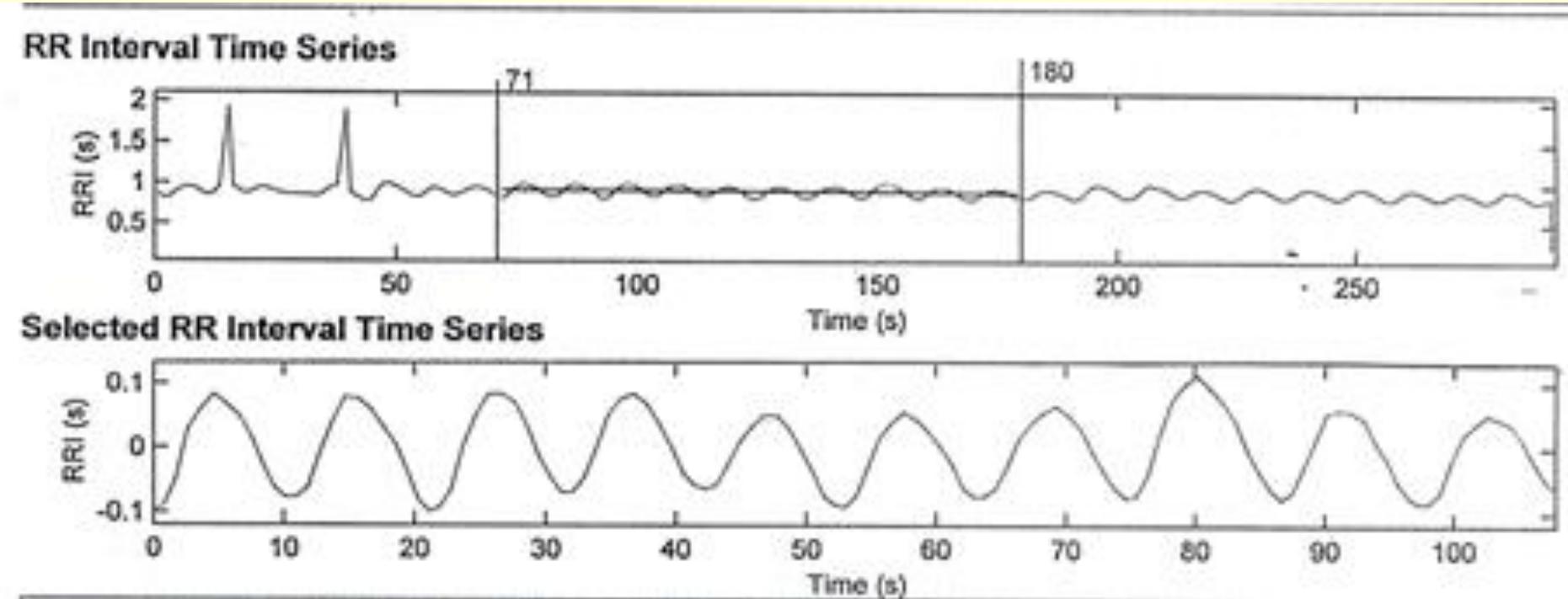
$$SDSD = \sqrt{E\{\Delta RR_i^2\} - \{E\Delta RR_i\}^2}$$

SDSD = std(diffNN);

# Analýza HRV v časové oblasti

- **NN50** – počet rozdílů po sobě jdoucích intervalů, které se liší více než 50 ms  
 $\text{length}(\text{find}(\text{abs}(\text{diffNN}) > 50))$ ;
- **pNN50** – podíl NN50 dělený celkovým počtem intervalů  
 $\text{pNN50} = \text{NN50}/\text{length}(\text{intervals})$ ;
- **NN20** – počet rozdílů ntervalů, které se liší o více než 20 ms  
 $\text{NN20} = \text{length}(\text{find}(\text{abs}(\text{diffNN}) > 20))$ ;
- **pNN20** – podíl NN20 dělený celkovým počtem interval  
 $\text{pNN20} = \text{NN20}/\text{length}(\text{intervals})$ ;

# Parametry HRV v časové oblasti

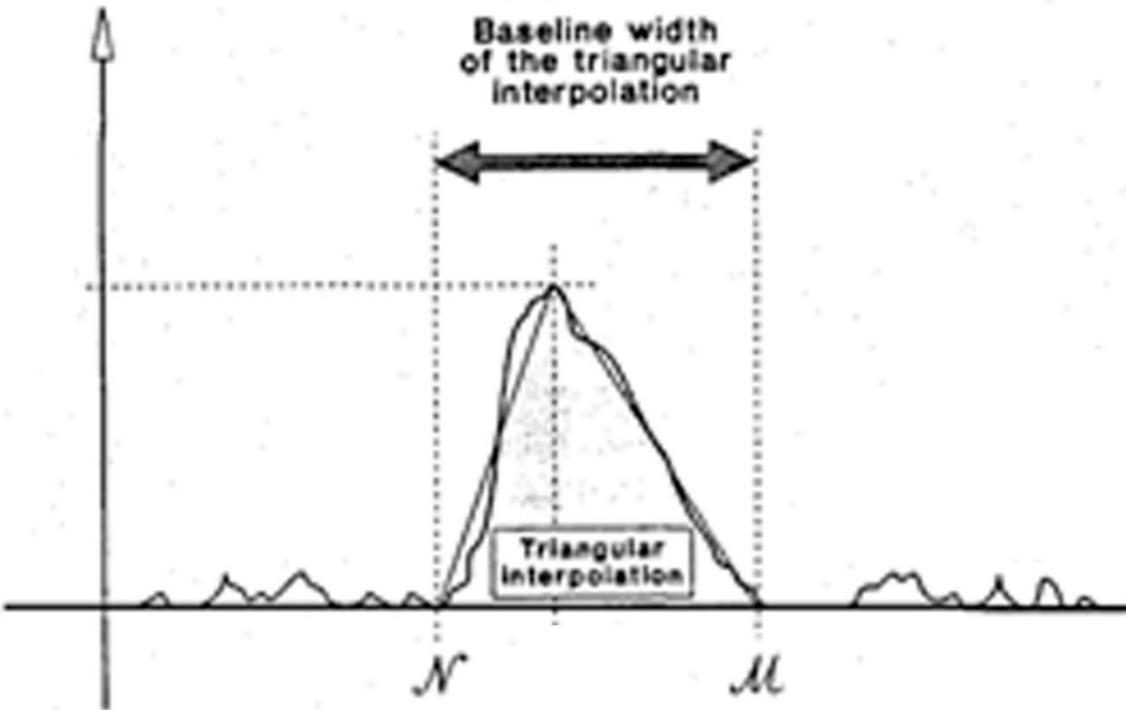


## Time Domain Results

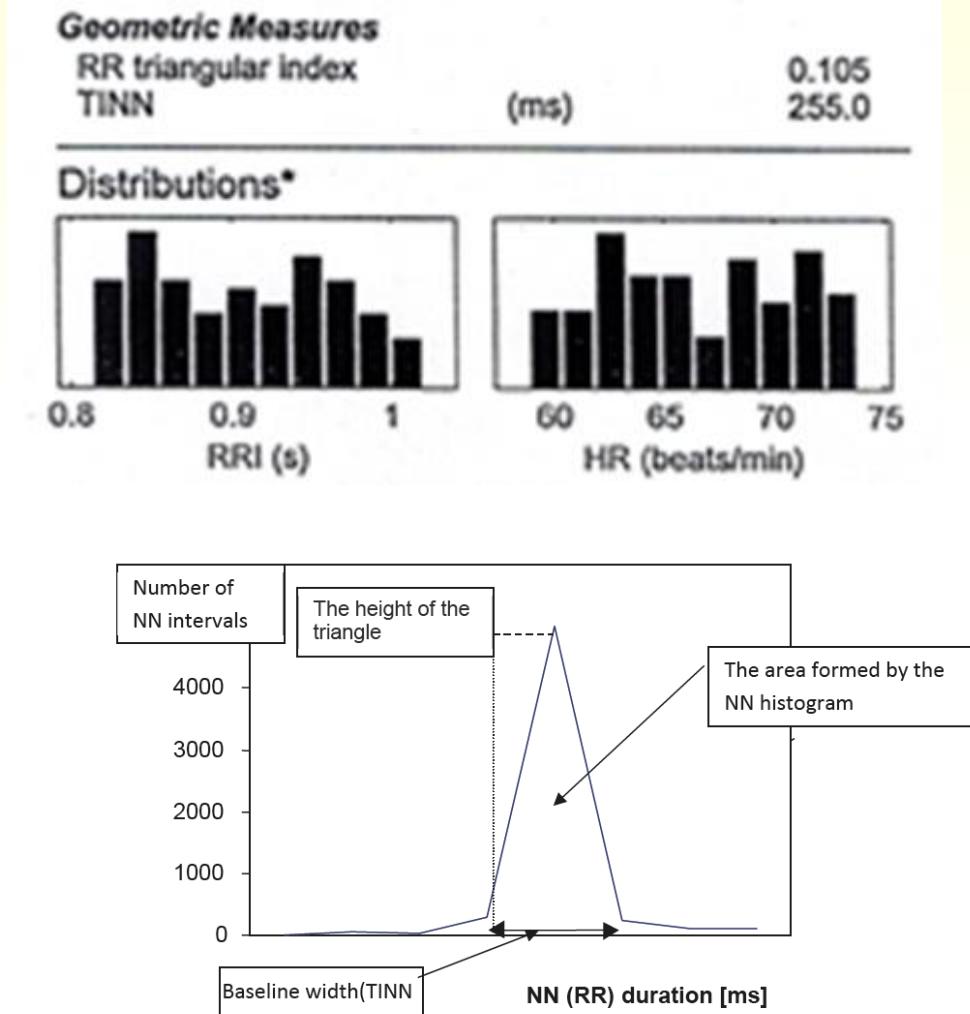
Variable	Units	Value
<b>Statistical Measures</b>		
Mean RR*	(s)	0.906
STD	(s)	0.057
Mean HR*	(1/min)	66.48
STD	(1/min)	4.18
RMSSD	(ms)	29.8
NN50	(count)	6
pNN50	(%)	5.0

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

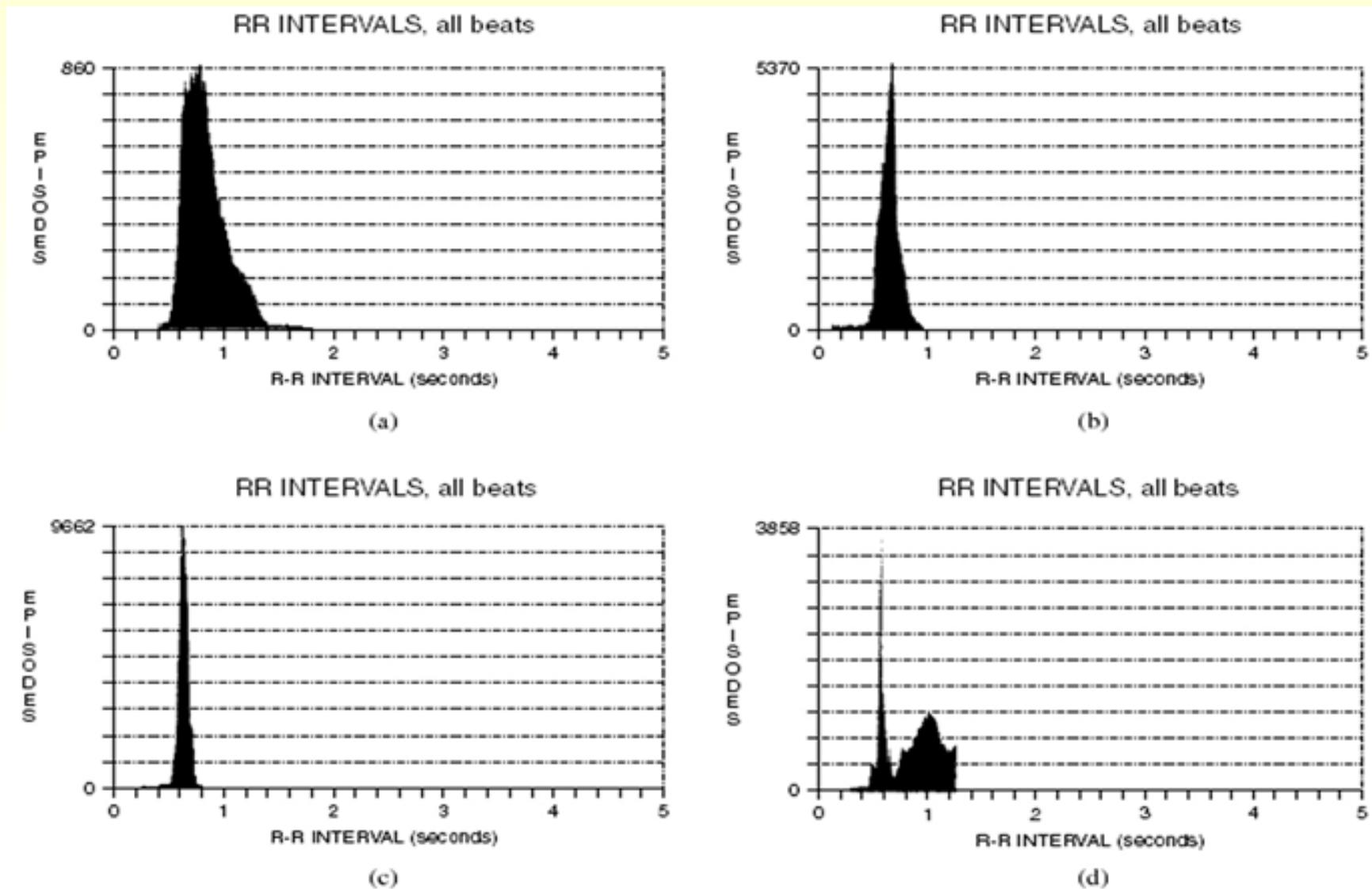
# Geometrické míry HRV



HRV Index-Measure of longer-term HRV



# Geometrické míry HRV



Příklady normálního a abnormálního geometrického HRV

# Parametry HRV ve spektrální oblasti

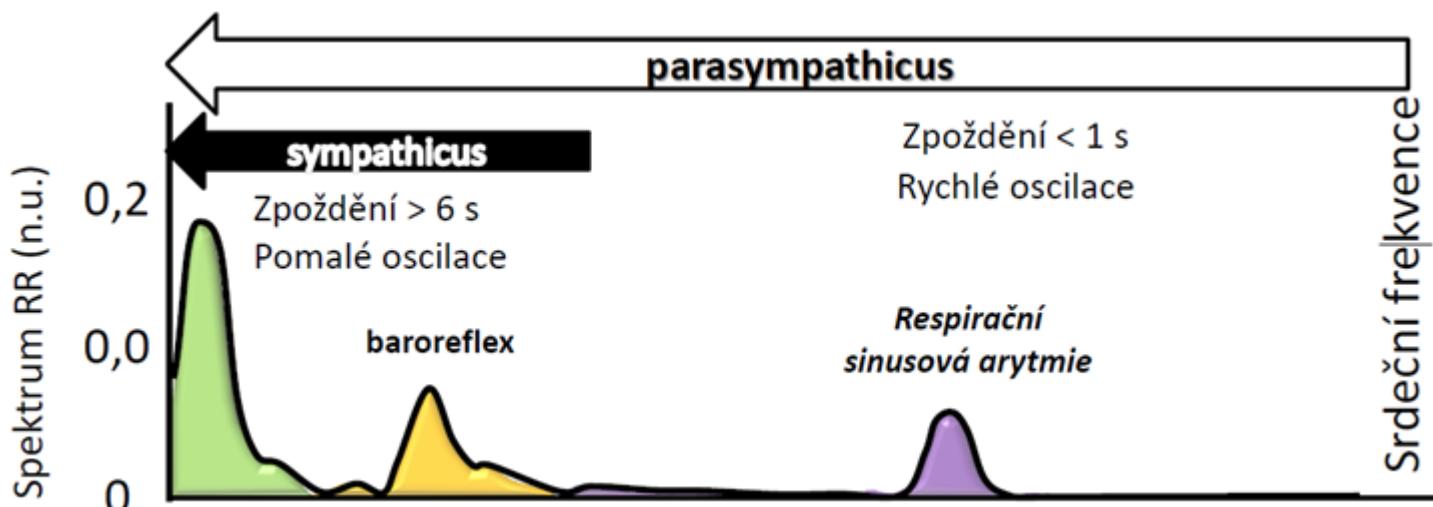
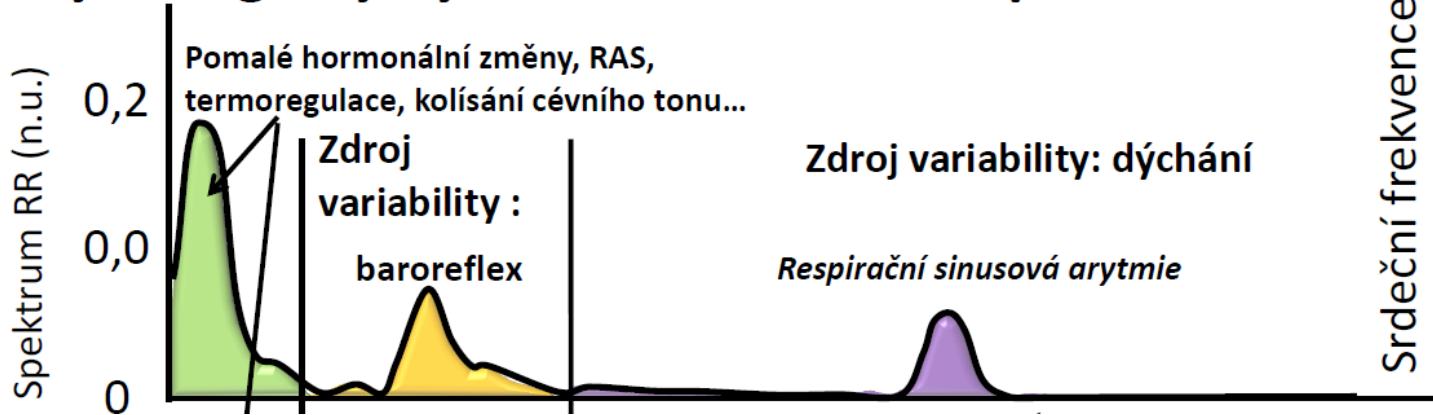
- ULF                spektrální výkon v pásmu ultra nízkých frekvencí    pod 0.003 Hz
- VLF                spektrální výkon v pásmu velmi nízkých frekvencí: 0.003–0.04 Hz
- LF                 spektrální výkon v pásmu nízkých frekvencí:                    0.04–0.15 Hz
- HF                 spektrální výkon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

## Vztah časové a frekvenční domény HRV

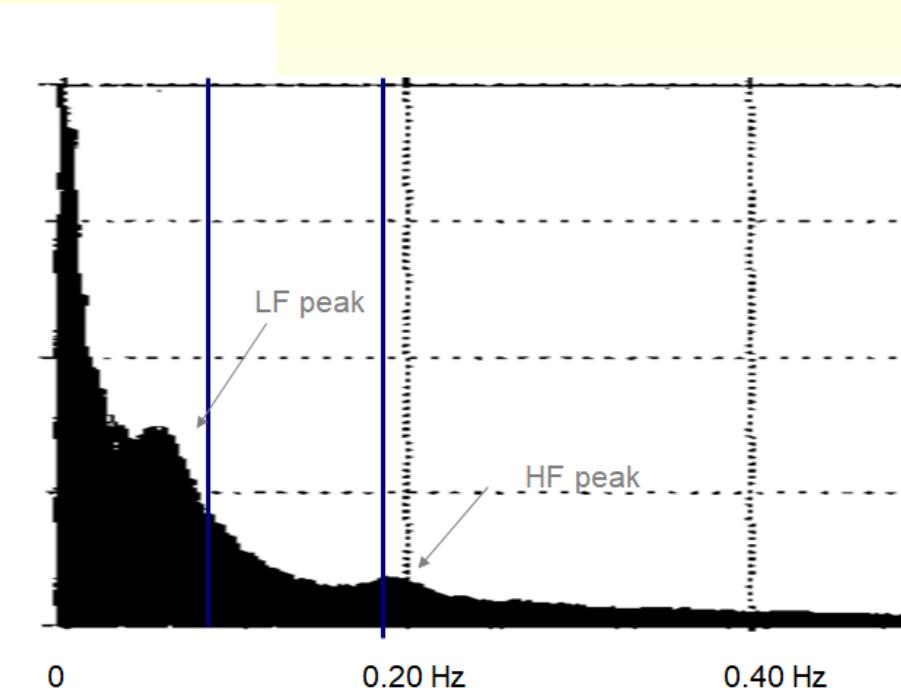
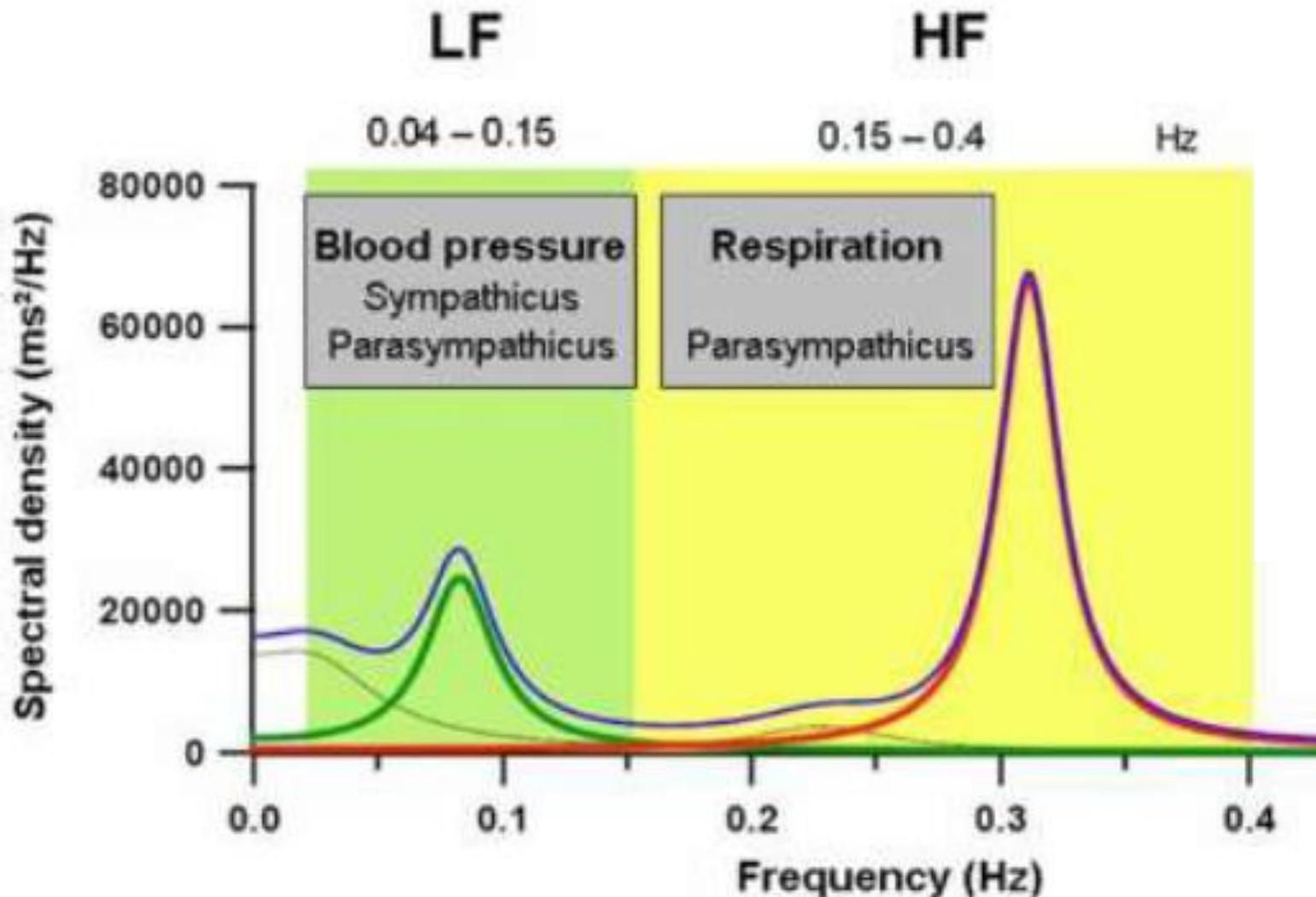
- SDNN, TINN, HRV                korelují s celkovým výkonem TP
- SDSD, počet NN50 a pNN50    korelují s výkonem HF
- SDANN                          korelují s výkonem ULF

# Parametry HRV ve spektrální oblasti

## Fyziologický význam – frekvenční pásma



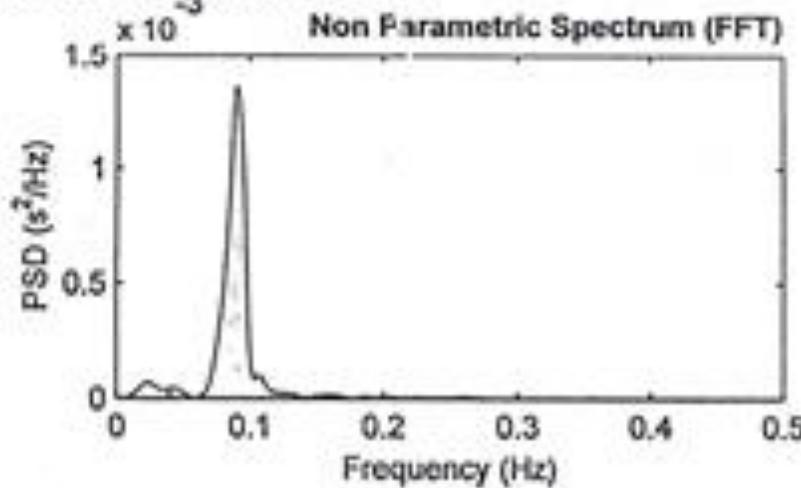
# Parametry HRV ve spektrální oblasti



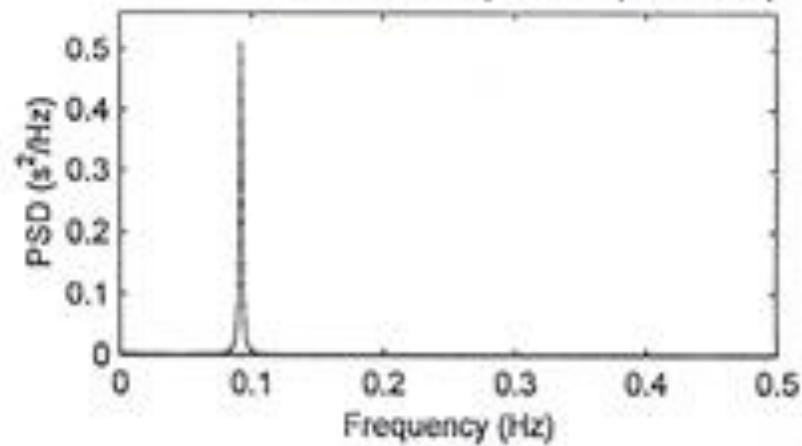
- Špičky (maxima)
- Výkony v pásmech
- Normované výkony v pásmech
  - $\text{LF}_{\text{norm}} = \text{LF}/(\text{TP-VLF})$
  - $\text{HF}_{\text{norm}} = \text{HF}/(\text{TP-VLF})$

# Parametry HRV ve spektrální oblasti

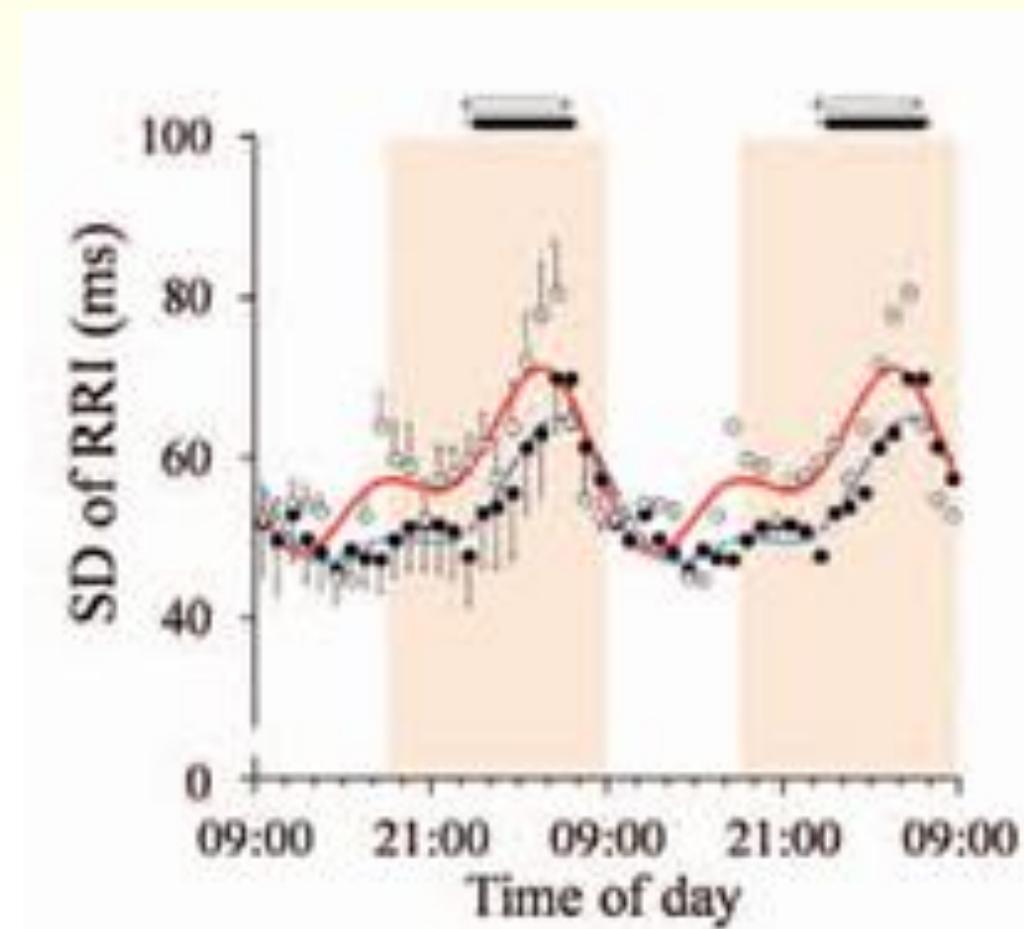
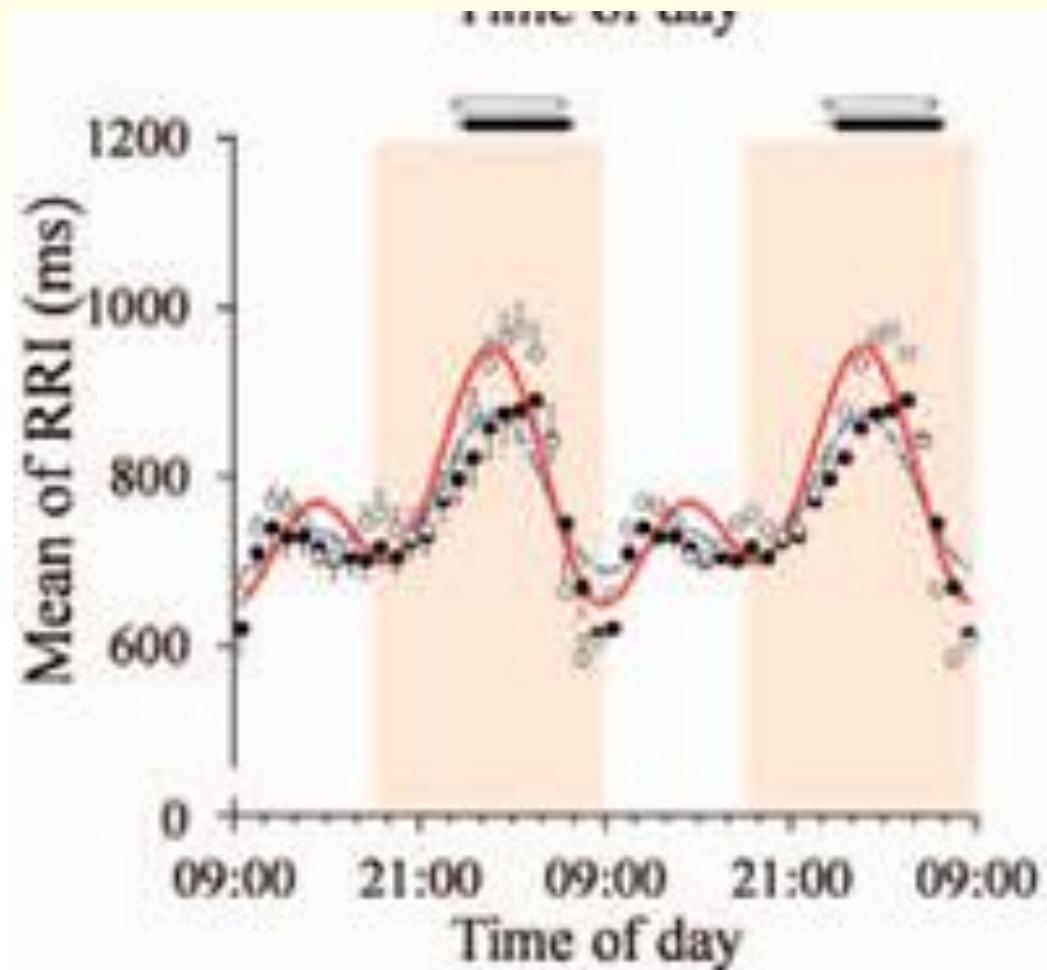
Frequency Domain Results



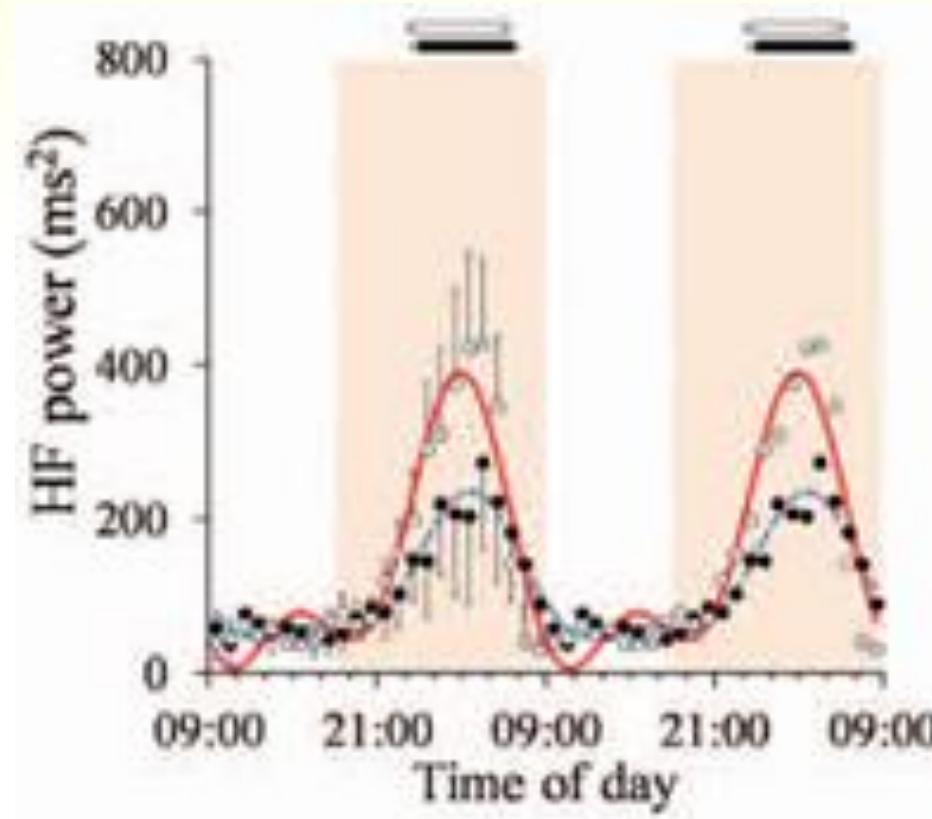
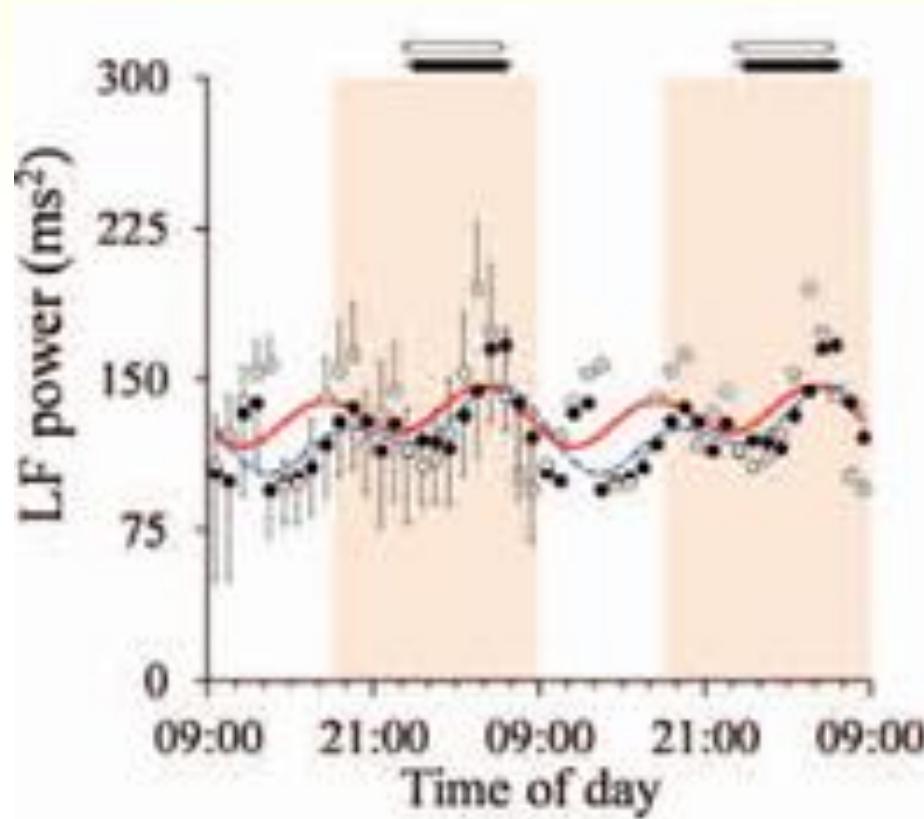
Parametric Spectrum (AR Model)



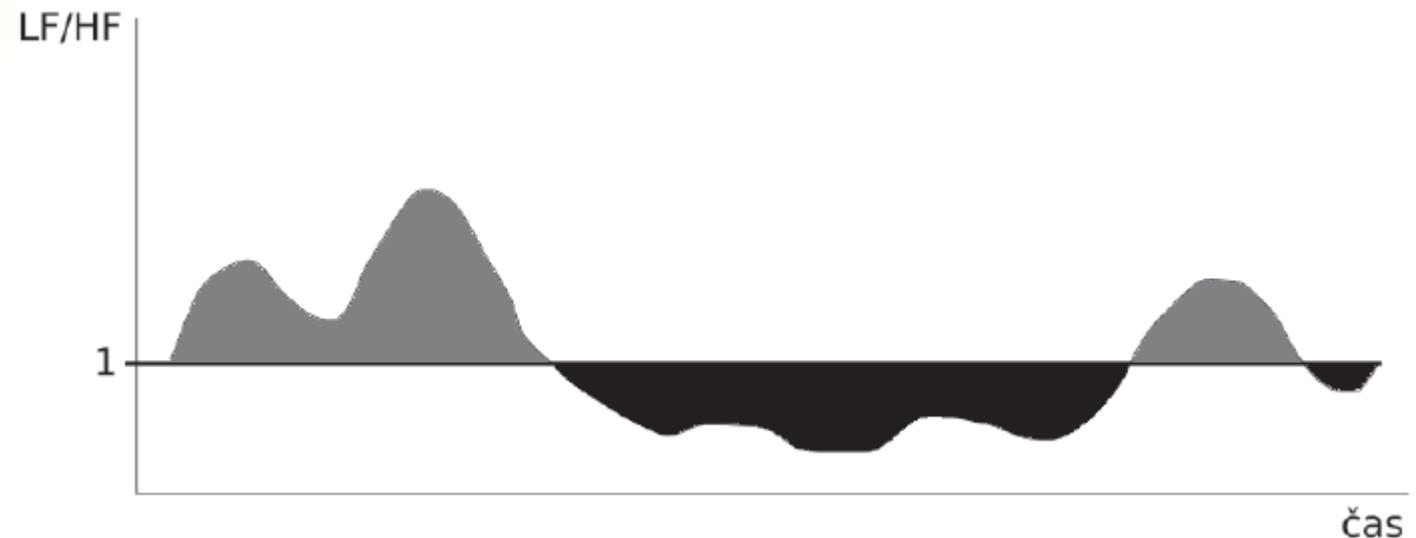
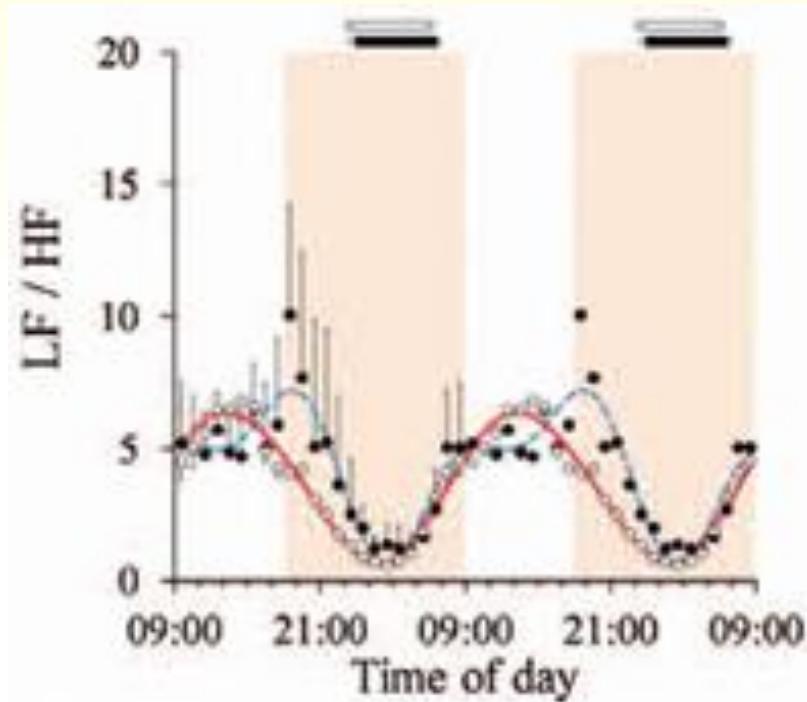
# Parametry HRV ve spektrální oblasti



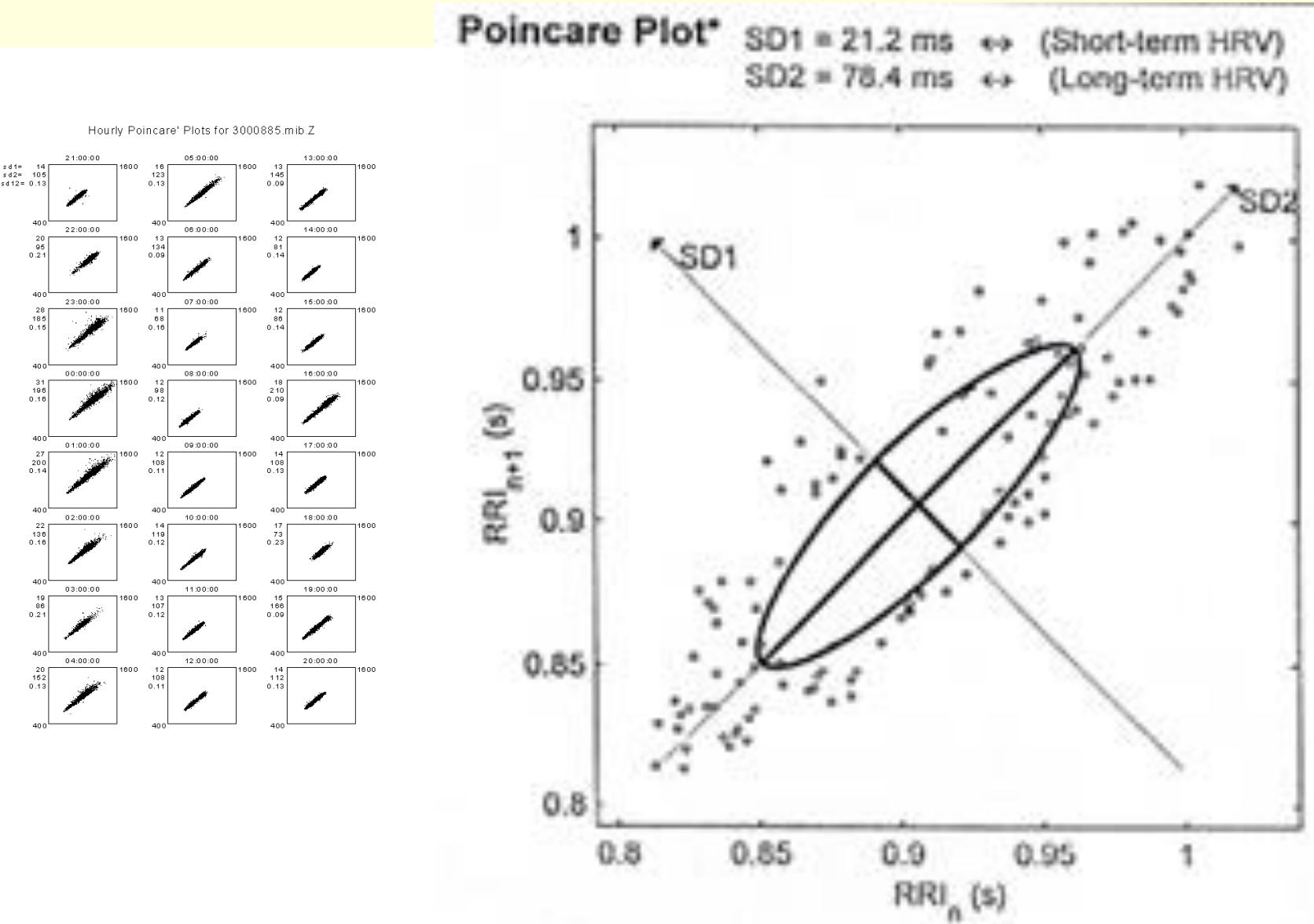
# Parametry HRV ve spektrální oblasti



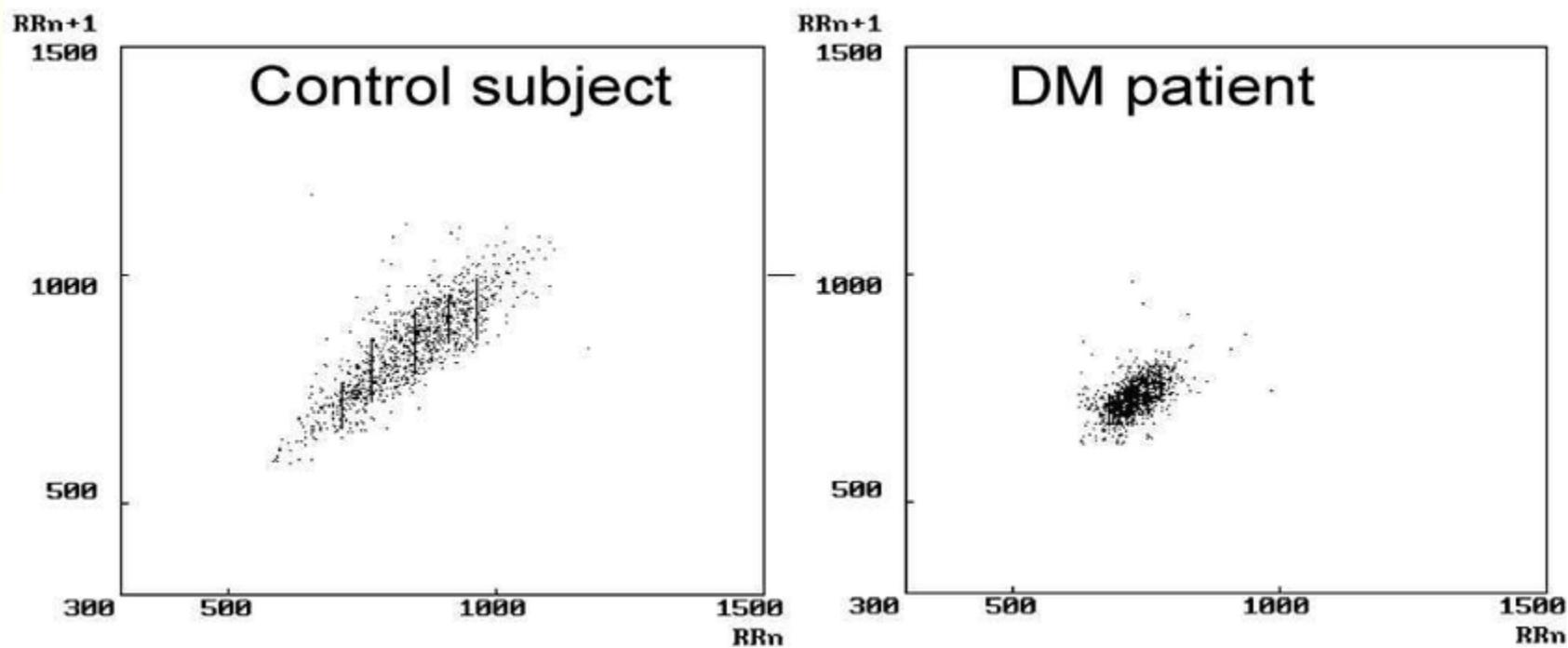
# Parametry HRV ve spektrální oblasti



# Nelineární metody – Poincare plot

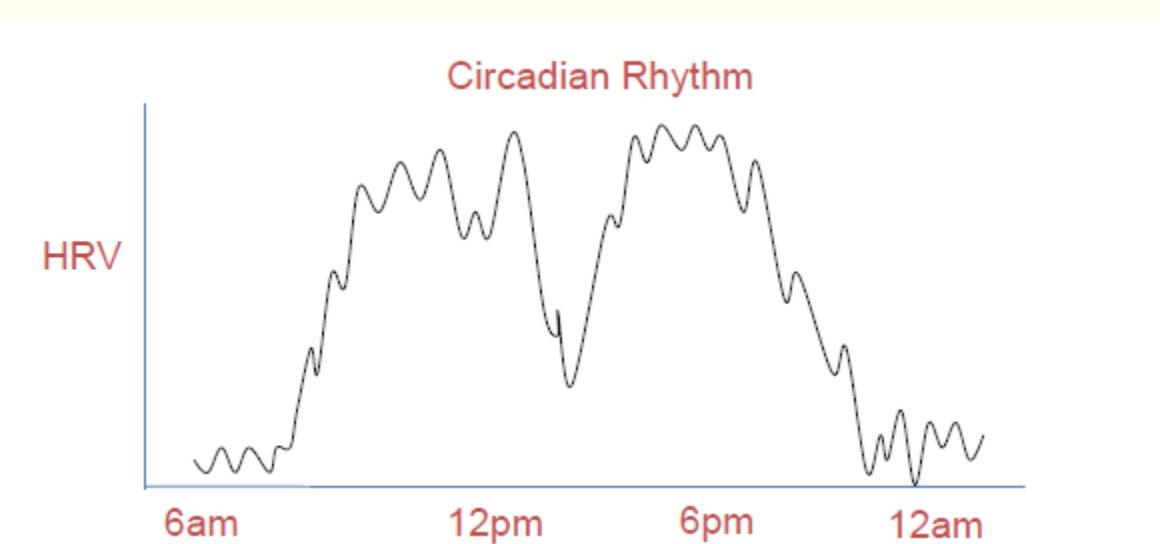


# HRV a DM1

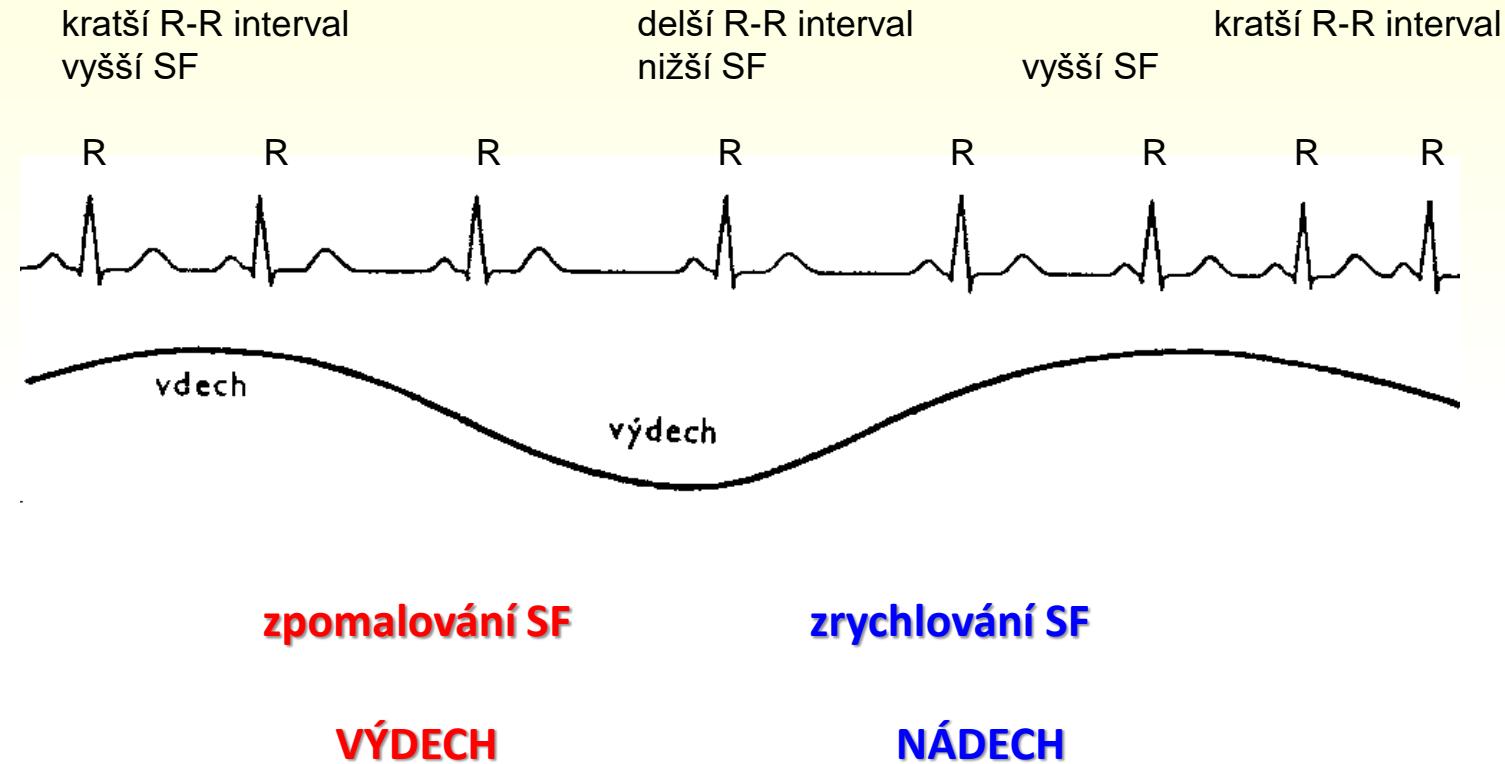


# Závislost parametrů HRV

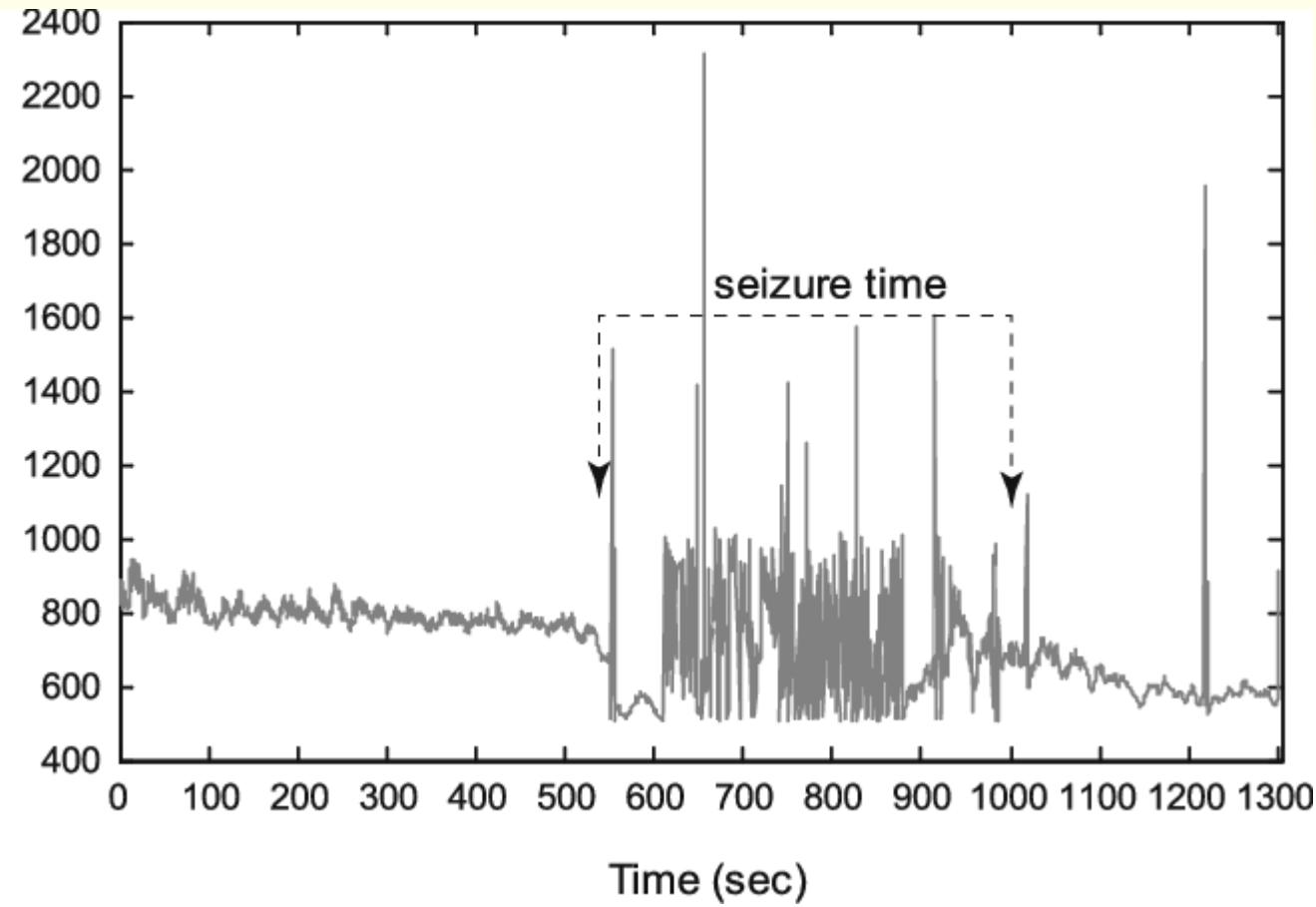
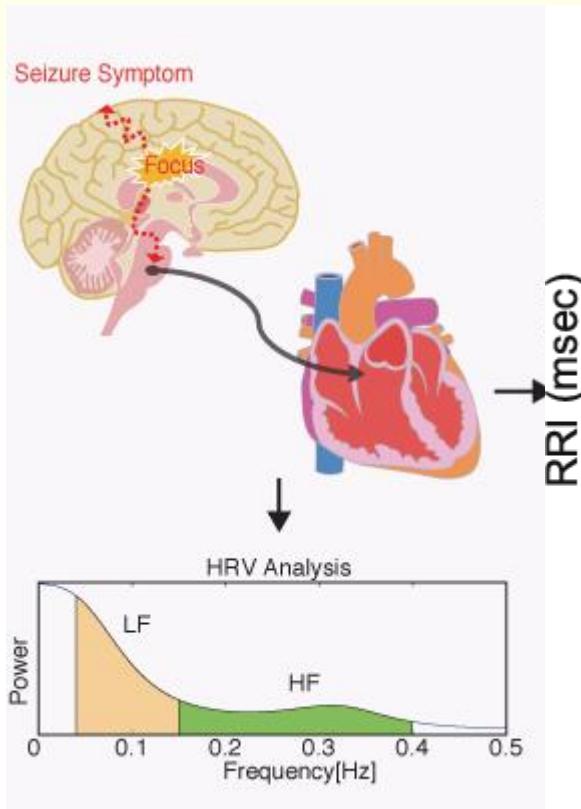
- věk
- pohlaví
- krátkodobé
- dlouhodobé



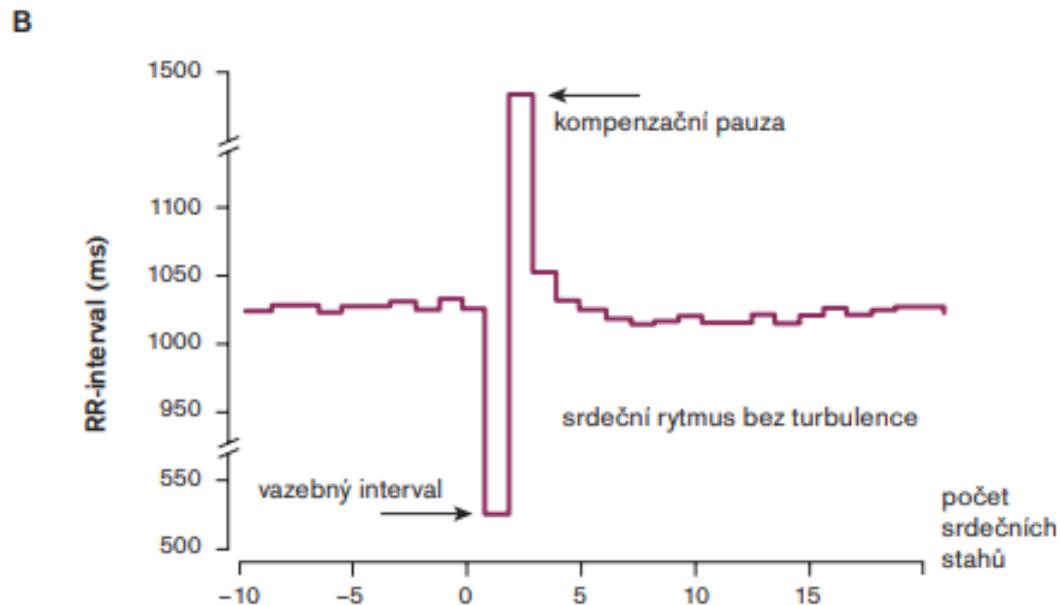
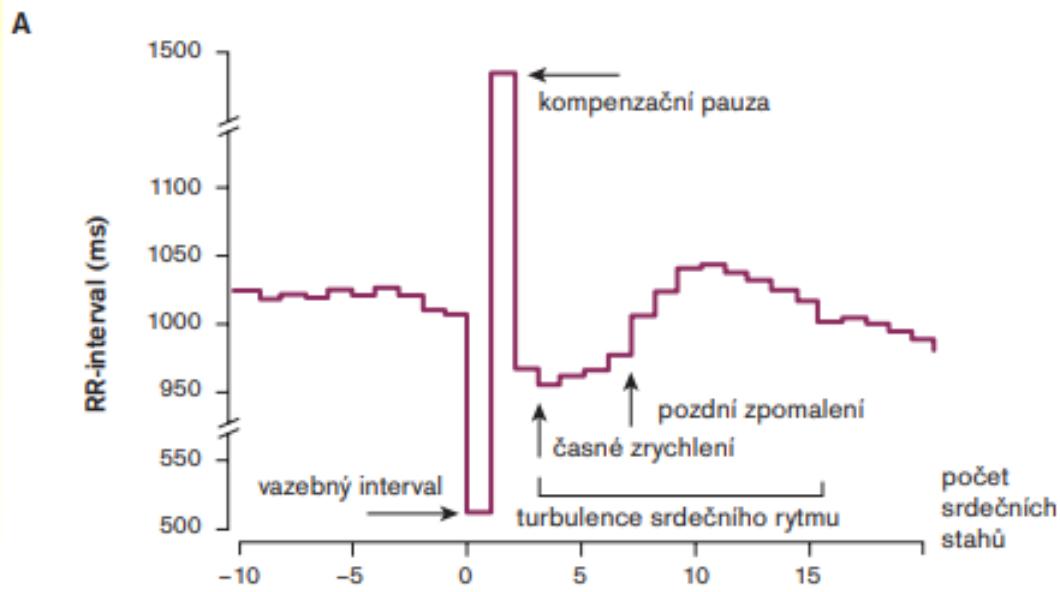
# Variabilita srdeční frekvence



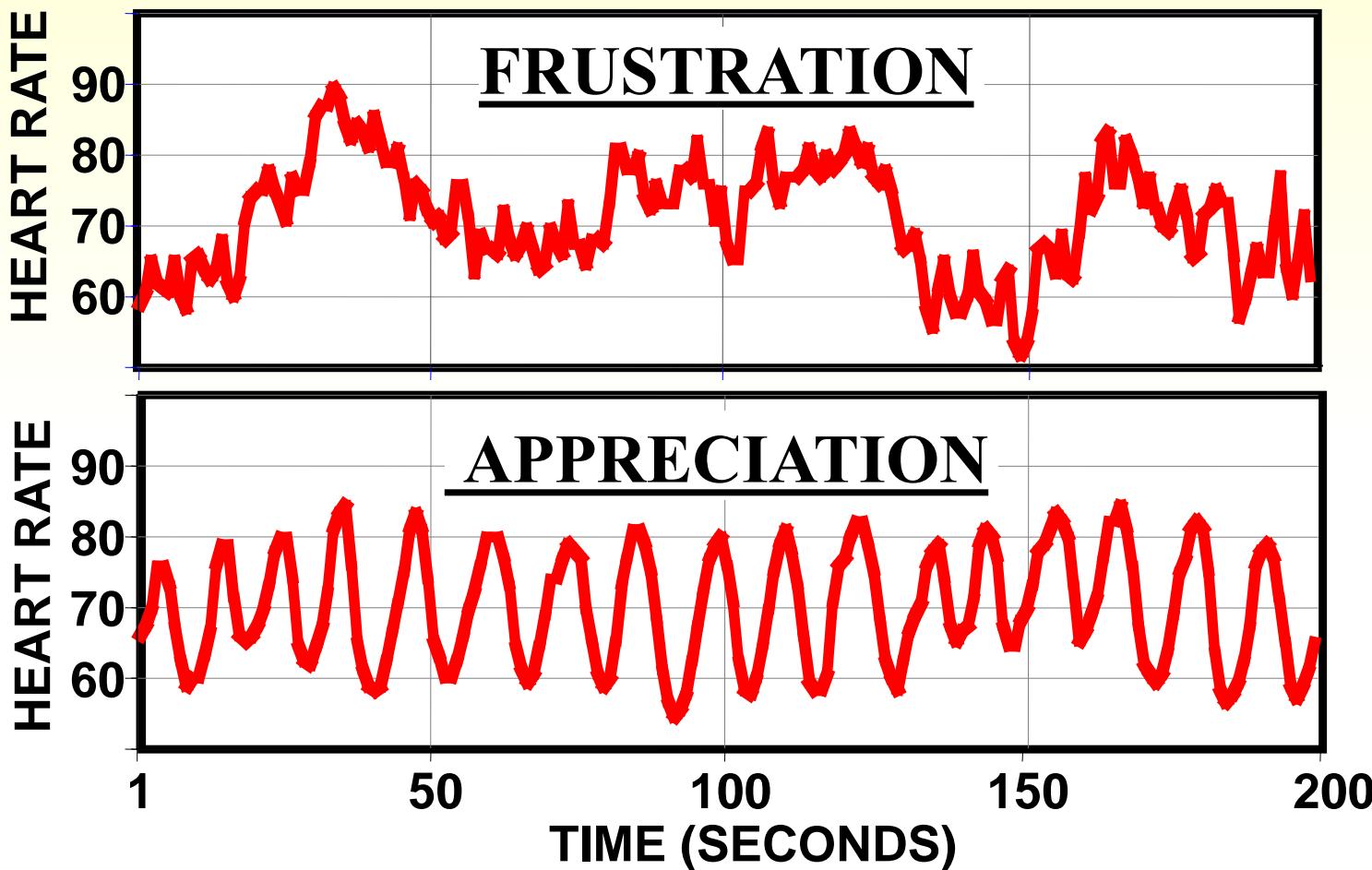
# HRV a epilepsie



# Turbulence srdečního rytmu



# Emoce ve vzorcích srdečního rytmu



# HRV s PPG i s EKG

- jednoduché
- levné
- snadné
- neinvazivní

	Subject 1		Subject 2		Subject 3	
	ECG signal	Carotid pulse	ECG signal	Carotid pulse	ECG signal	Carotid pulse
Heart rate (bpm)	93.68	93.78	82.04	82.16	91.67	91.71
Mean RR (s)	0.6403	0.6401	0.7324	0.7304	0.6543	0.6540
RMSSTD	0.6403	0.6402	0.7325	0.7317	0.6552	0.6544
SDNN	0.0067	0.0052	0.0495	0.0492	0.0271	0.0262
SDNN index	0.0067	0.0052	0.0495	0.0492	0.0271	0.0262

HRV, heart rate variability.