

4. PŘEDNÁŠKA

20. října 2022

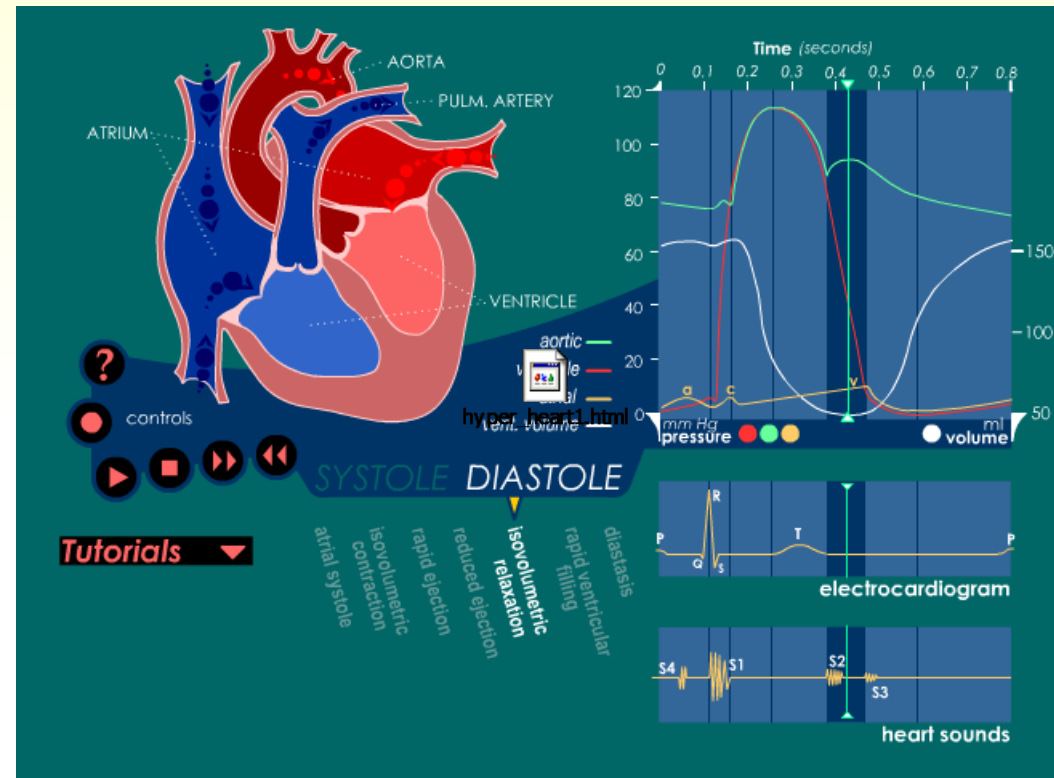
SIGNÁLY SRDCE II.

- **Akustické signály srdce**
 - srdeční chlopně
 - 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

Fonendoskop

France 1816

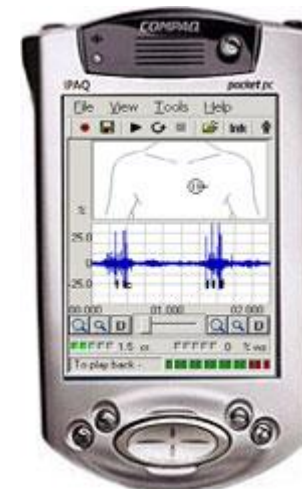
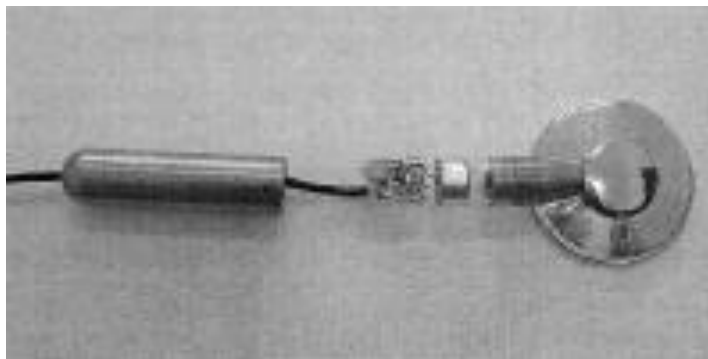


Moderní fonokardiogramy

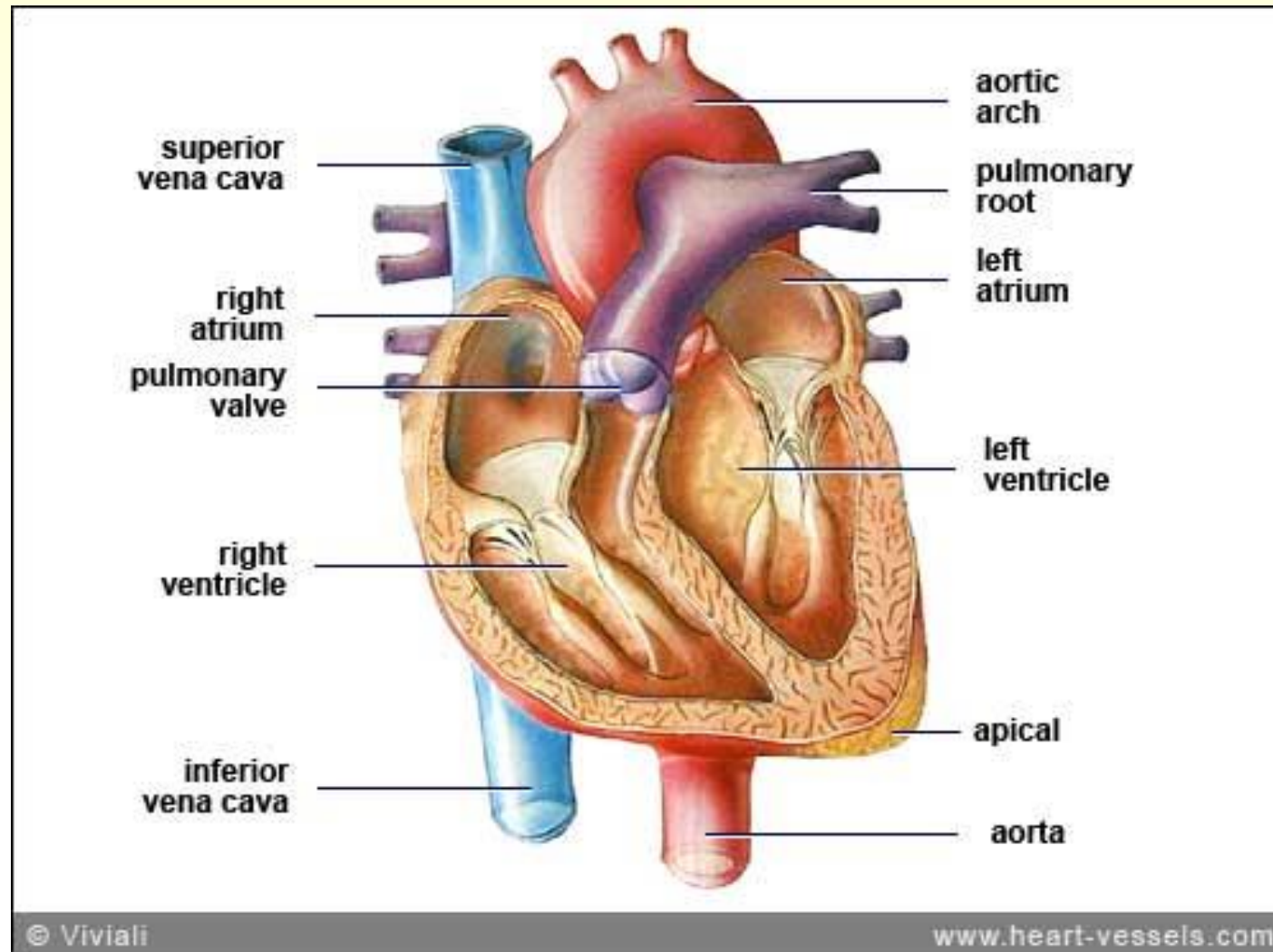


Fonokardiogram

- **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.

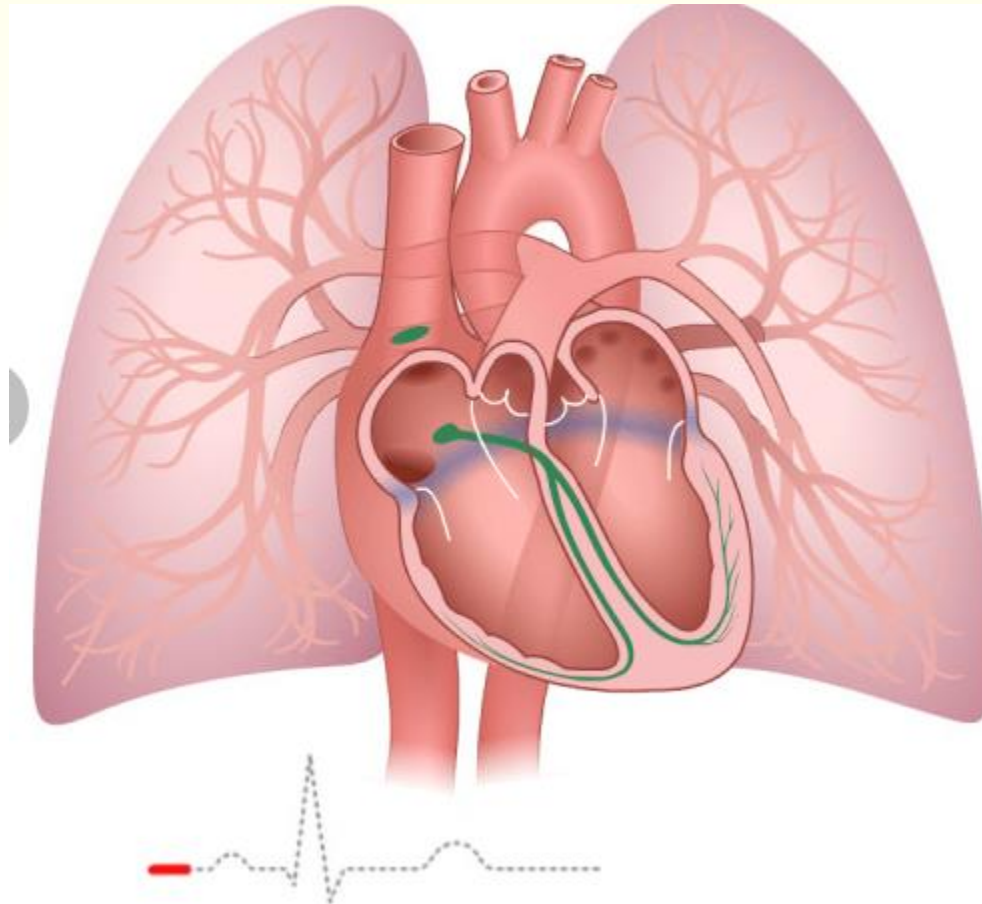


Fonokardiogram



Ozvy – animace

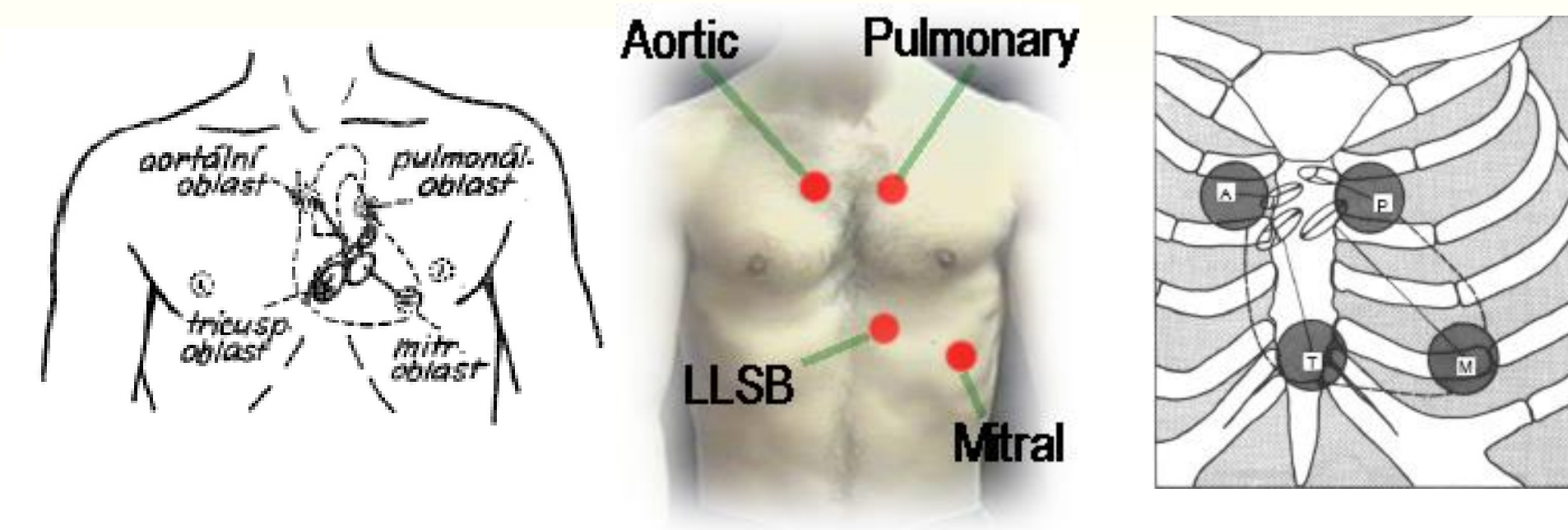
http://pie.med.utoronto.ca/heart_physiology/module/ecg.html



Fonokardiogram

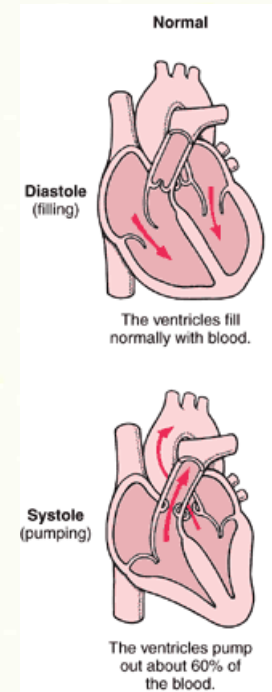
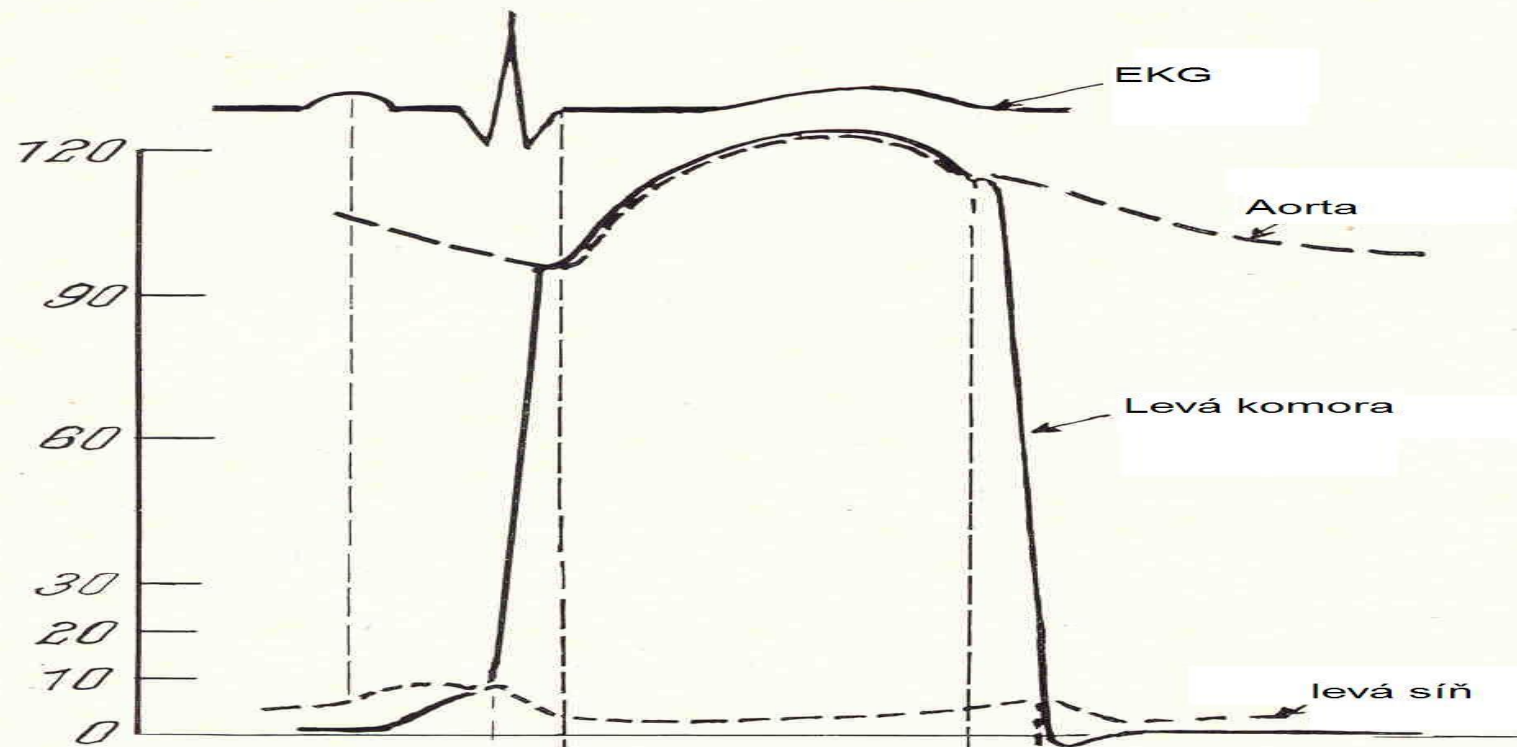
snímací místa

poslechová místa srdečních ozev



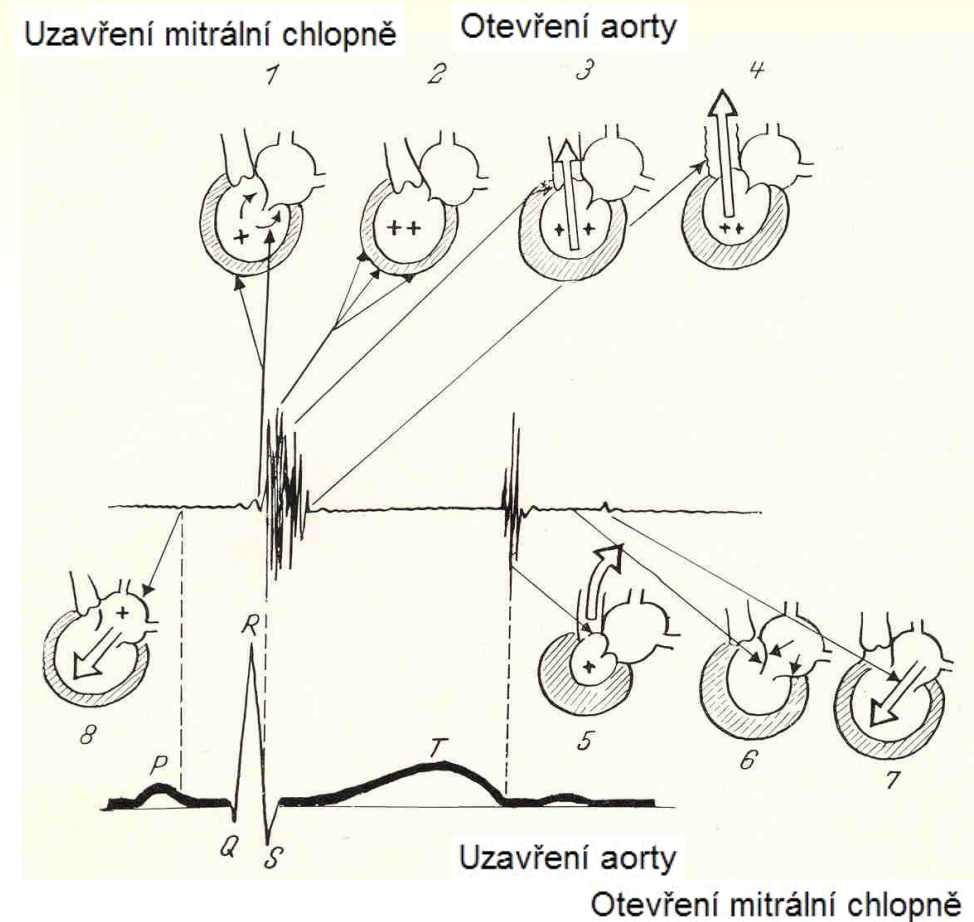
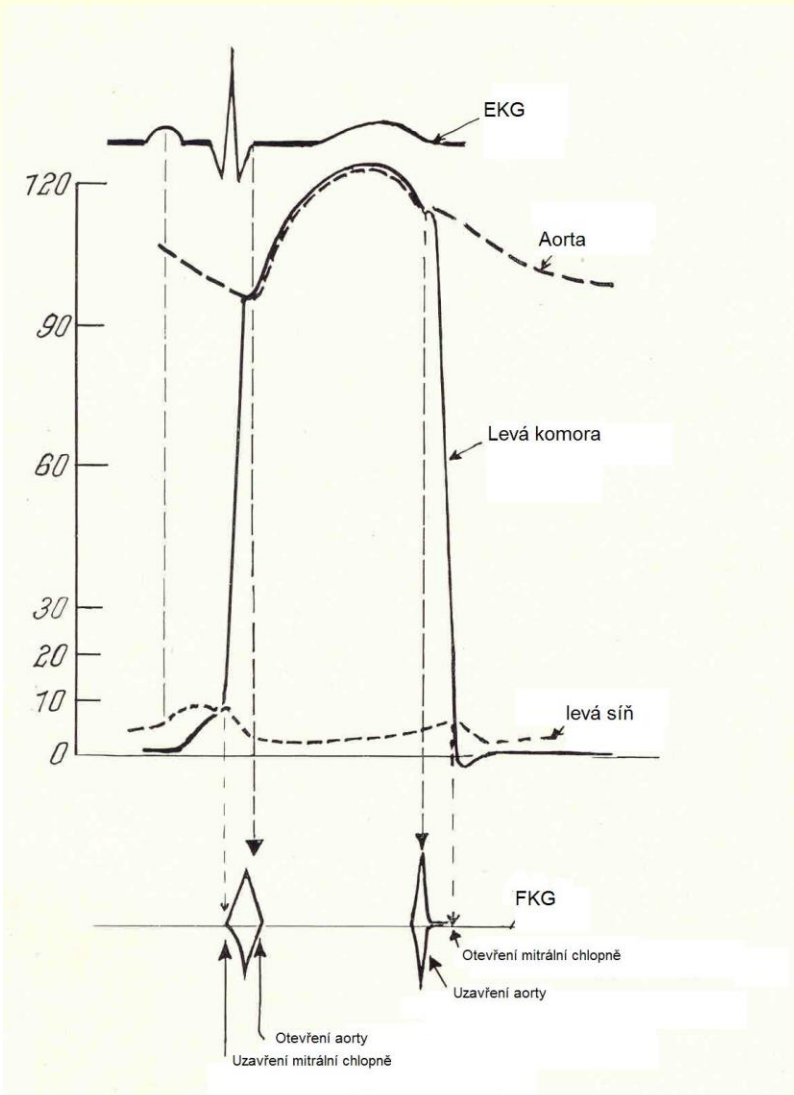
srdeční ozvy – ohraničené krátce trvající zvuky vyvolané standardní činností myokardu

Vzájemný vztah EKG signálu, tlaku v aortě a srdečních ozv



diastola	systola		diastola	
otevřené	zavřené		otevřené	cípaté
zavřené	otevřené	zavřené	zavřené	chloupně
				poloměsíčitě
				chloupně

Vzájemný vztah EKG signálu, tlaku v aortě a srdečních ozev



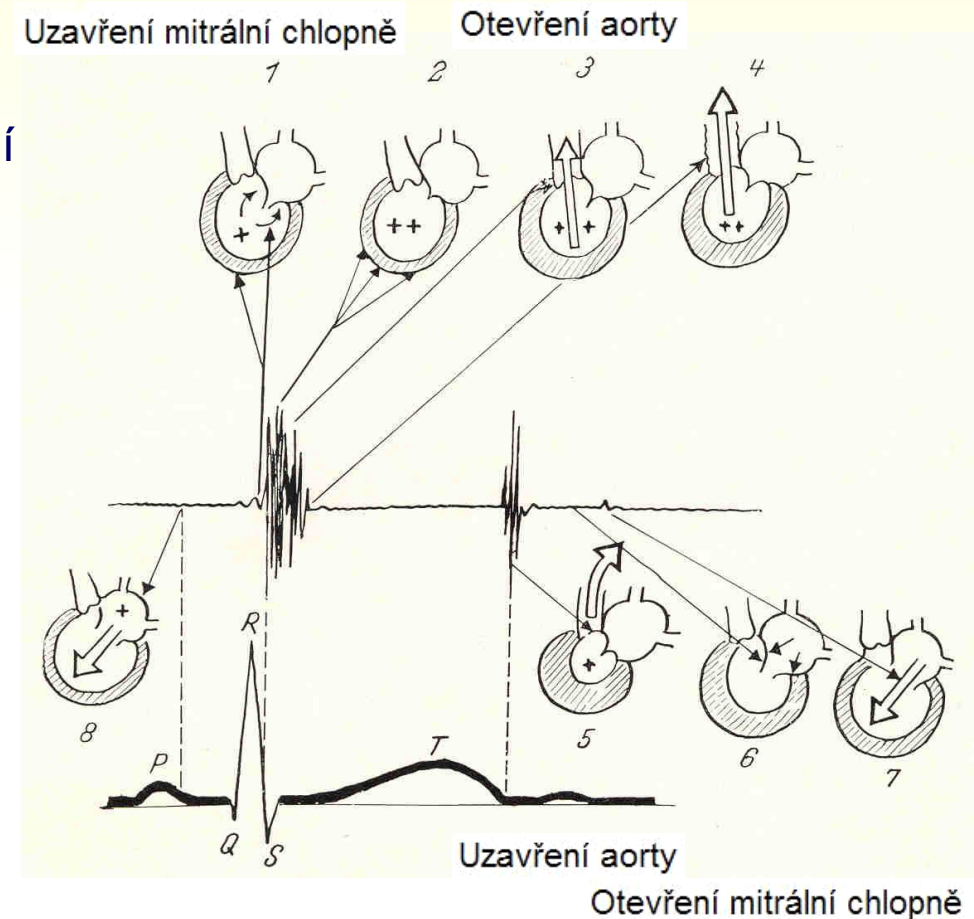
Fonokardiogram - I. ozva

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



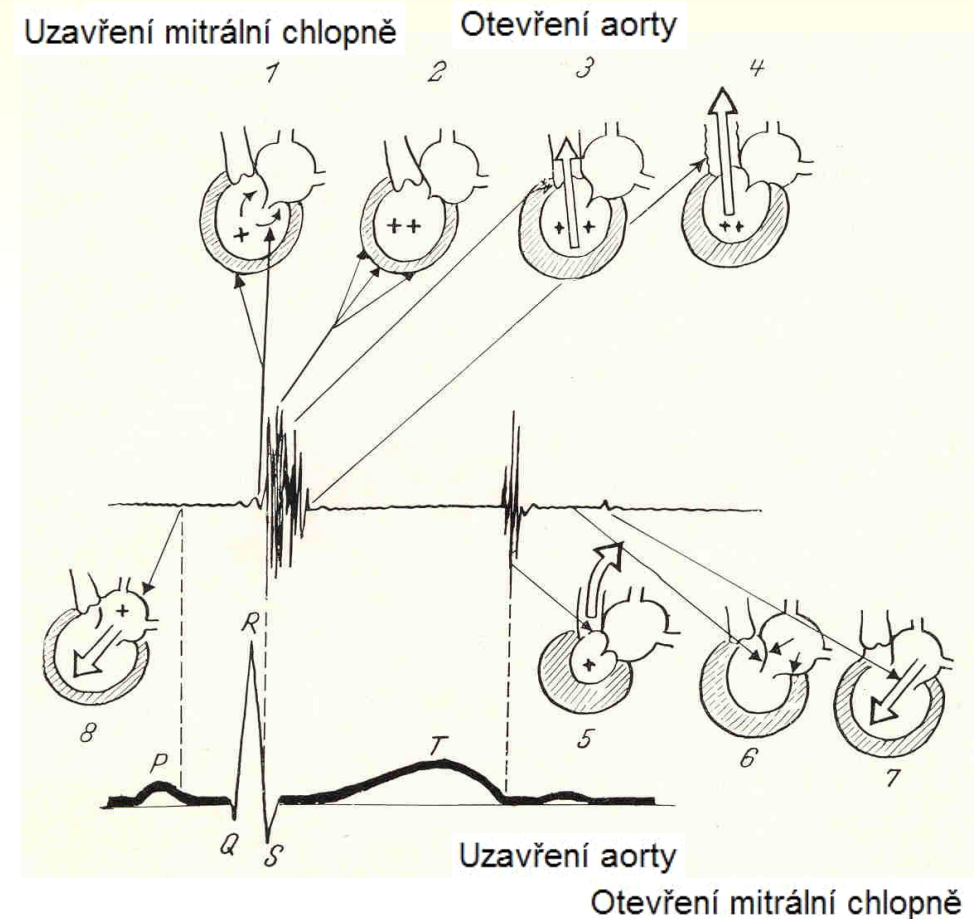
Fonokardiogram - II. ozva

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:

1. Uzavření aorty a plicnice
2. Otevření mitrální a trikuspidální ch.



Fonokardiogram – III. a IV. ozva

III. a IV. ozva

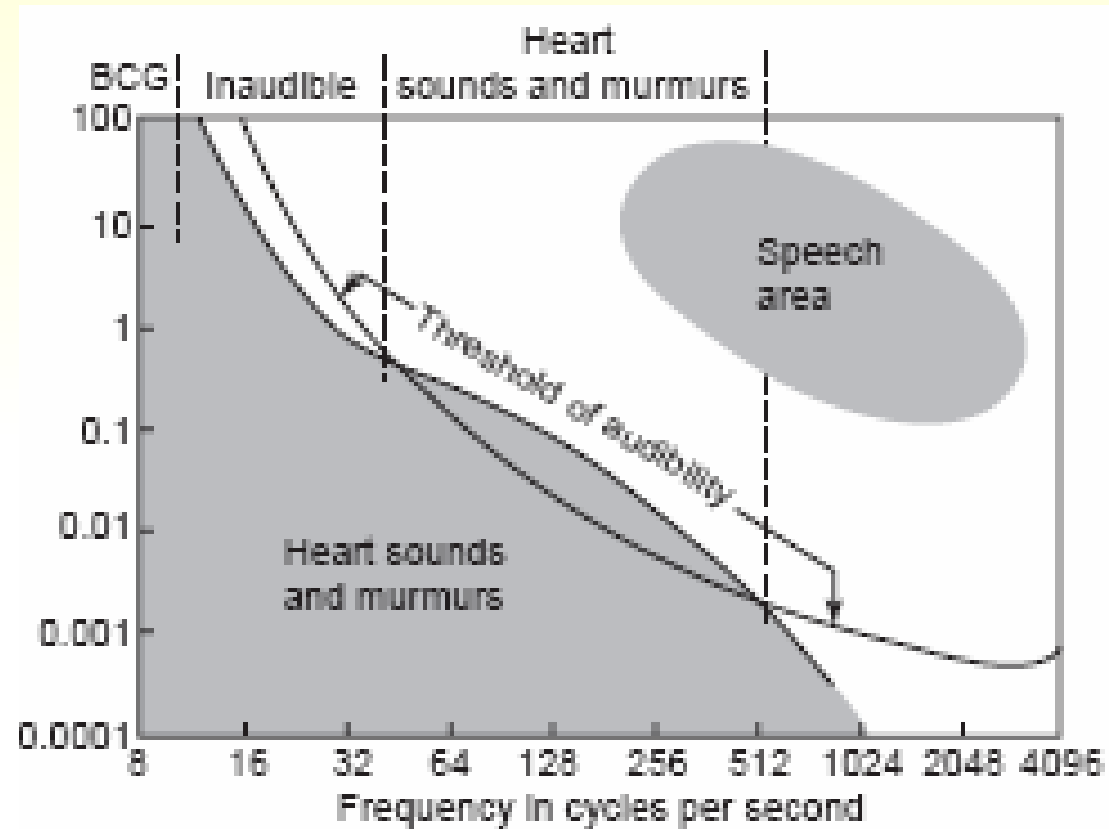
- obtížně slyšitelné,
registrovatelné pouze na fonokardiogramu
- významně nižší úroveň signálu
- pásmo 10 až 40 (70) Hz
- **III. ozva** během vlny U
(konec rychlého plnění komory)
- **IV. ozva** těsně před komplexem QRS
(splývá s I. ozvou)

Fonokardiogram - šelesty

Srdeční šelesty

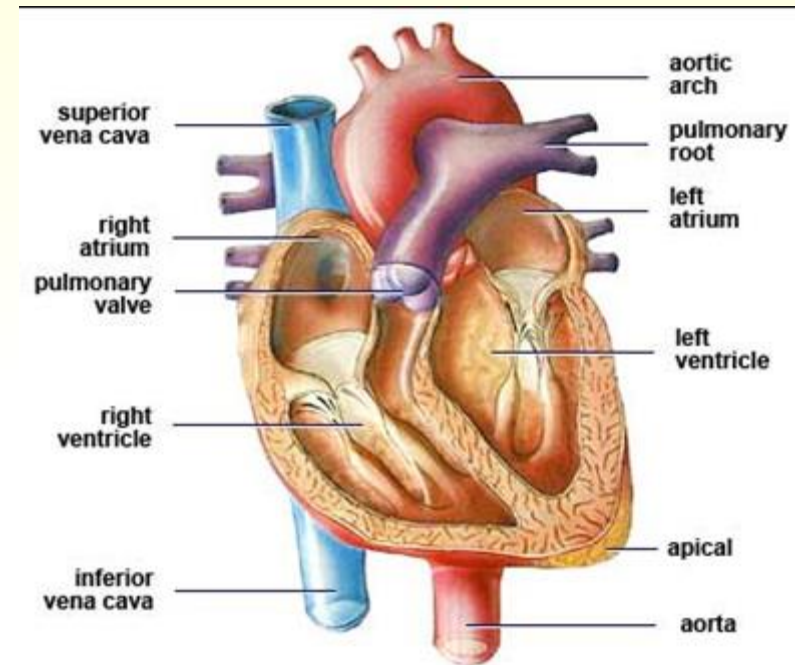
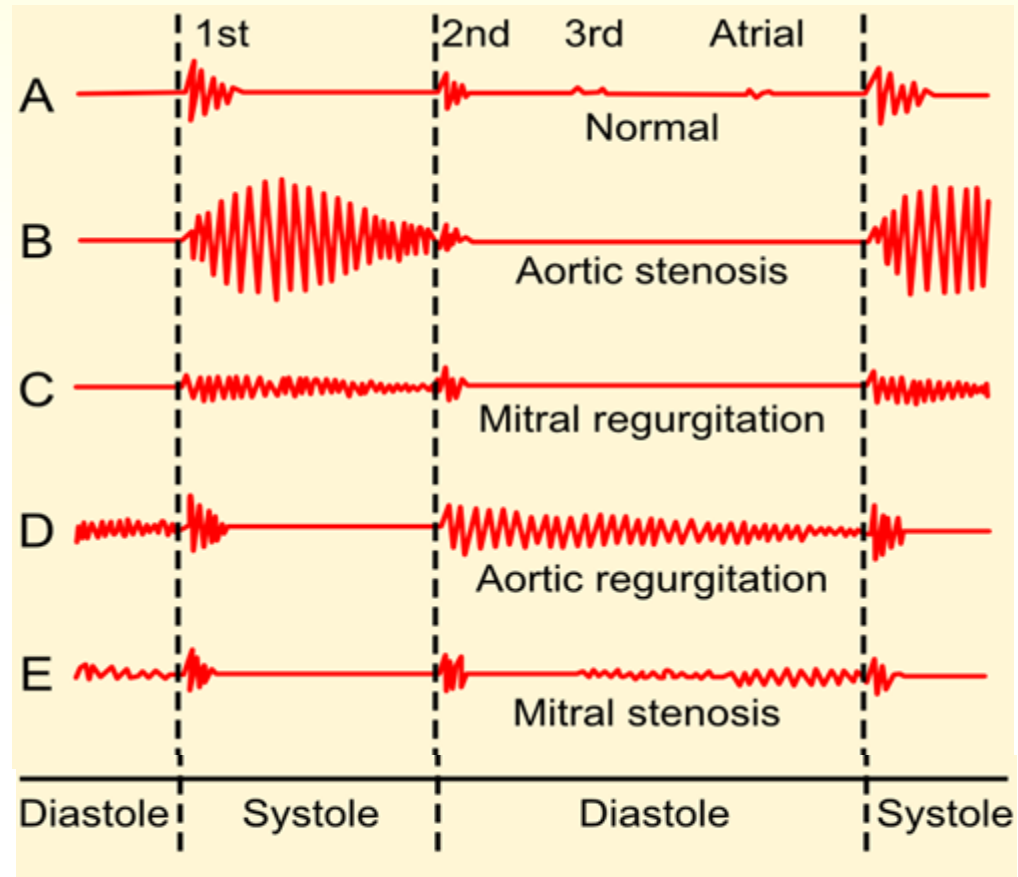
- vznikají jako důsledek víření krve; trvají déle než normální ozvy
- **patologické** (chlopňové vady)
charakter je typický pro různé druhy srdečních vad
- **fyziologické**
 - nitrosrdeční a nitrocévní
(zrychlení krevního toku u mladých osob)
 - mimosrdeční (srdečně plicní, osrdečnickové)
vznikají v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

Fonokardiogram

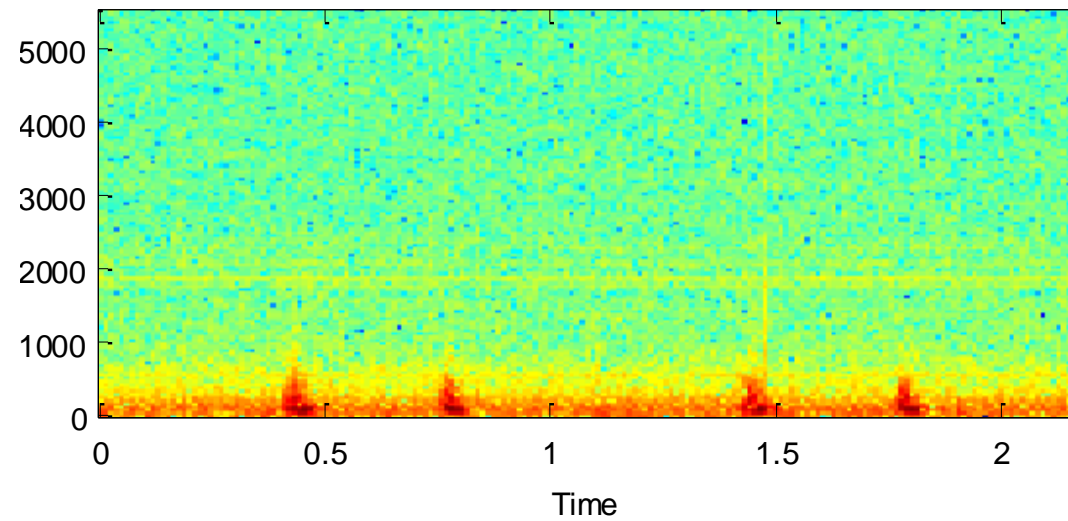
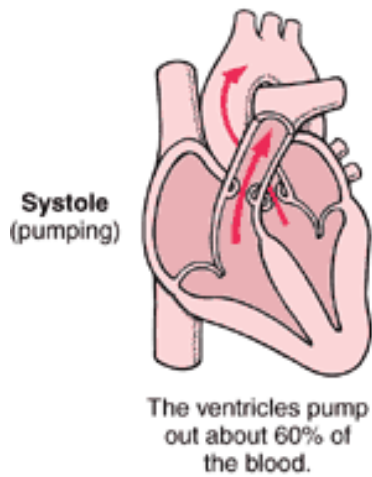
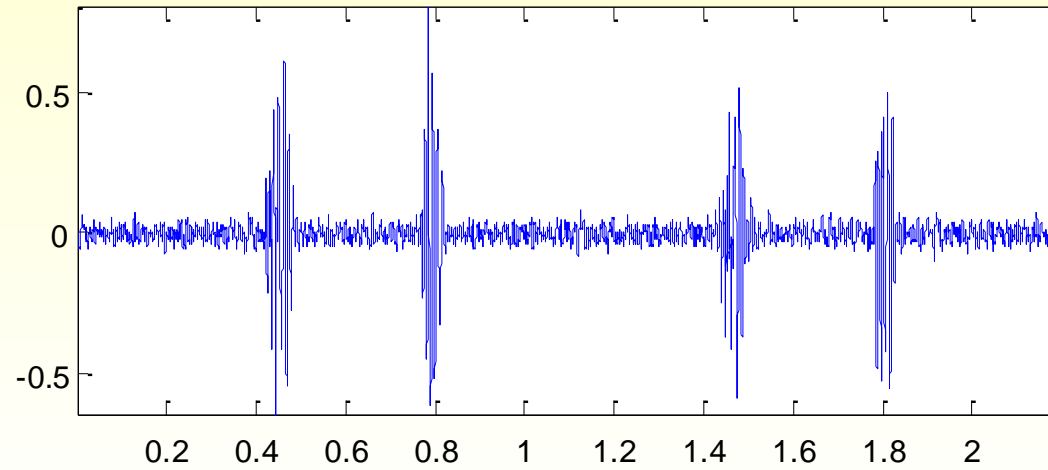
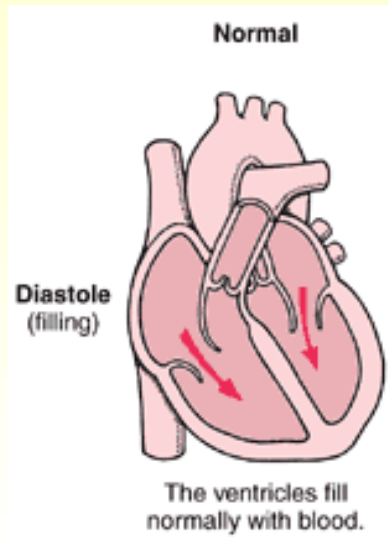


- Intenzita srdečních ozev a šelestů ve vztahu k prahu slyšitelnosti a k řeči

Fonokardiogram

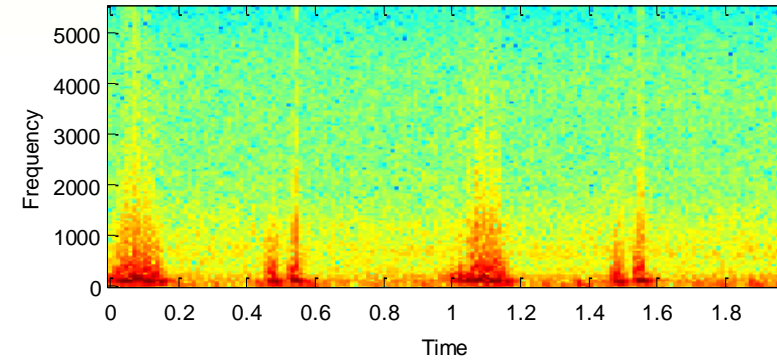
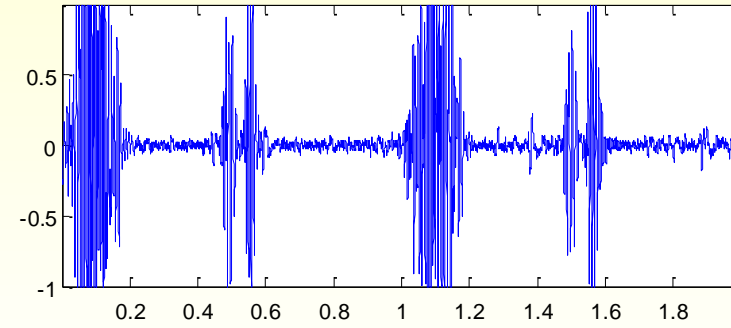
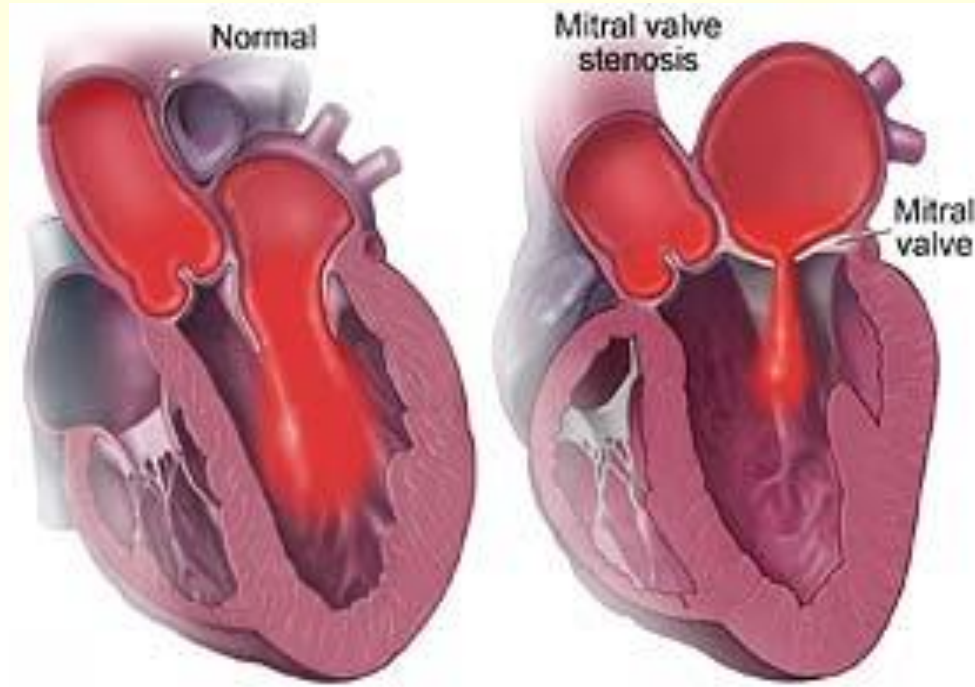


Normální



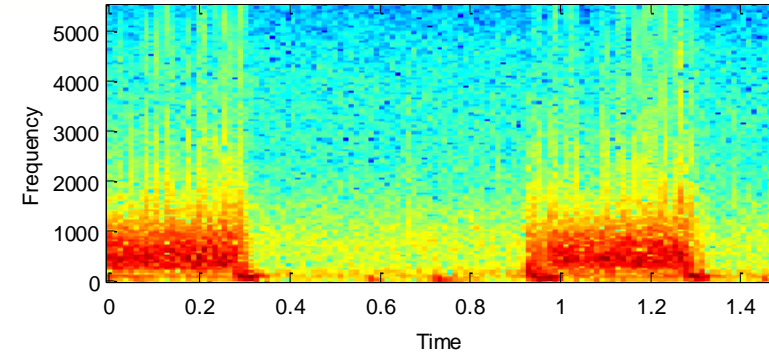
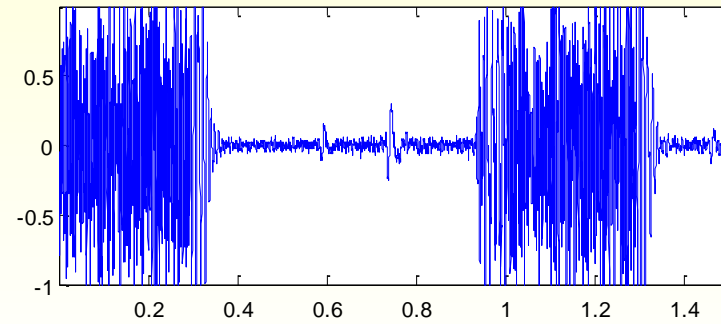
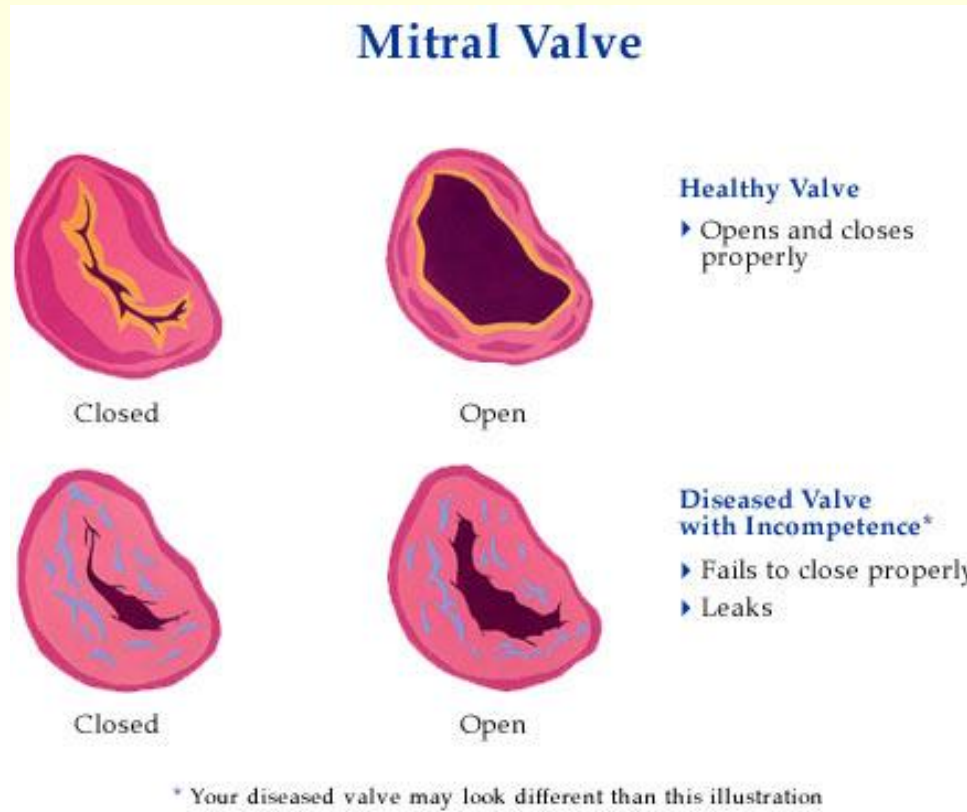
Normální srdeční ozvy

Mitrální stenóza

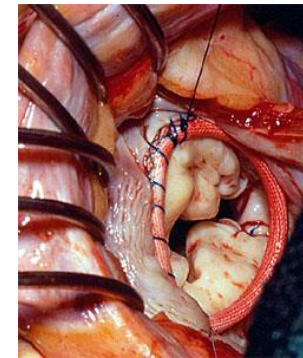


Zesílená první ozva zní klapavě

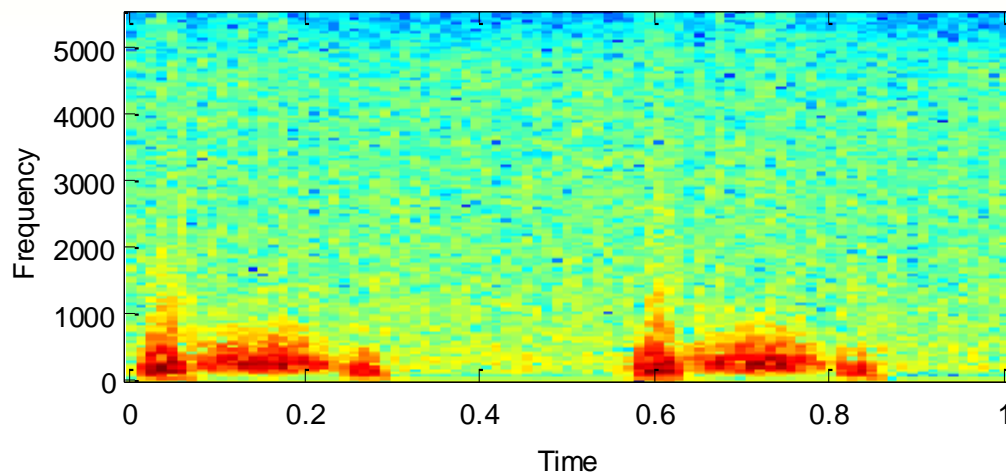
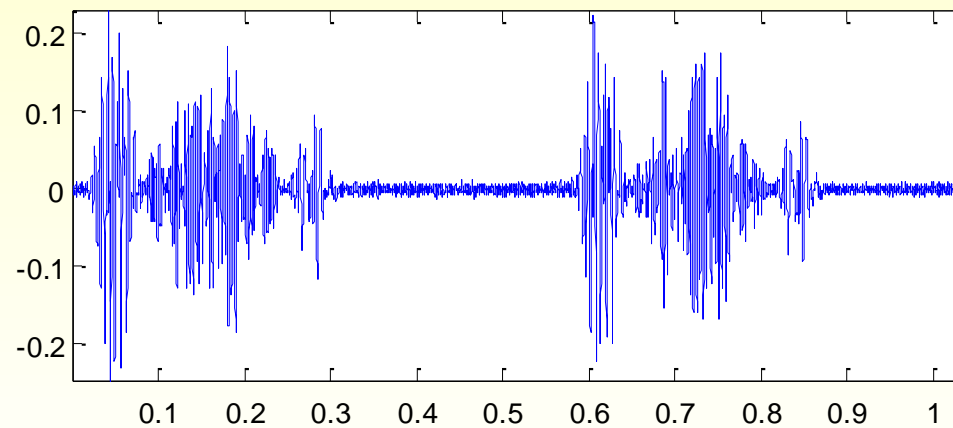
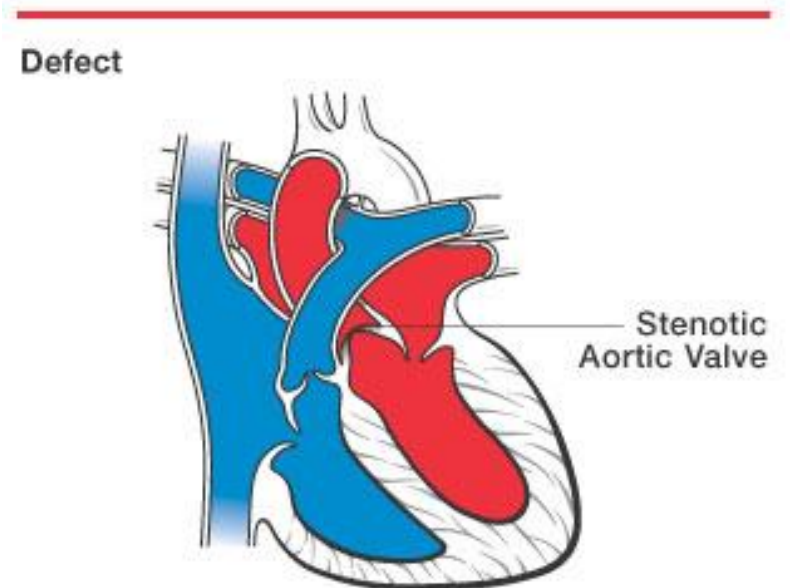
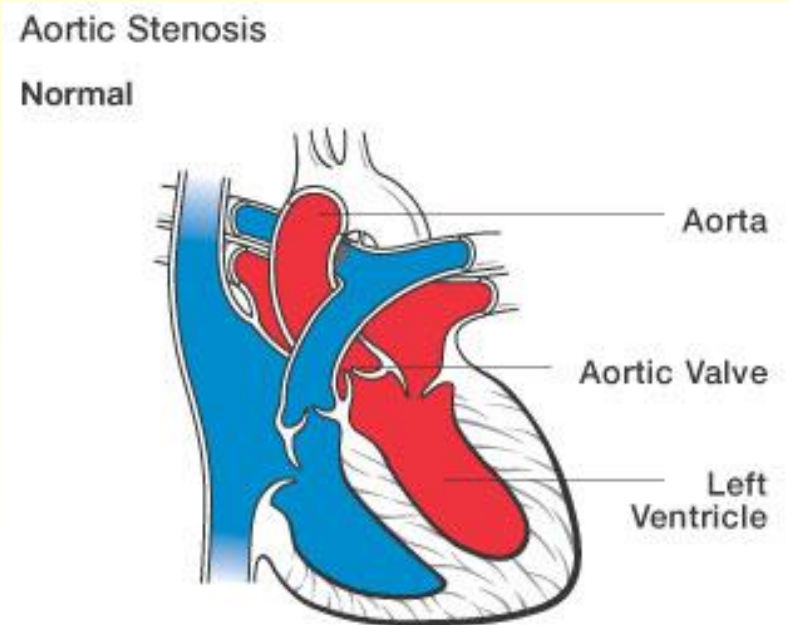
Mitrální regurgitace



Systolický šelest

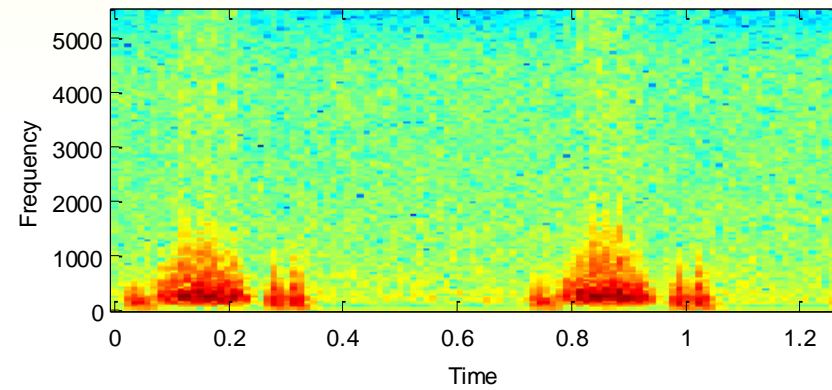
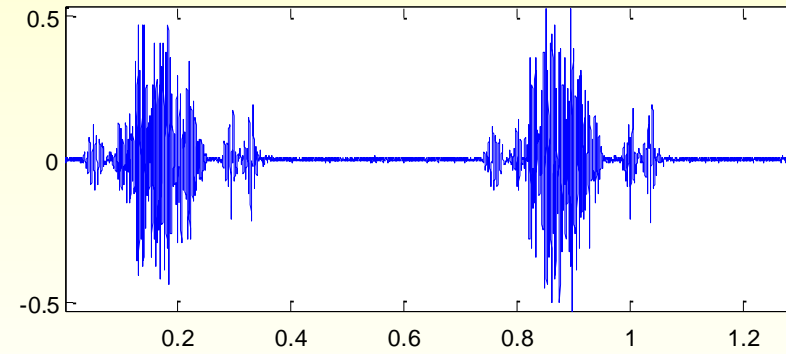
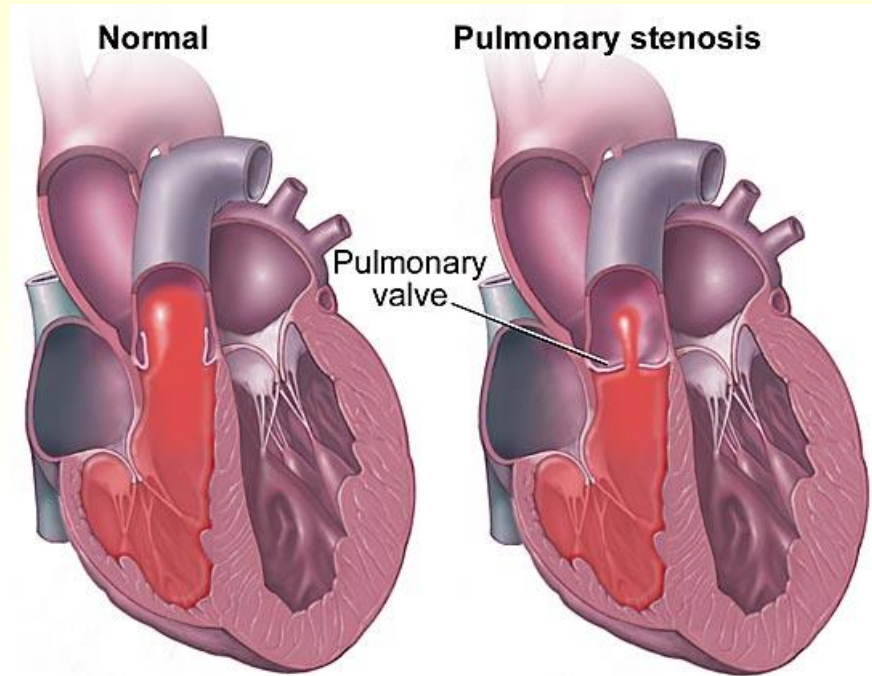


Aortální stenóza



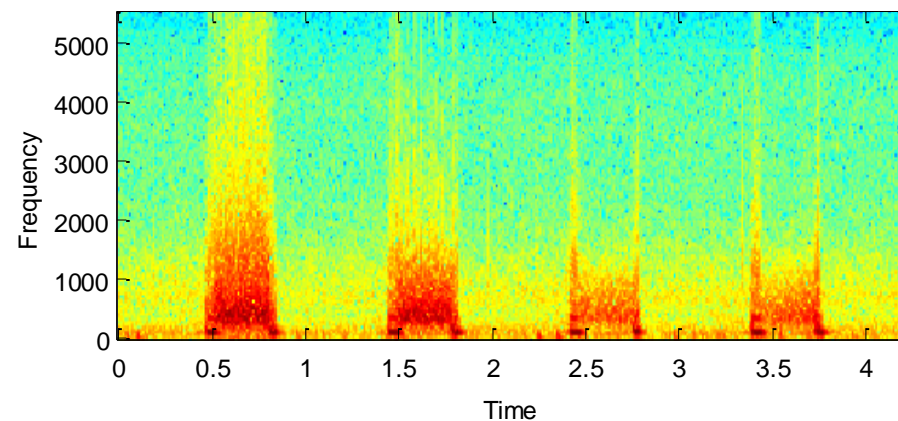
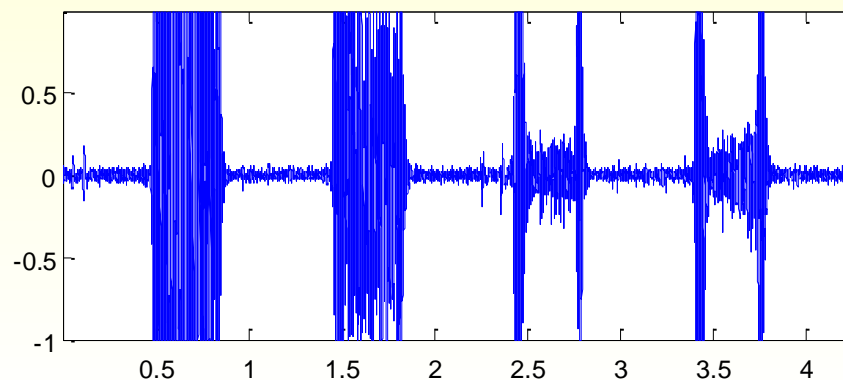
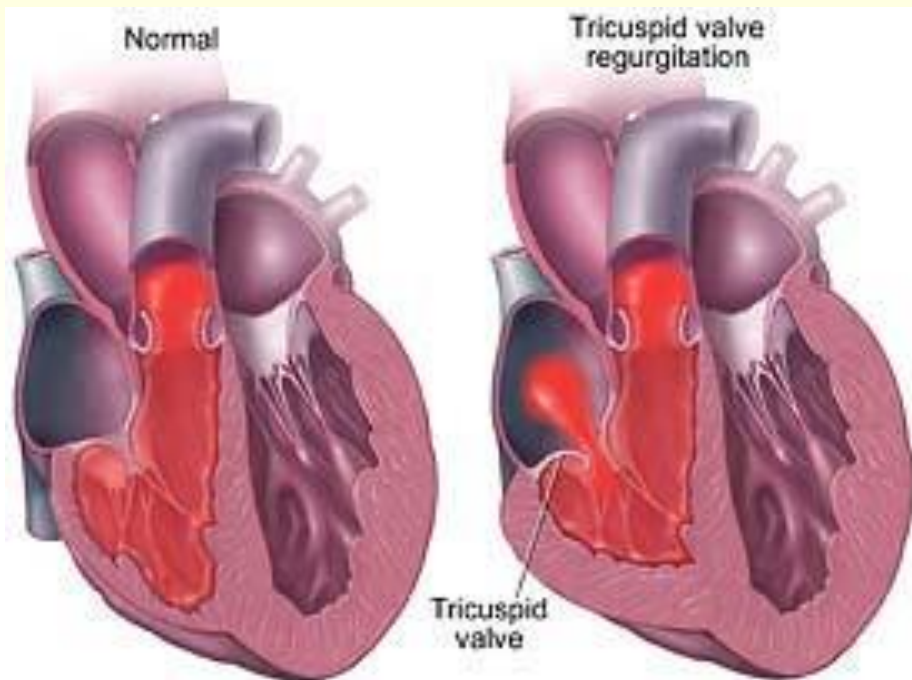
Otevření aorty, časné systolické ozvy

Pulmonální stenóza



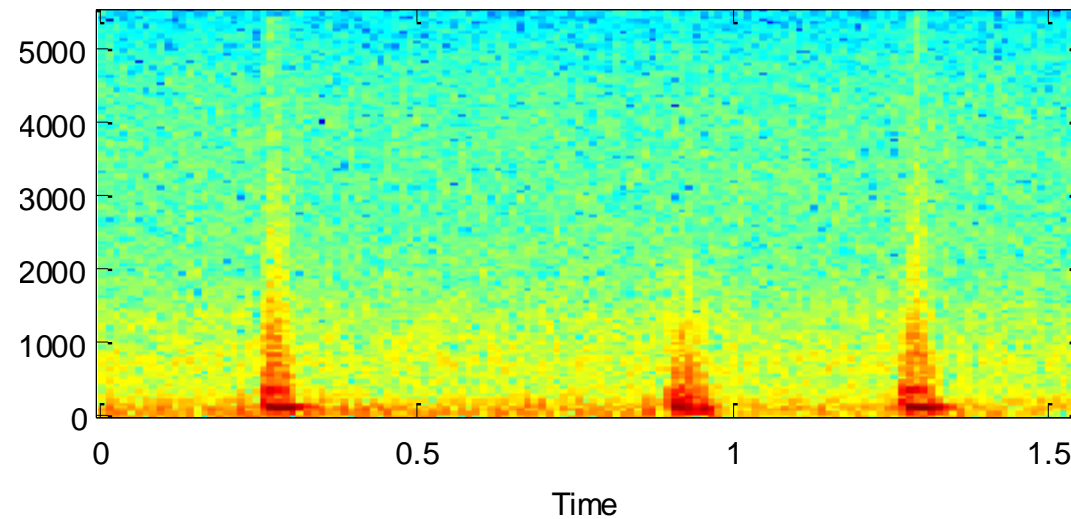
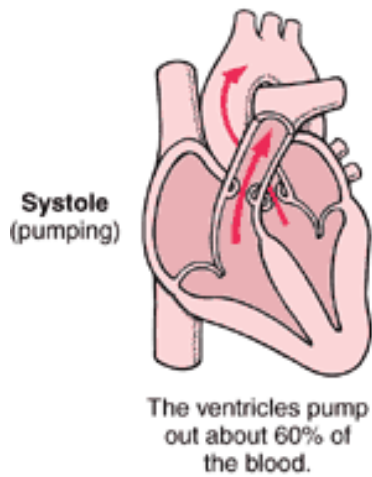
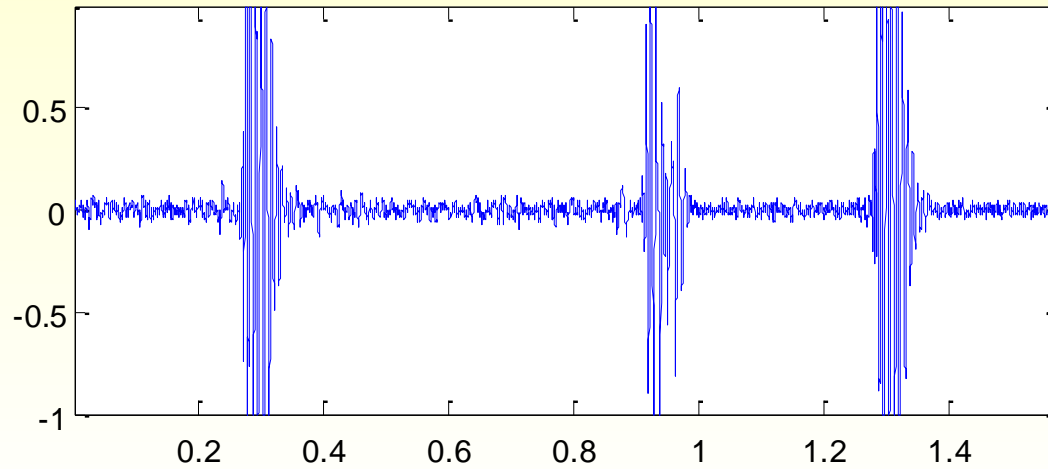
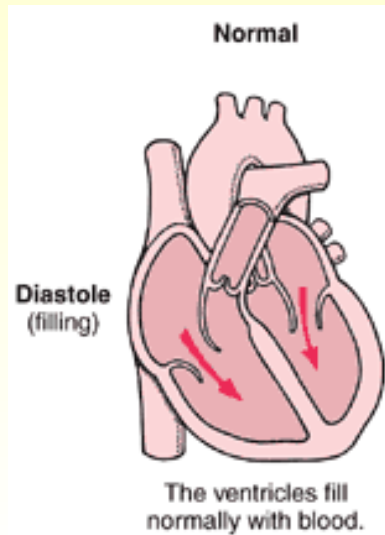
Systolický šelest

Trikuspidální nedomykavost



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

Systemová hypertenze



Zesílená druhá ozva

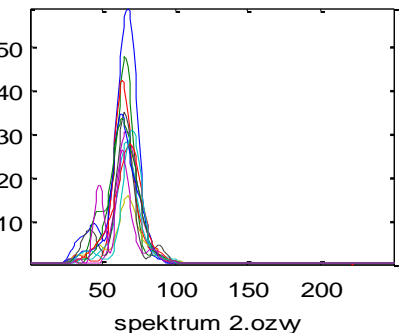
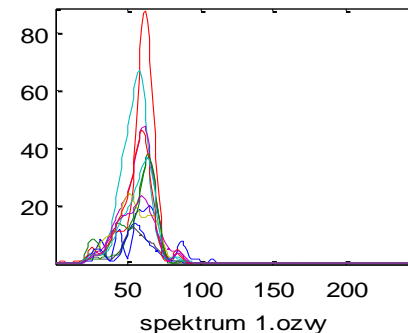
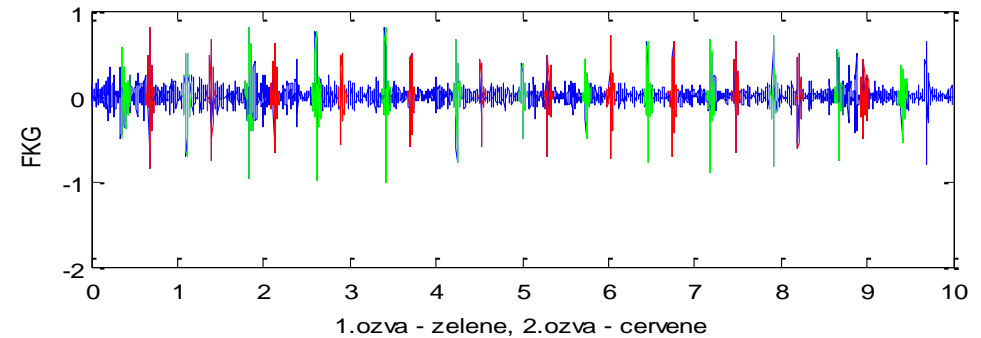
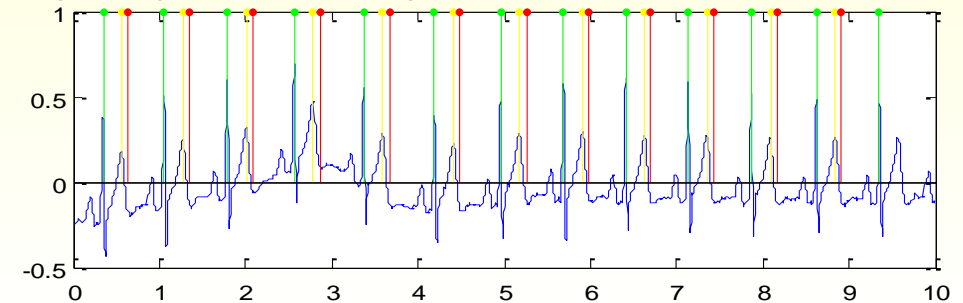
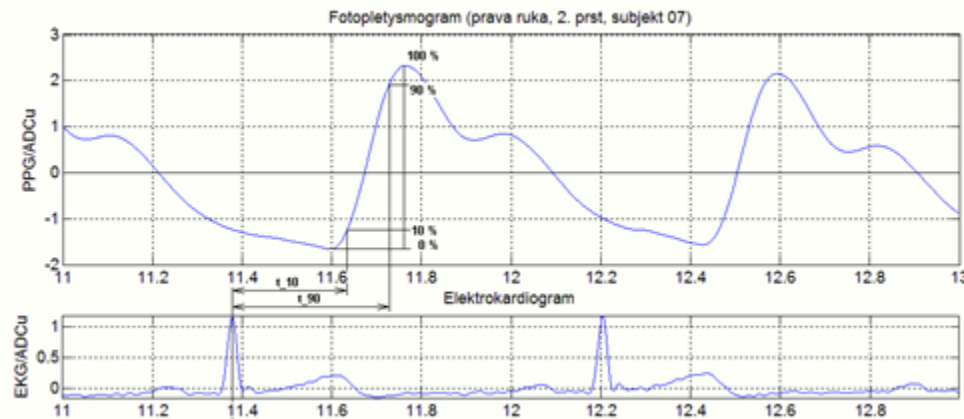
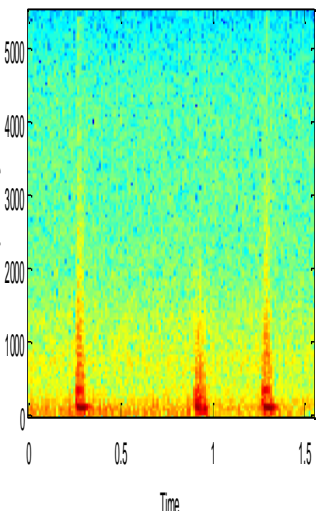
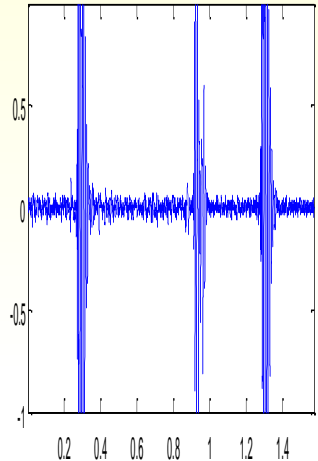
Zpracování FKG

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



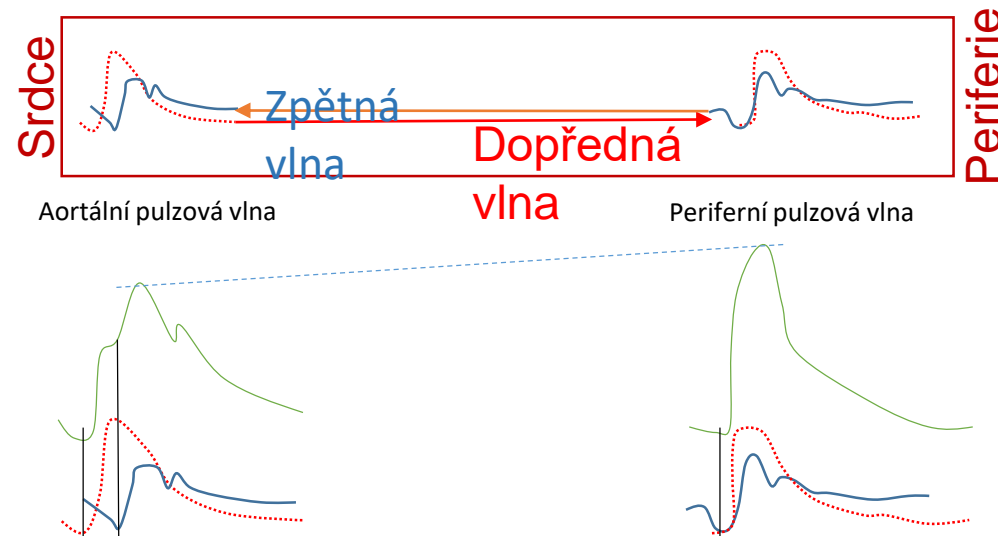
Pletysmogram

- Pletysmogram
 - pulsní vlna
 - charakteristiky pulsní vlny

Pulzní vlna

- **Pulzní vlna**

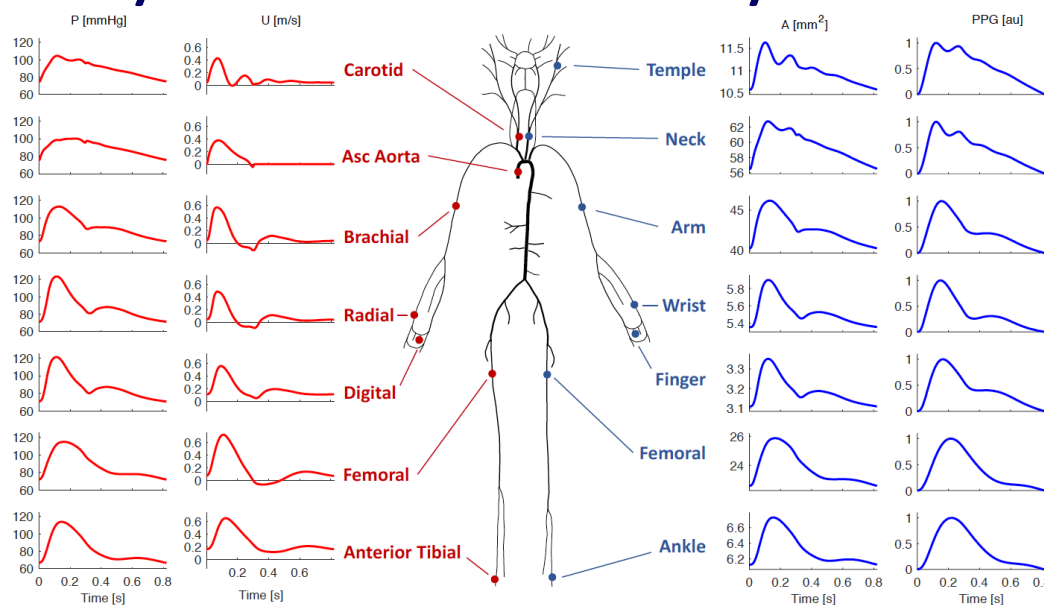
- vzniká systoly (vypuzení krve z levé komory do velkého oběhu)
- arteriální systém se s tímto rychle vypuzeným objemem vyrovnává svou elasticitou
- pulz bezprostředně po systole prochází celým arteriálním systémem velkou rychlostí



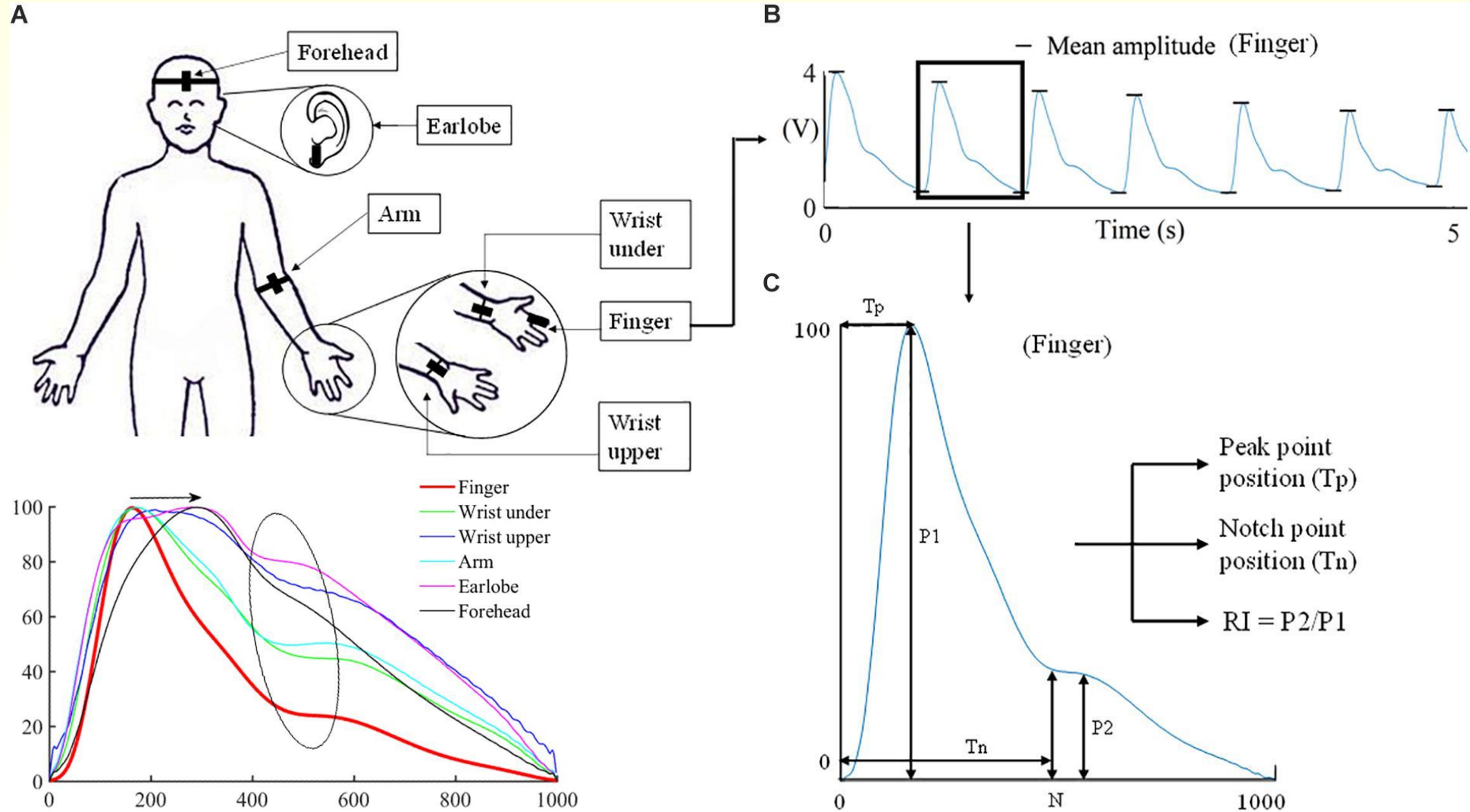
Pulzní vlna

- Pulzní vlna

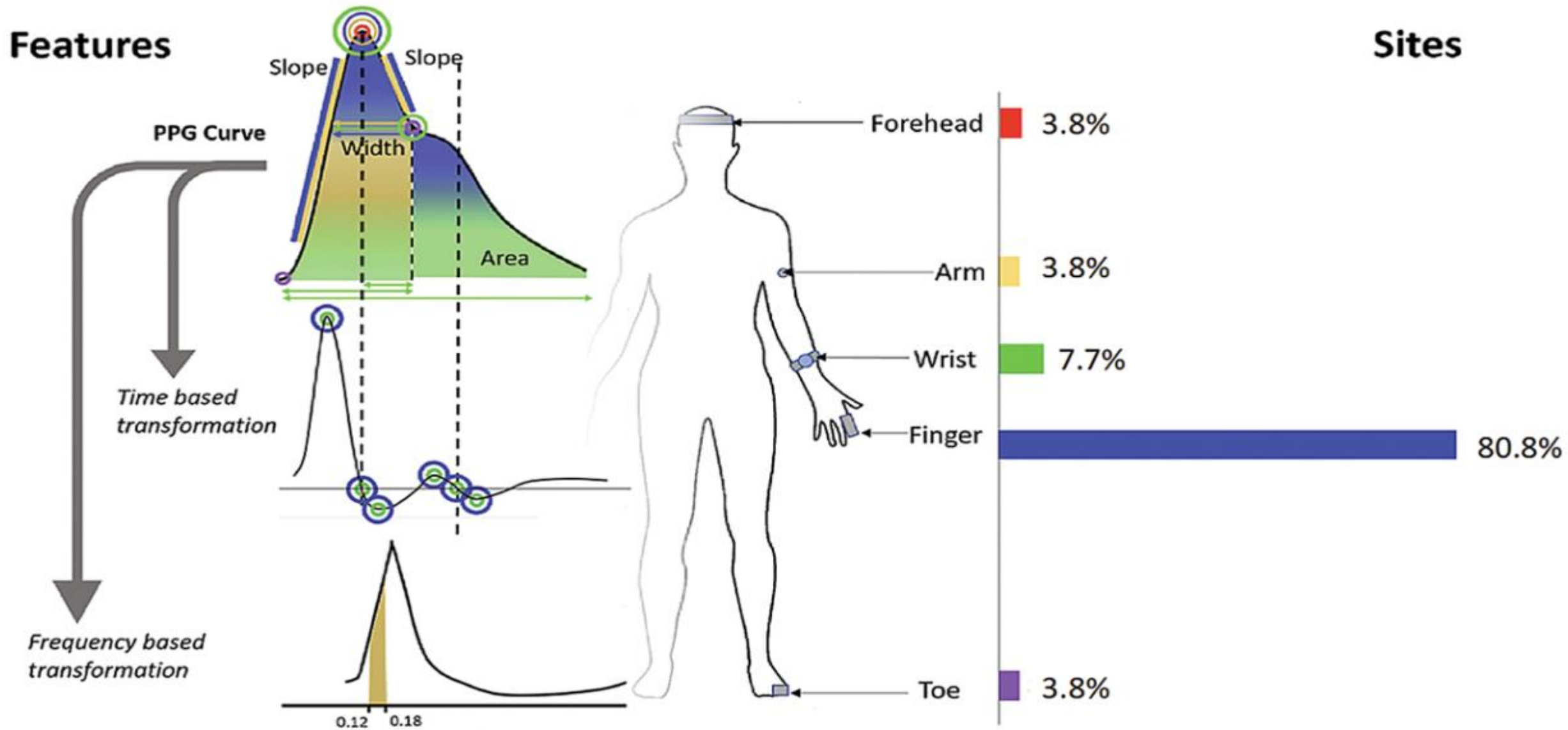
- vzniká systoly (vypuzení krve z levé komory do velkého oběhu)
- arteriální systém se s tímto rychle vypuzeným objemem vyrovnává svou elasticitou
- pulz bezprostředně po systole prochází celým arteriálním systémem velkou rychlostí



Pulzní vlna

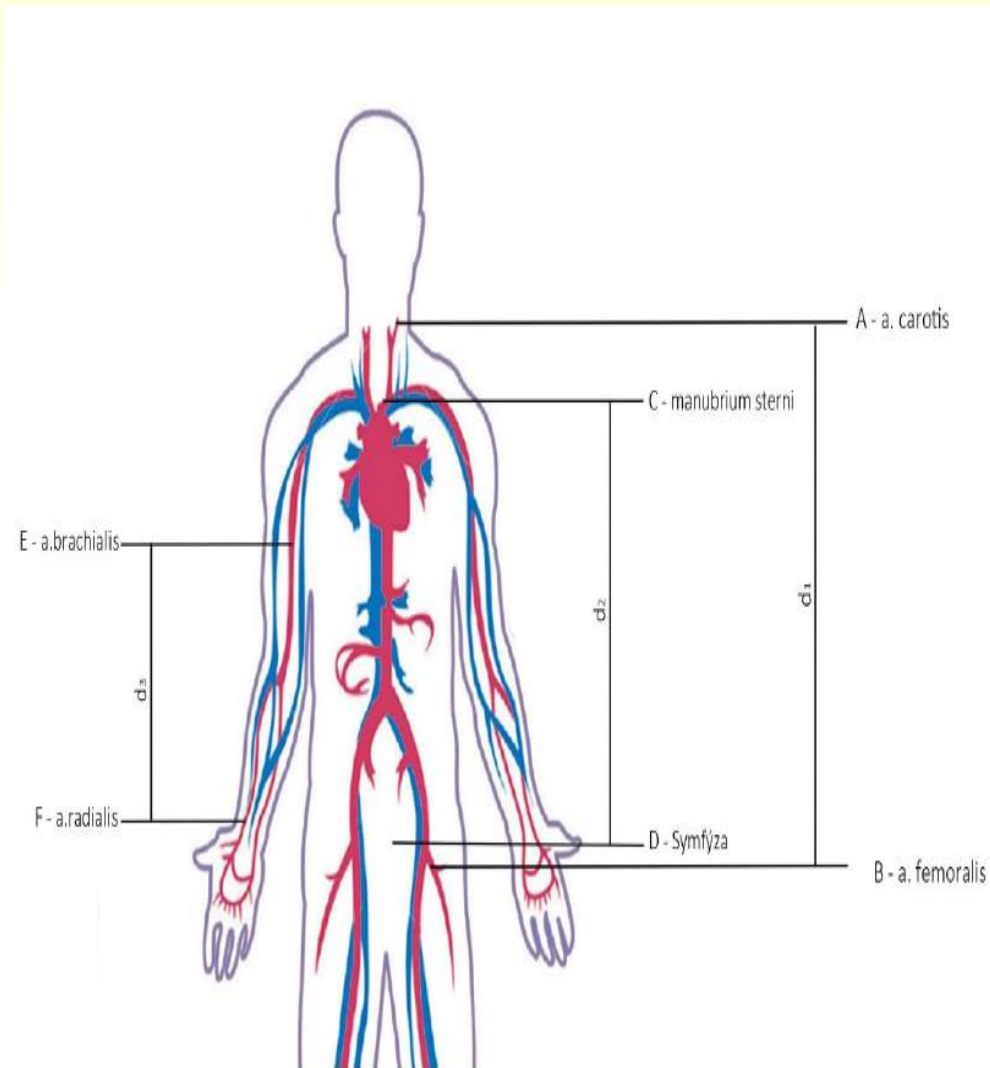


Studie o měření pulzní vlny pomocí PPG

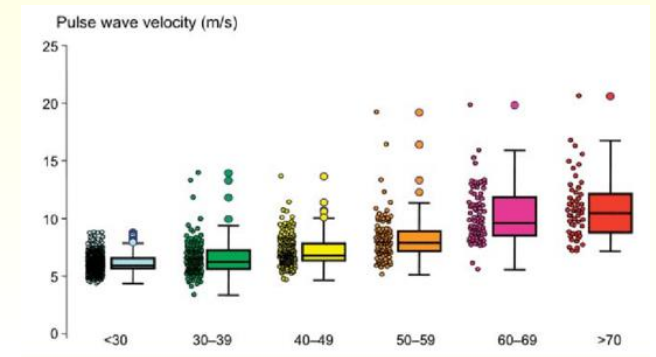


Faktory ovlivňující pulzní vlny

(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

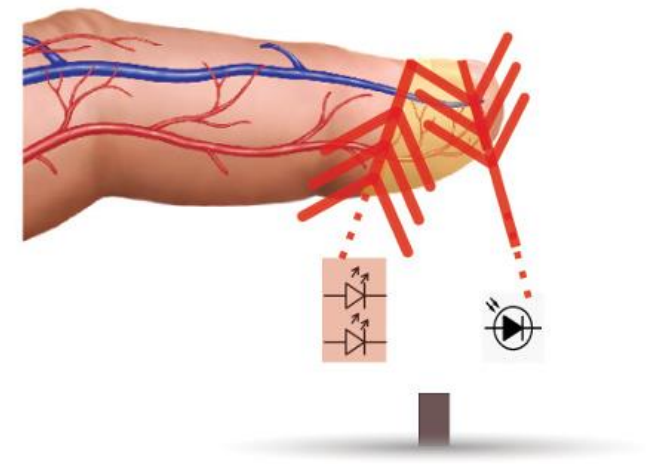
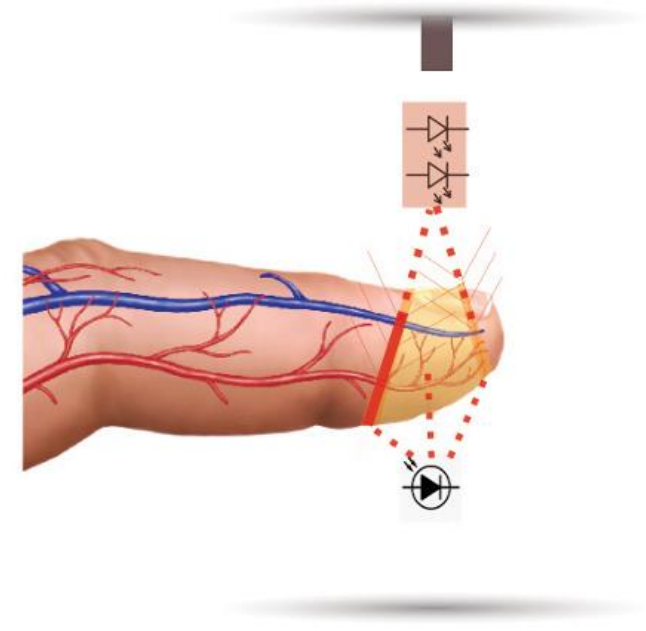
Pletysmogram

Princip

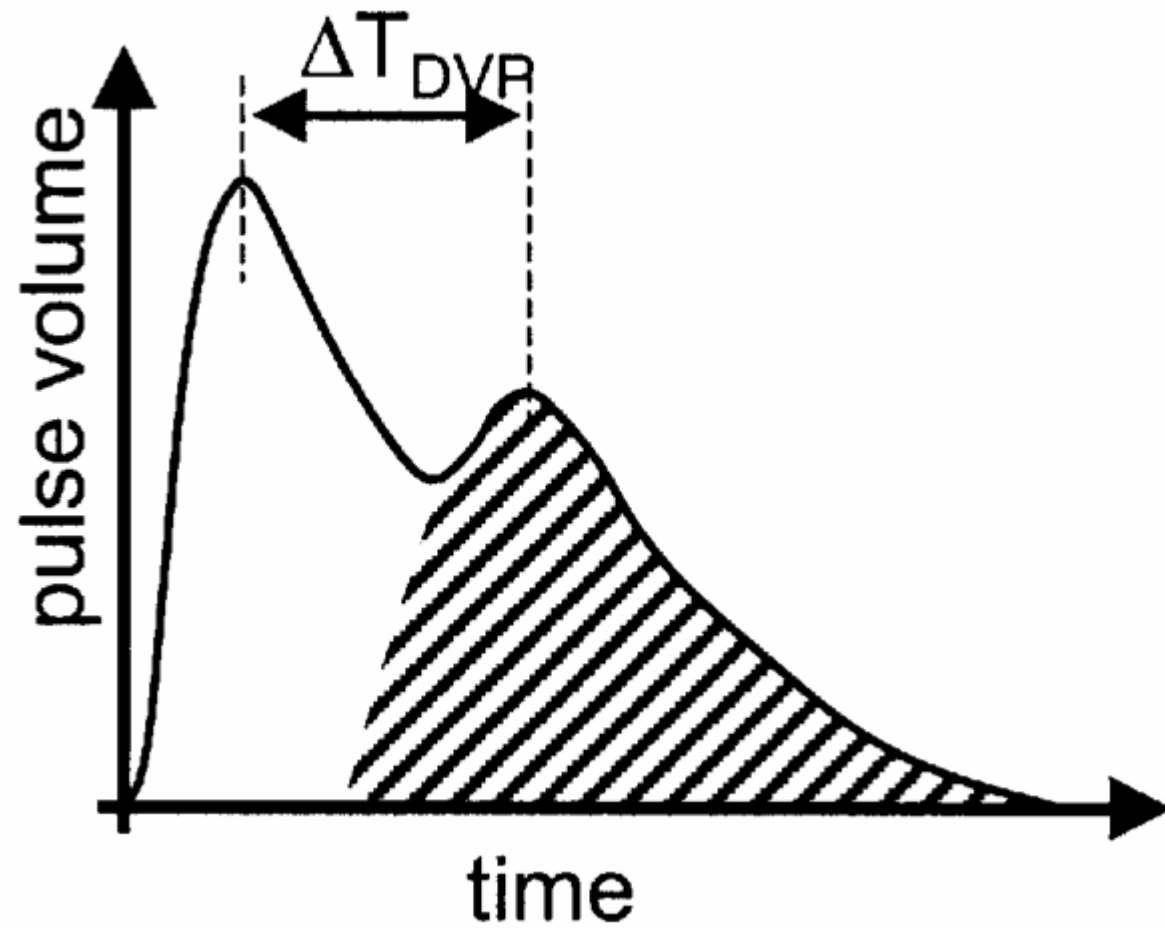
- pneumatické
- kapacitní
- impedanční
- **fotoelektrické**

Fotoelektrický pletysmograf

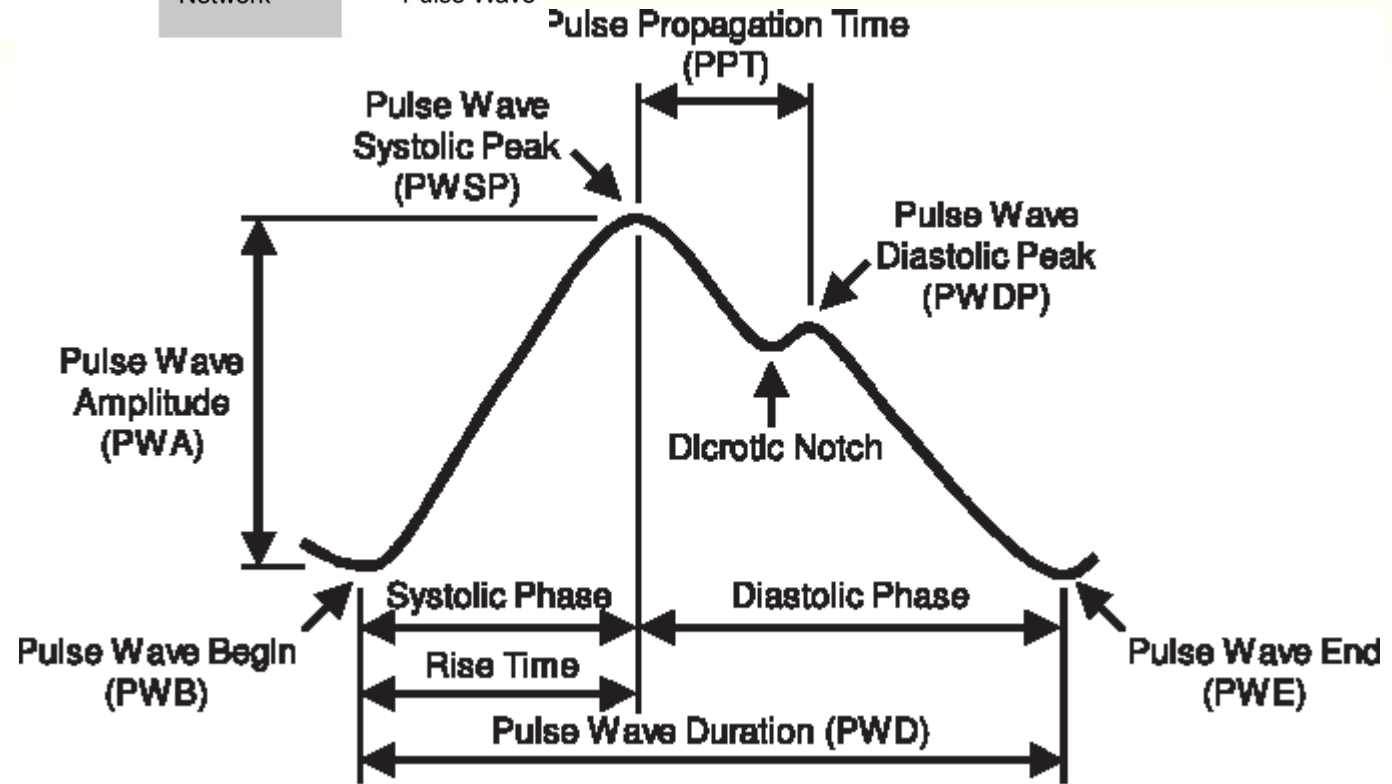
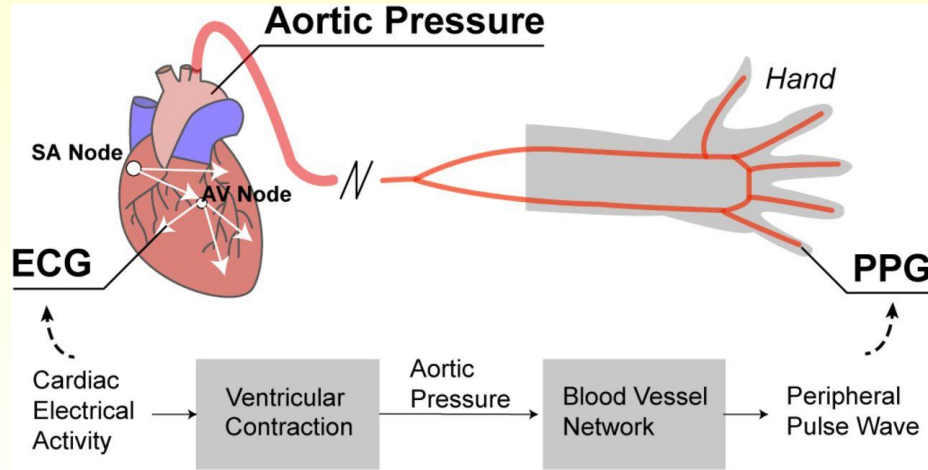
- průsvitový
 - reflexní
-
- světlo prochází přes kapilární řečiště
 - změny tlaku krve souvisejících s činností srdce
 - mění se objem kapilár a způsobuje změnu absorpce, odrazu a rozptylu světla



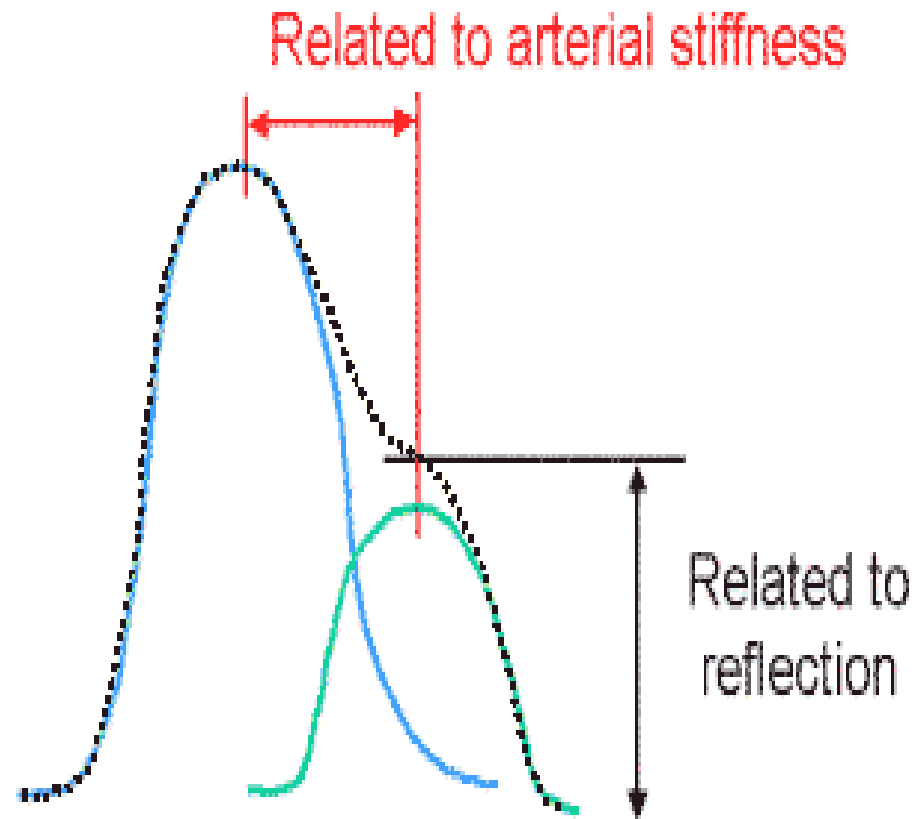
Fotopletysmogram



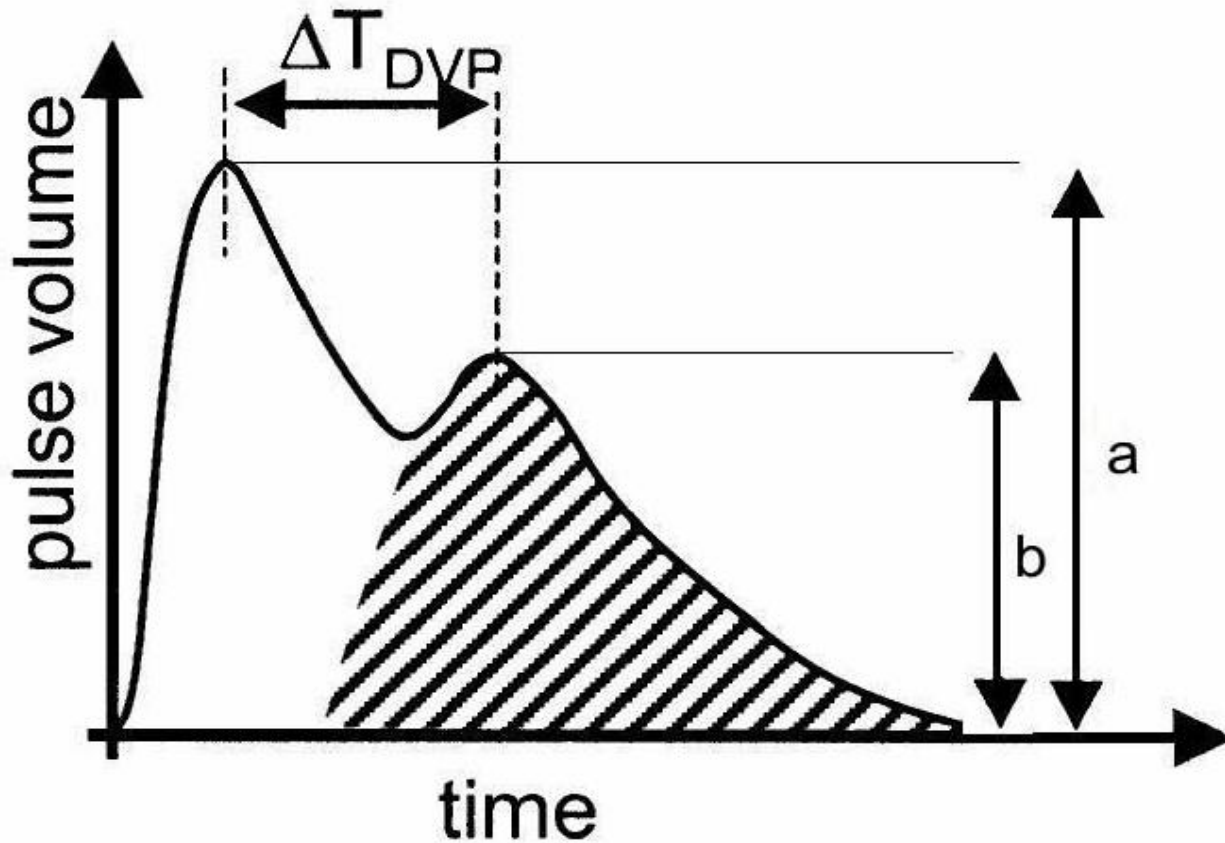
Fotopletysmogram



Fotopletysmogram

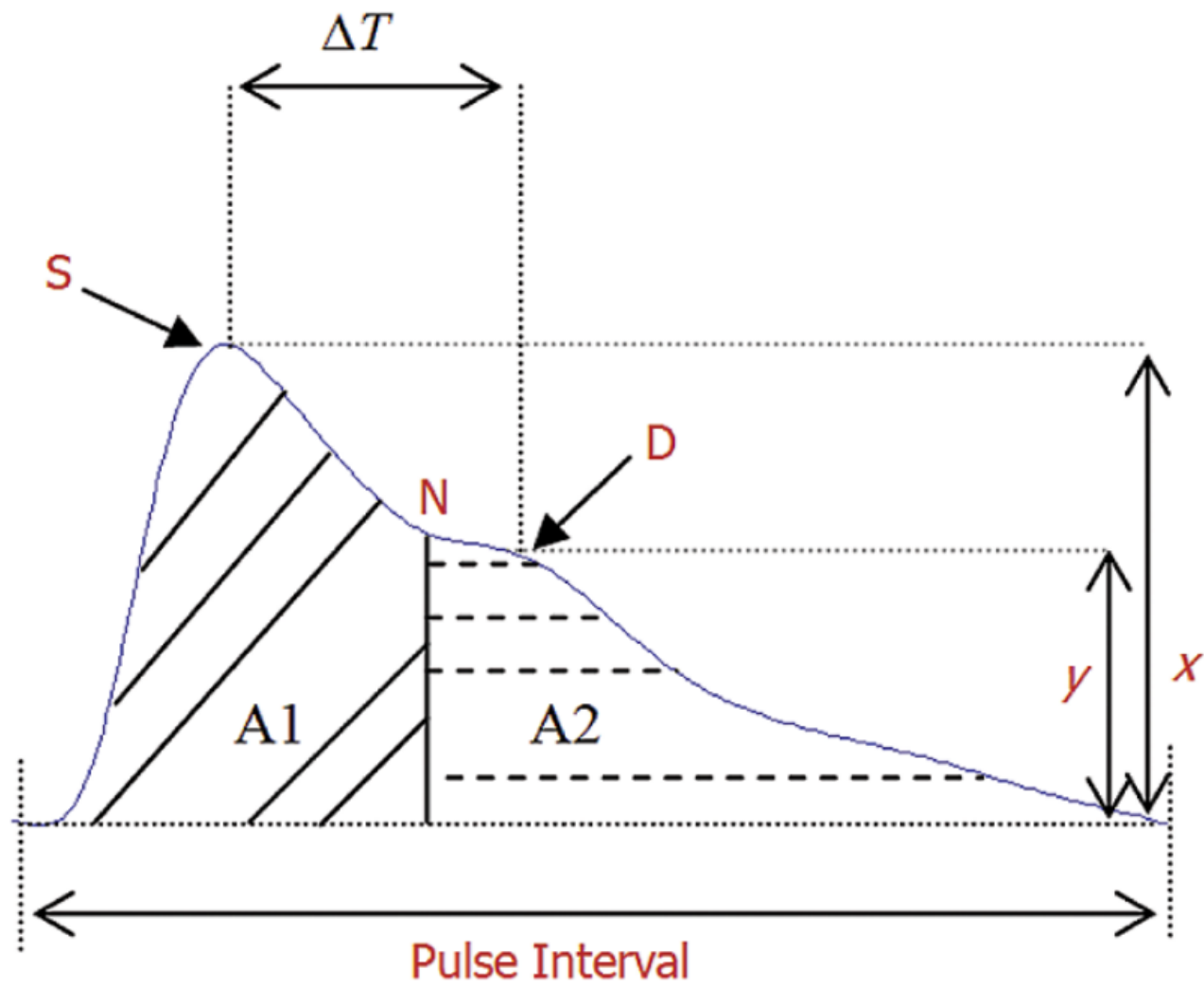


Fotopletysmogram

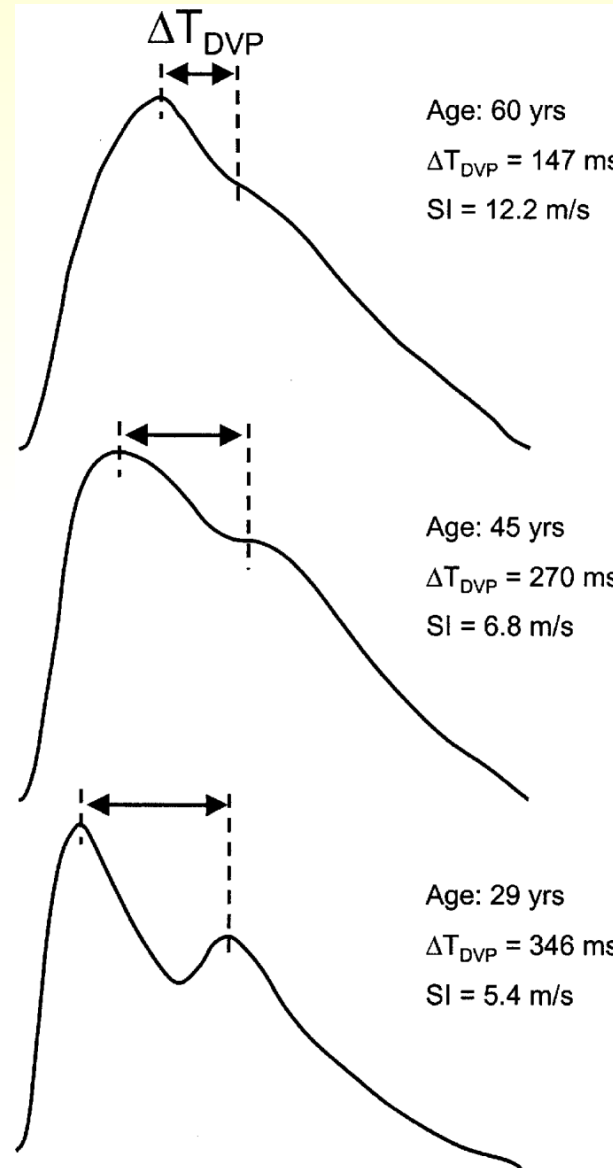


$$RI = \frac{b}{a} 100$$

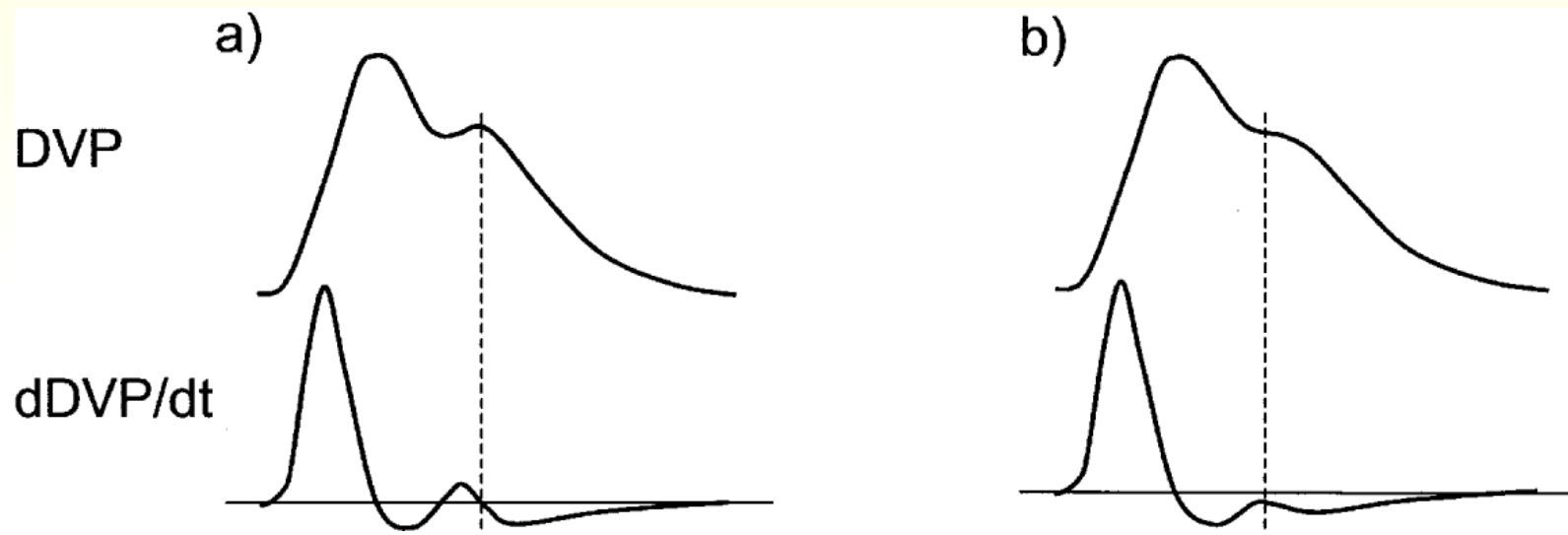
$$SI = \frac{h}{\Delta T}$$



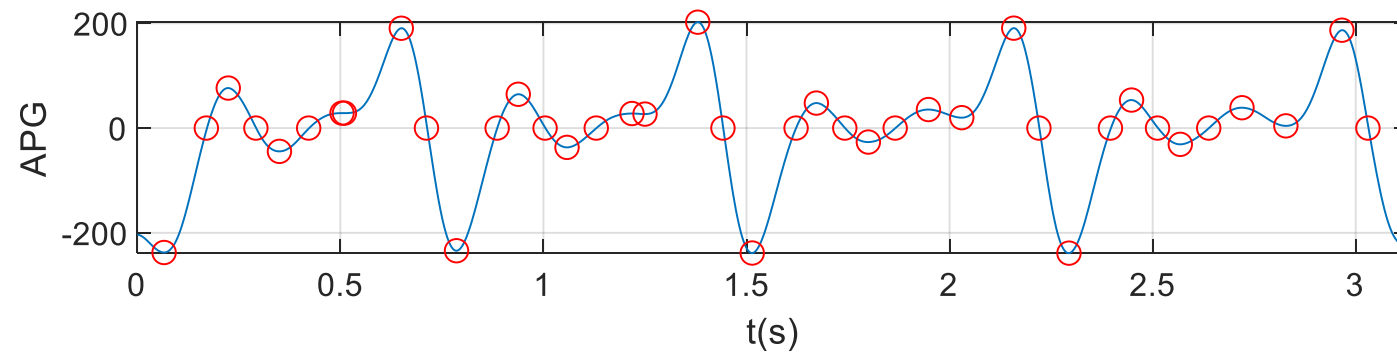
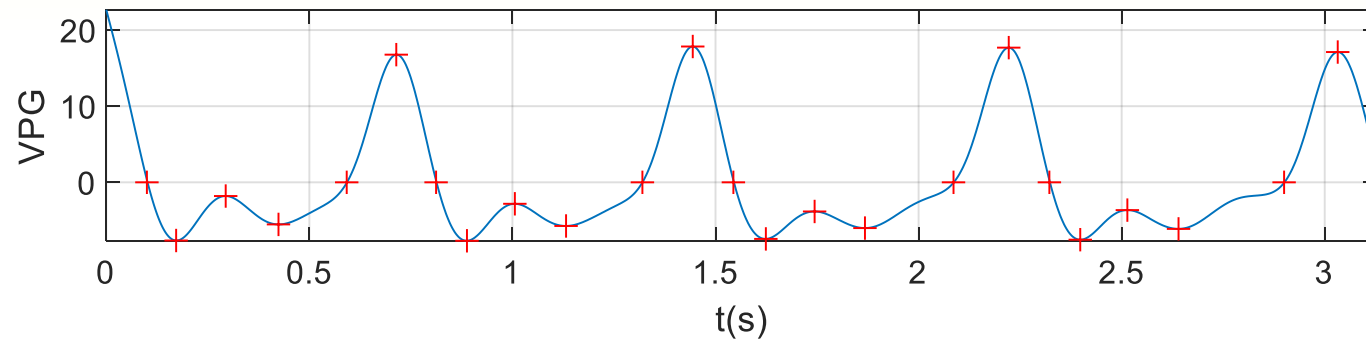
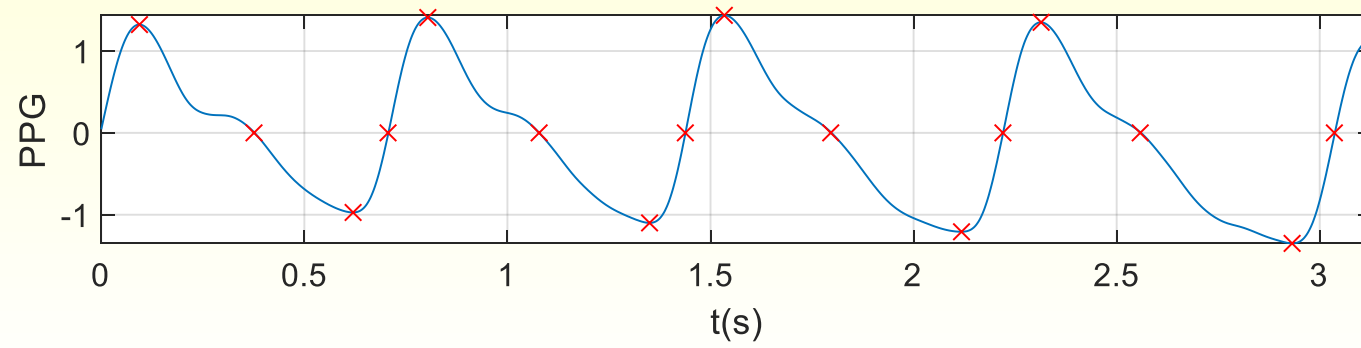
Fotopletysmogram



Fotopletysmogram

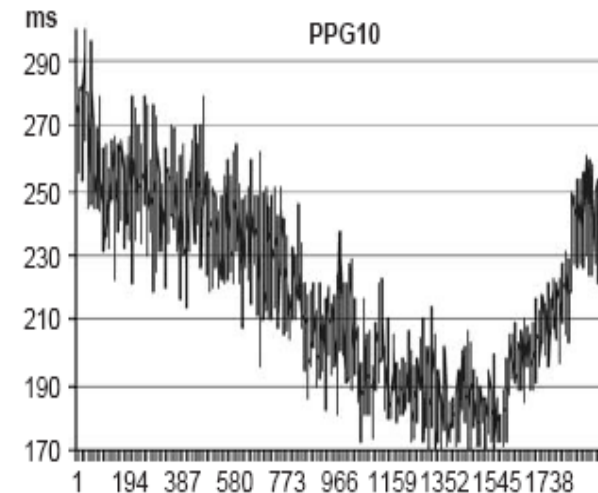
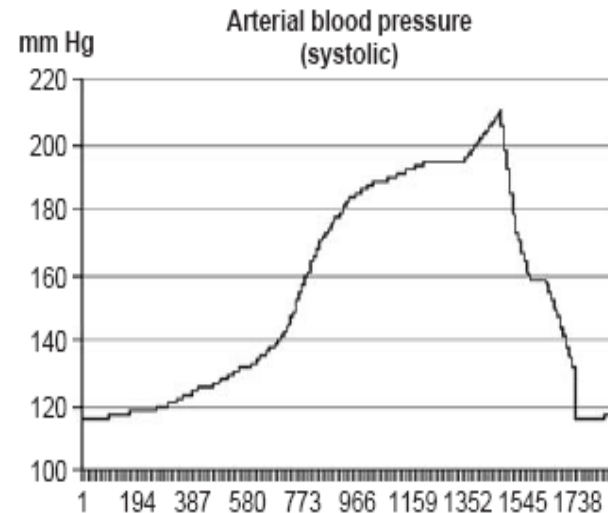
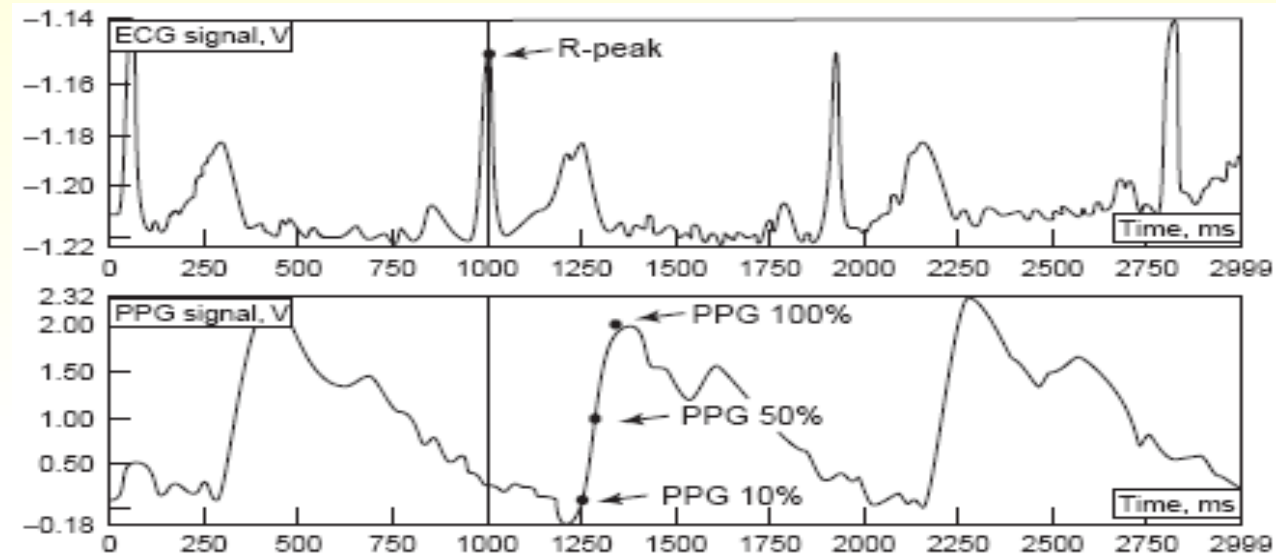


Fotopletysmogram

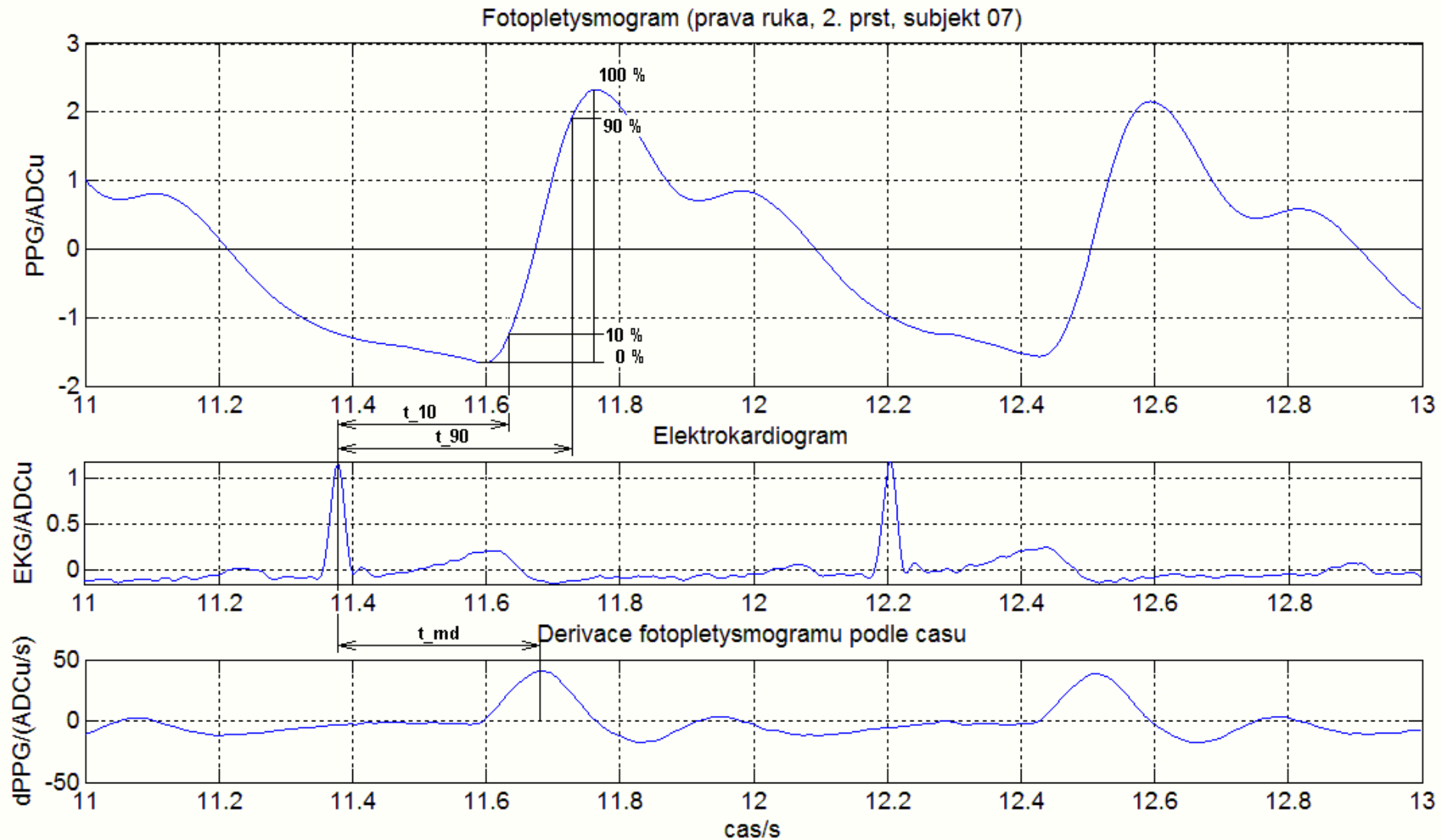


Fotopletysmogram

- korelace PPG10% a systolického TK

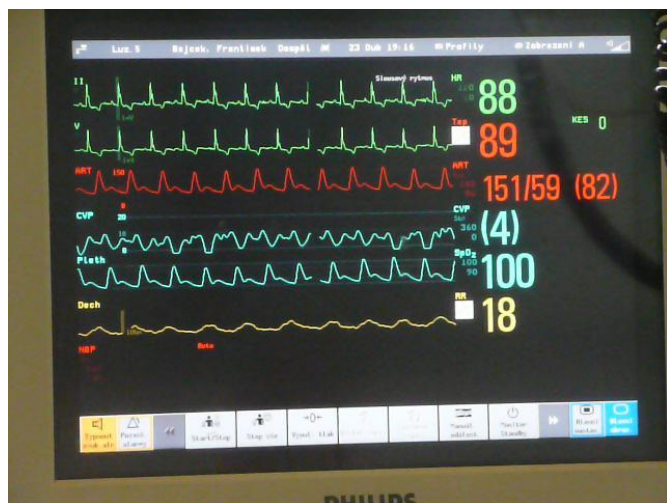


Šíření pulsní vlny

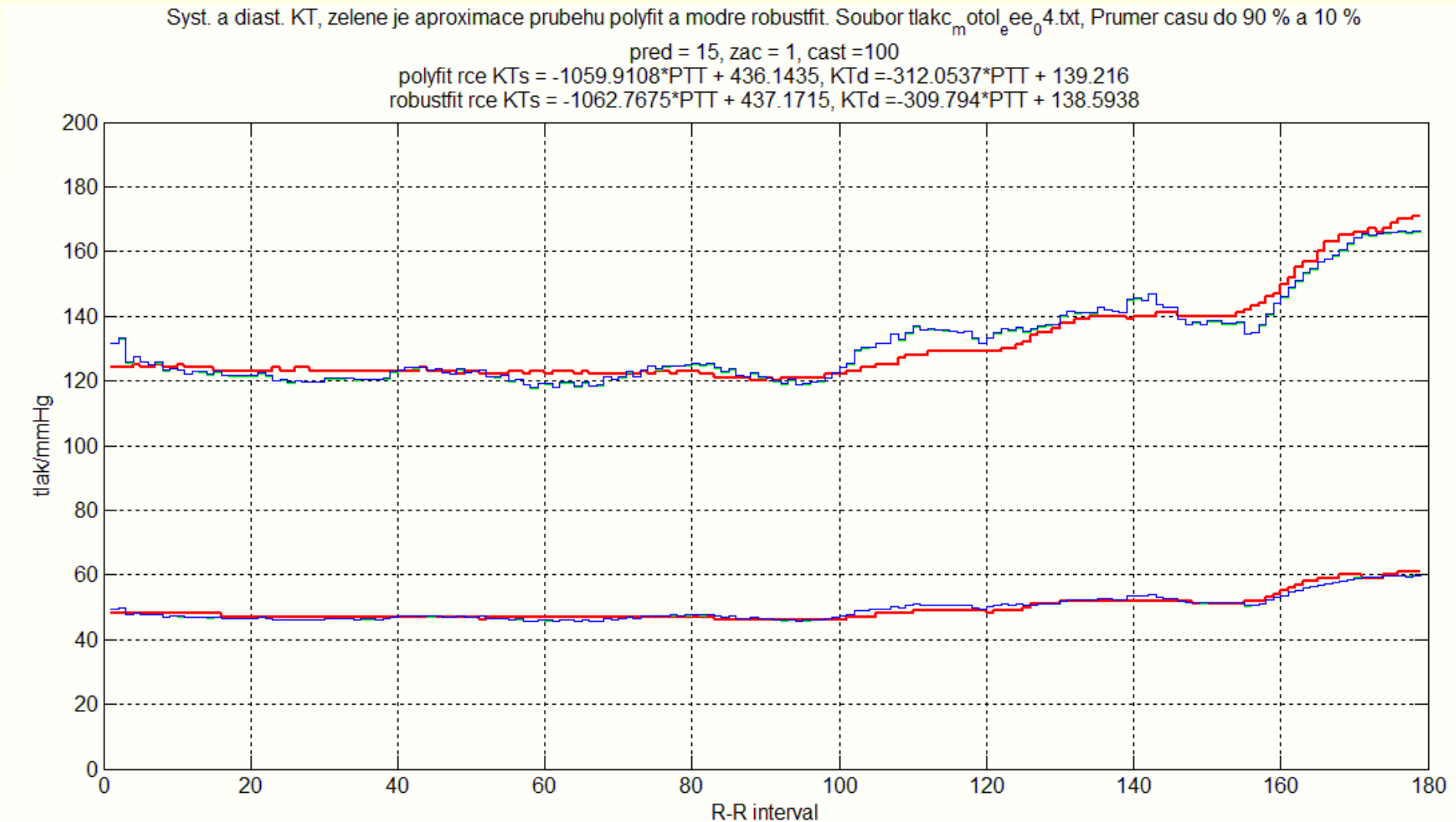


Kontinuální měření krevního tlaku

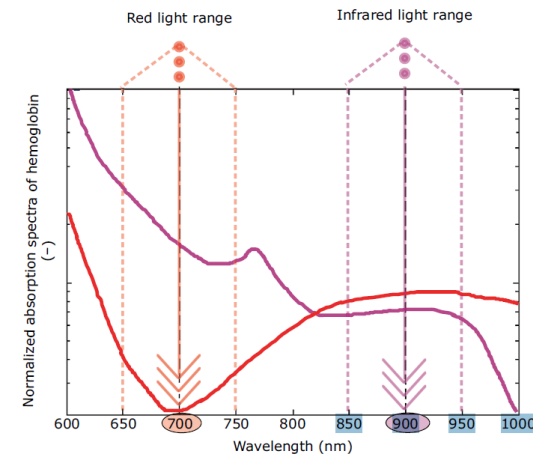
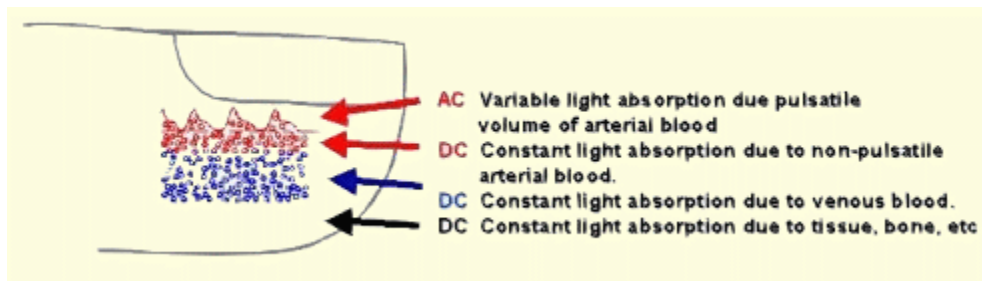
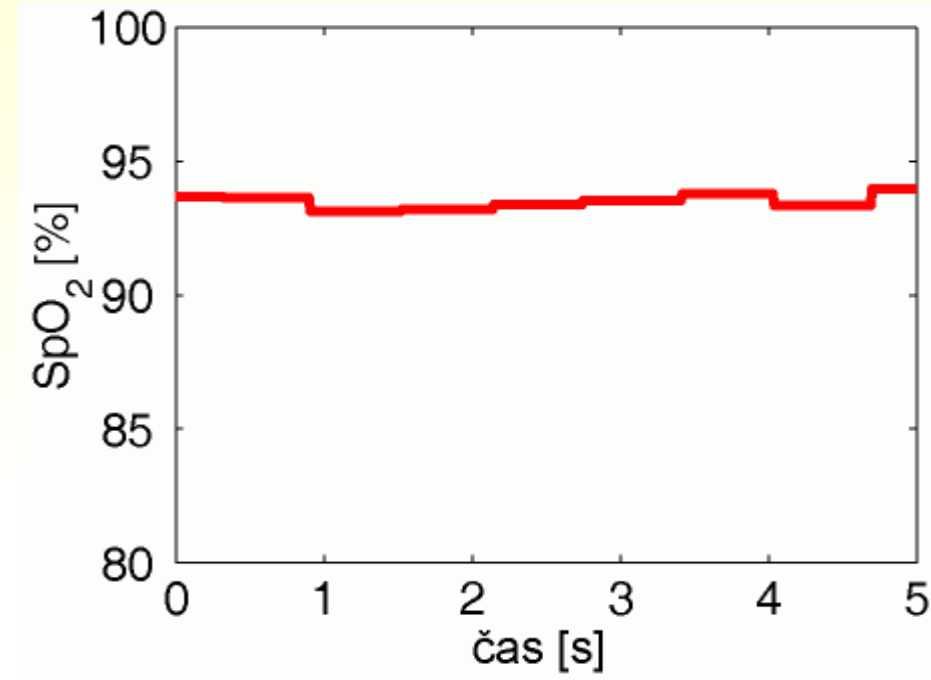
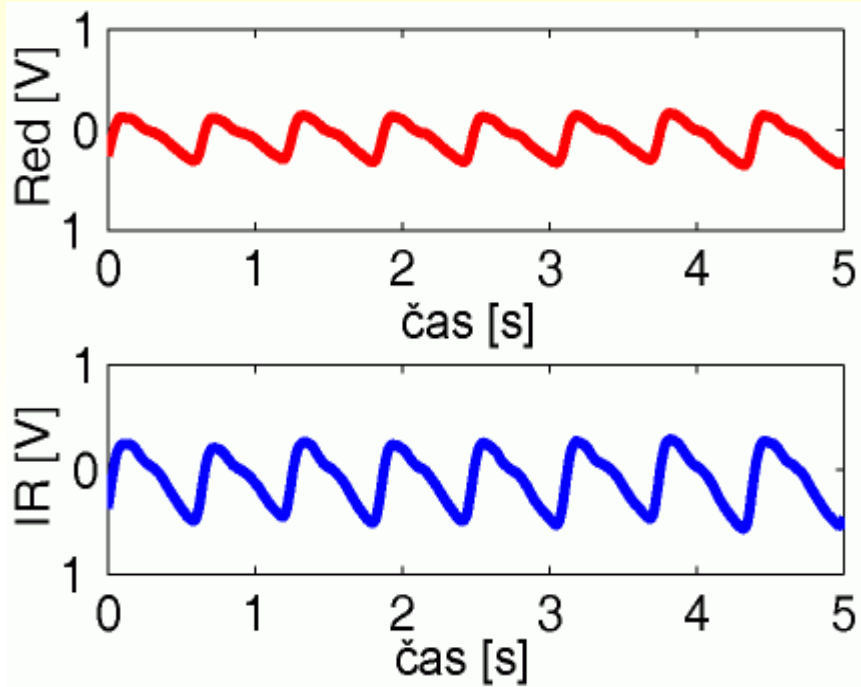
- s využitím Finapresu
- s využitím invazivního měřiče krevního tlaku
- aparatura použitá při měření ve FN Motol



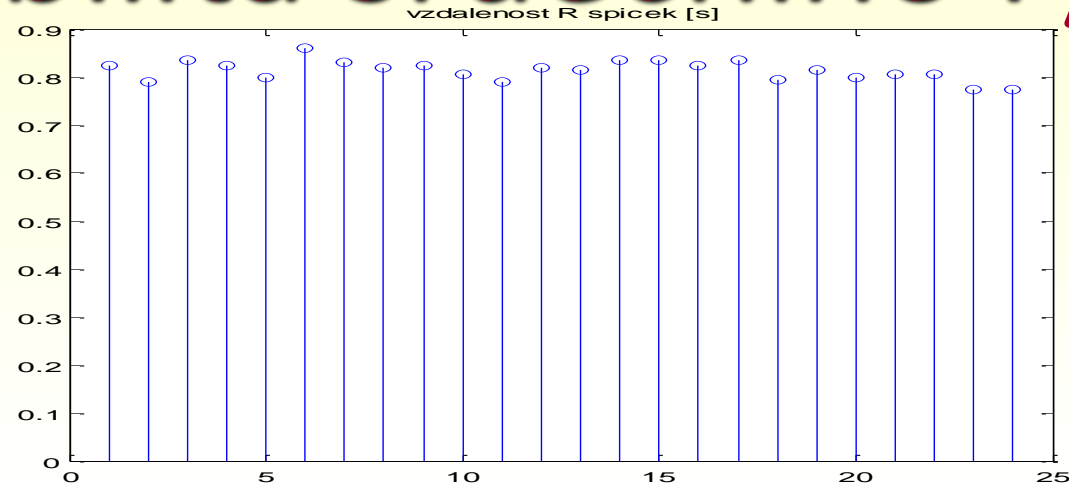
Odhad tlaku na základě doby šíření (příklad)



Pozn.: pulsní oxymetrie

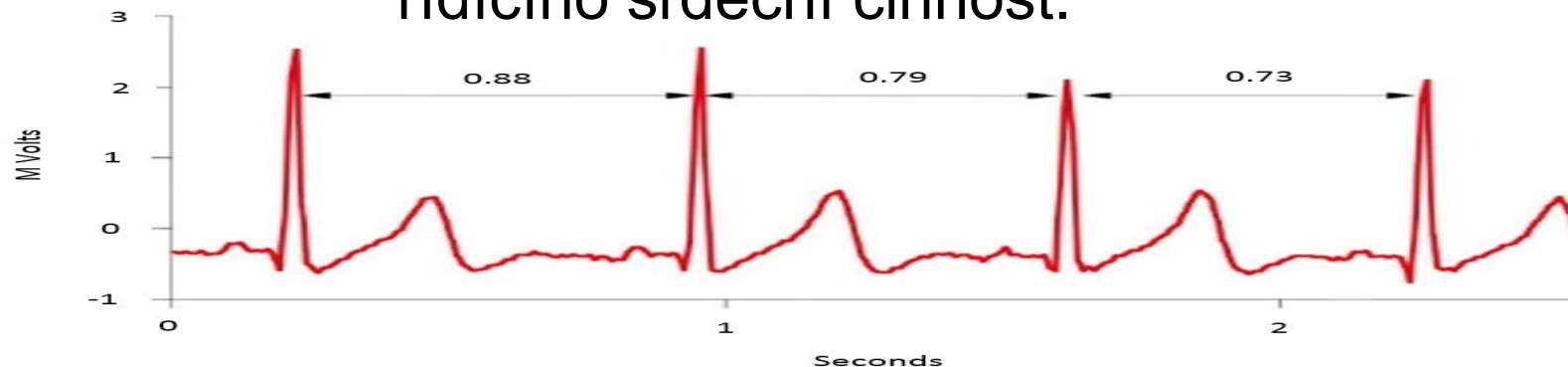


Variabilita srdečního rytmu



VARIABILITA SRDEČNÍHO RYTMU

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

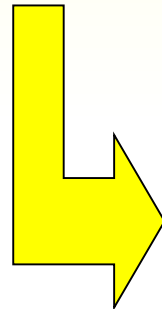


Autonomní nervový systém

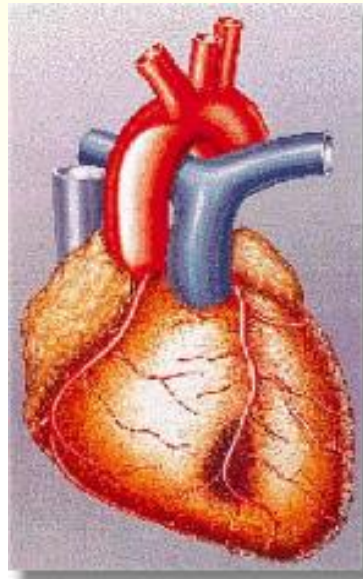
velmi citlivý zpětnovazebný indikátor změn v organismu

ANS lze rozdělit do dvou větví

sympatikus

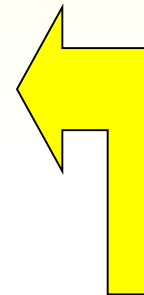


Zrychluje SF



a parasympatikus

(n. vagus)



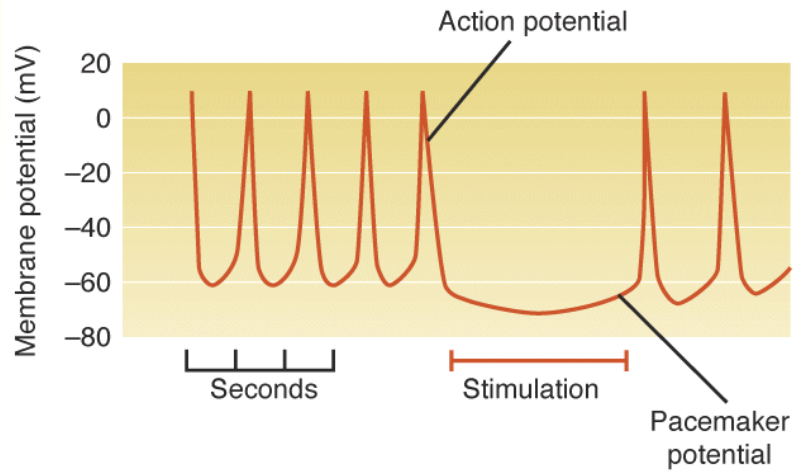
Zpomaluje SF



VARIABILITA SRDEČNÍ FREKVENCE (HRV)

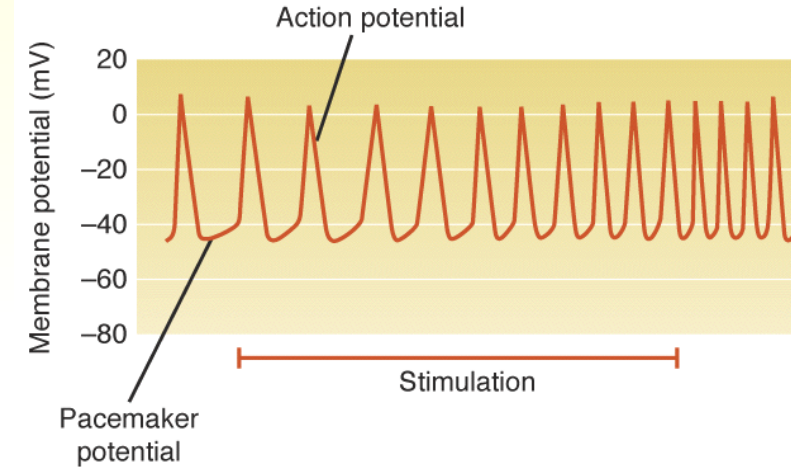
Autonomní nervový systém

(a) Parasympathetic stimulation via vagus nerve



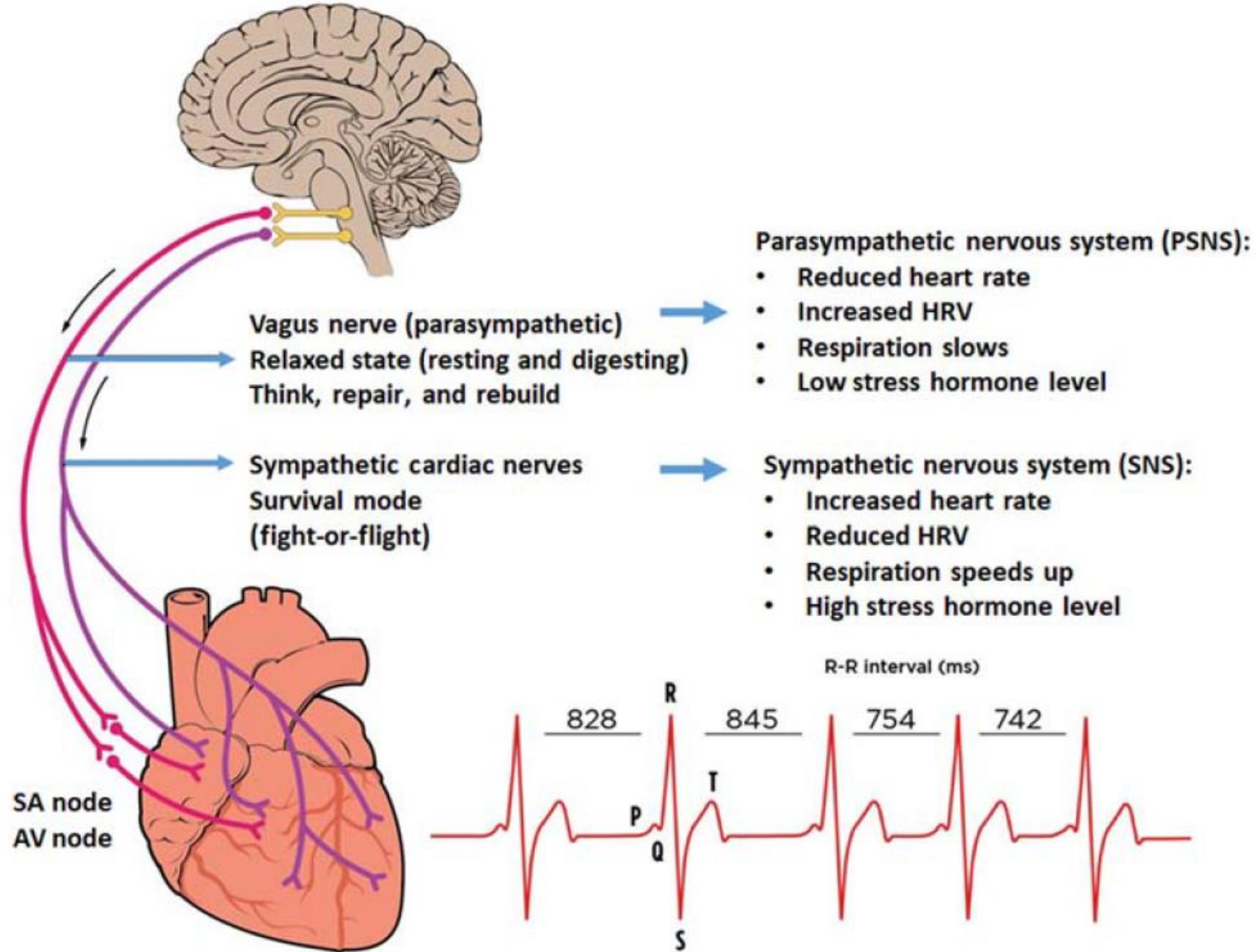
Parasympathetic Nervous System (PNS),
inhibits cardiac action potentials

(b) Sympathetic stimulation



Sympathetic Nervous System (SNS),
stimulates cardiac action potentials

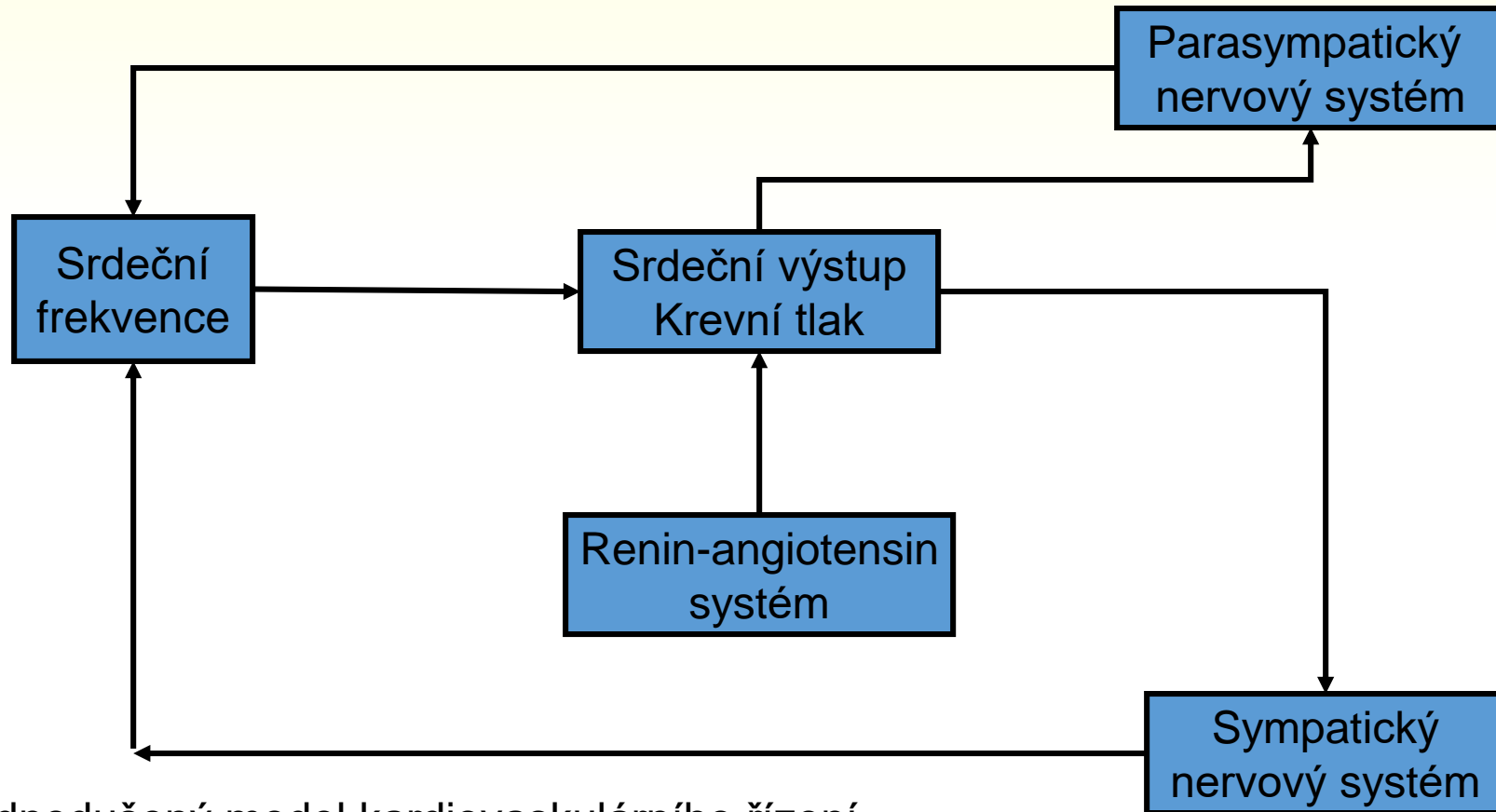
Autonomní nervový systém



Intervals between each heart beat vary and this variation constitutes HRV

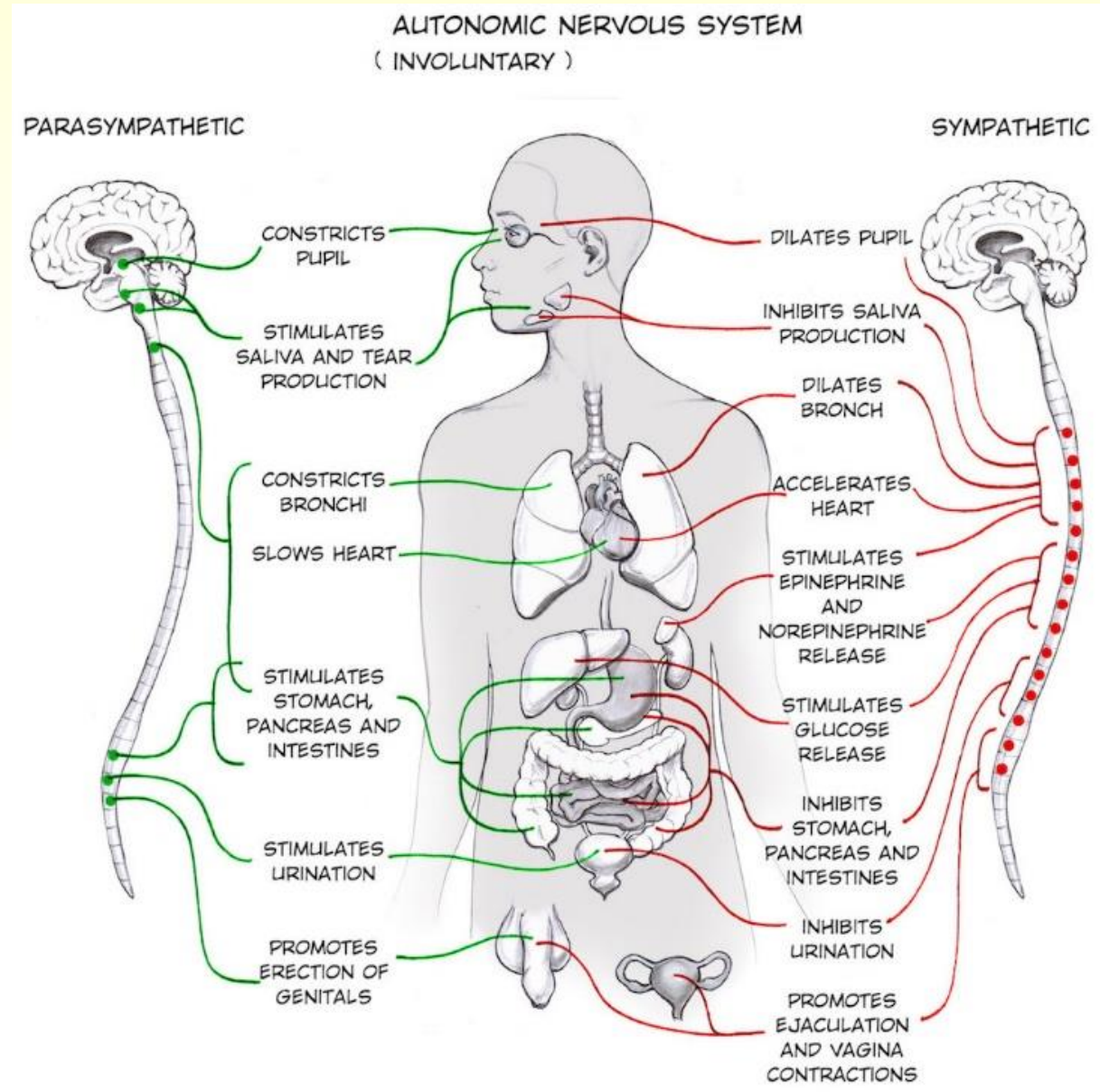
Autonomní nervový systém

https://cs.wikipedia.org/wiki/Autonomn%C3%AD_nervov%C3%A1_soustava

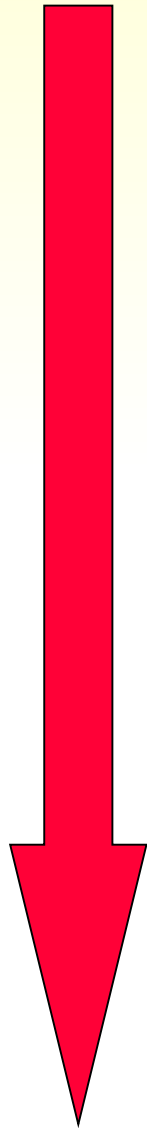


Zjednodušený model kardiovaskulárního řízení

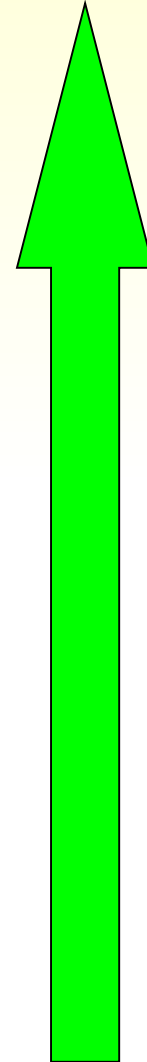
Autonomní nervový systém



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 %

Zdroje HRV

• vnější

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

• vnitřní

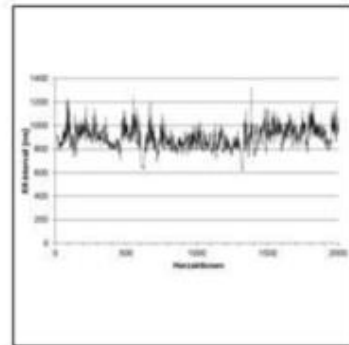
- respirační sinusová arytmie
- regulace baroreceptorového reflexu
- termoregulace
- neuroendokrinní sekrece
- cirkadiánní rytmy
- další neznámé rytmy

Analýza HRV

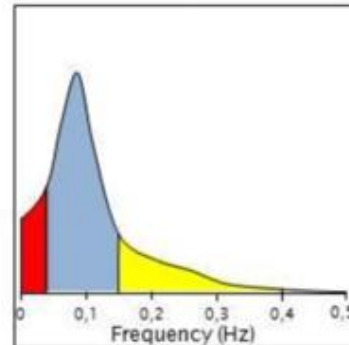
Heart rate variability (HRV)



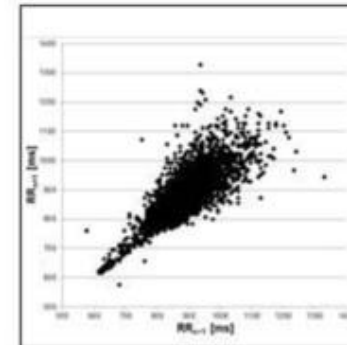
Time domain methods



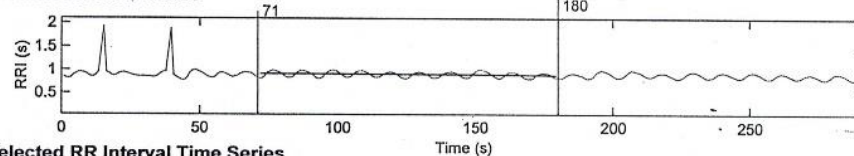
Frequency domain methods



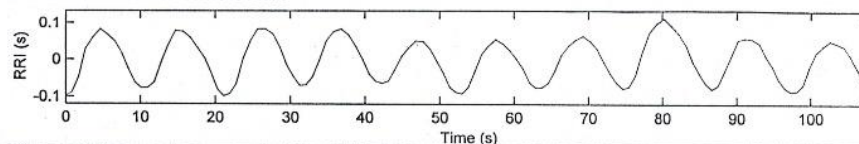
Non-linear methods



RR Interval Time Series



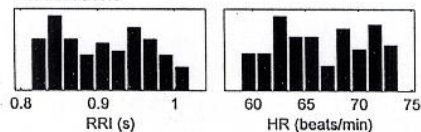
Selected RR Interval Time Series



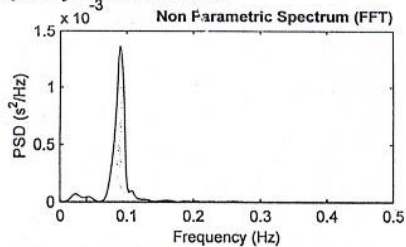
Time Domain Results

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*

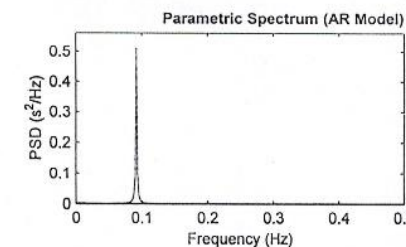
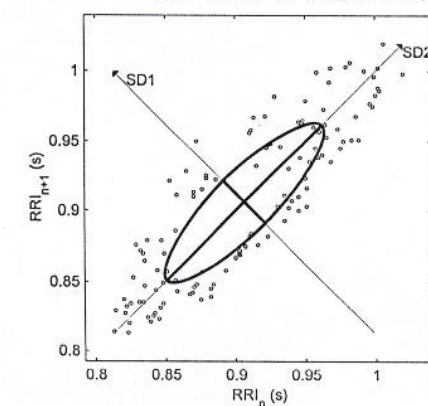


Frequency Domain Results



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	

Poincare Plot*

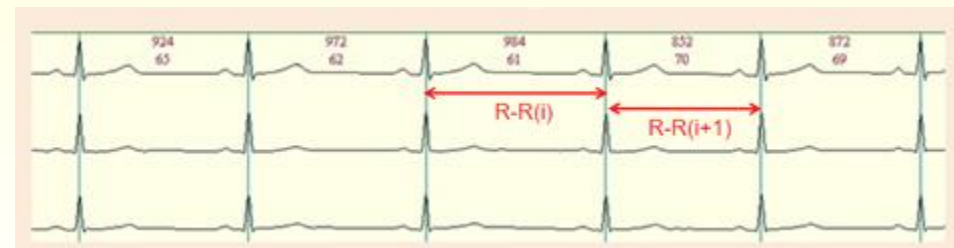


Frequency Band	Peak (Hz)	Power (ms ²)	Power (%)	Power (n.u.)
VLF	0.0000	59	3.8	
LF	0.0918	1480	95.4	99.0
HF	0.1953	13	0.8	0.9
LF/HF			116.261	

Analýza HRV v časové oblasti

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

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



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

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

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

Analýza HRV v časové oblasti

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

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

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

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

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

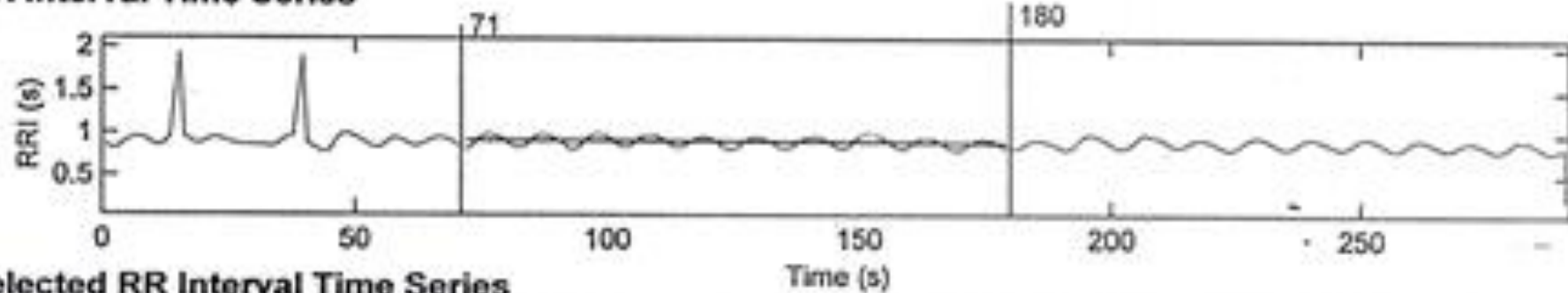
```
SDSD = std(diffNN);
```

Analýza HRV v časové oblasti

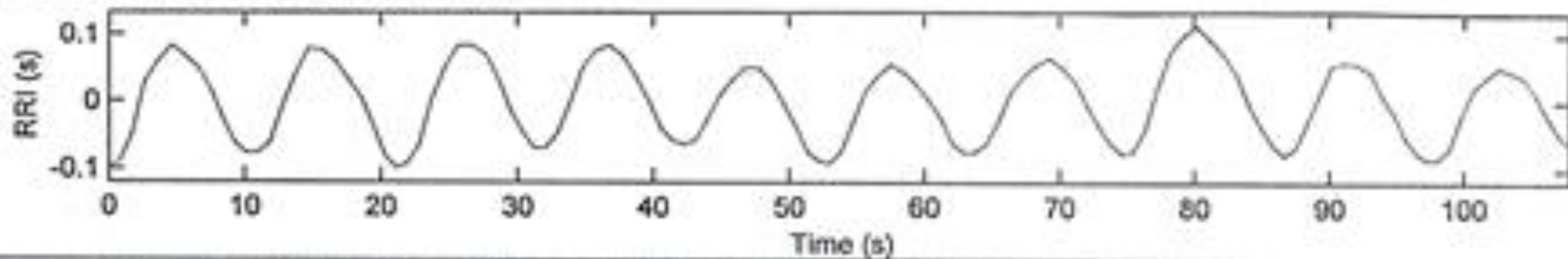
- **NN50** – počet rozdílů po sobě jdoucích intervalů, které se liší více než 50 ms
 $\text{length}(\text{find}(\text{abs}(\text{diffN}) > 50))$;
- **pNN50** – podíl NN50 dělený celkovým počtem intervalů
 $\text{pNN50} = \text{NN50} / \text{length}(\text{intervals})$;
- **NN20** – počet rozdílů intervalů,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

Parametry HRV v časové oblasti

RR Interval Time Series



Selected RR Interval Time Series

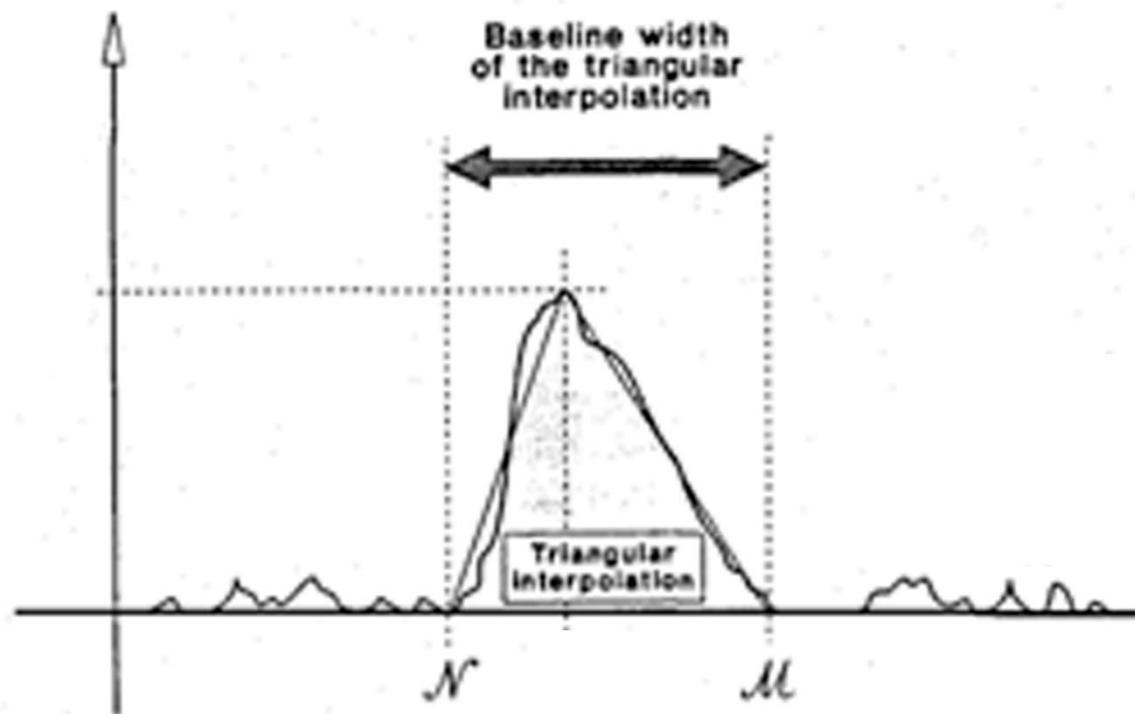


Time Domain Results

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

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

Geometrické míry HRV



HRV Index-Measure of longer-term HRV

Geometric Measures

RR triangular index

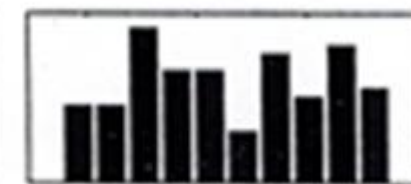
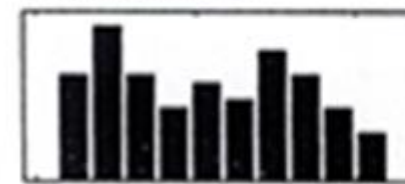
TINN

(ms)

0.105

255.0

Distributions*



0.8

0.9

1

RRI (s)

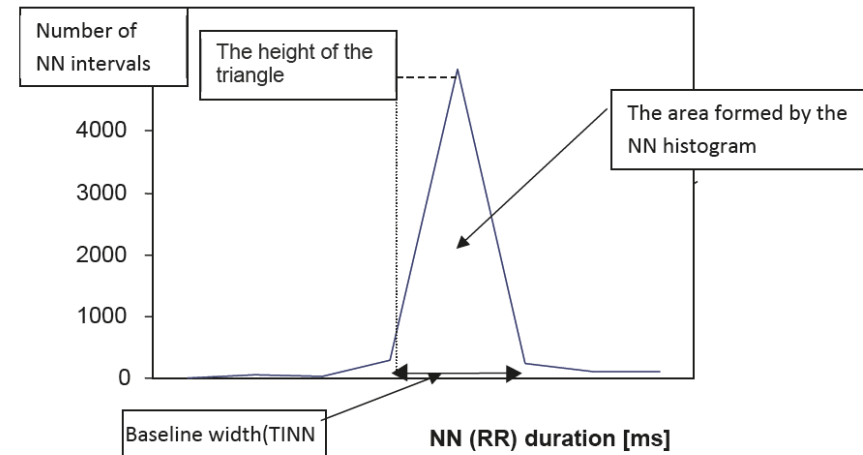
60

65

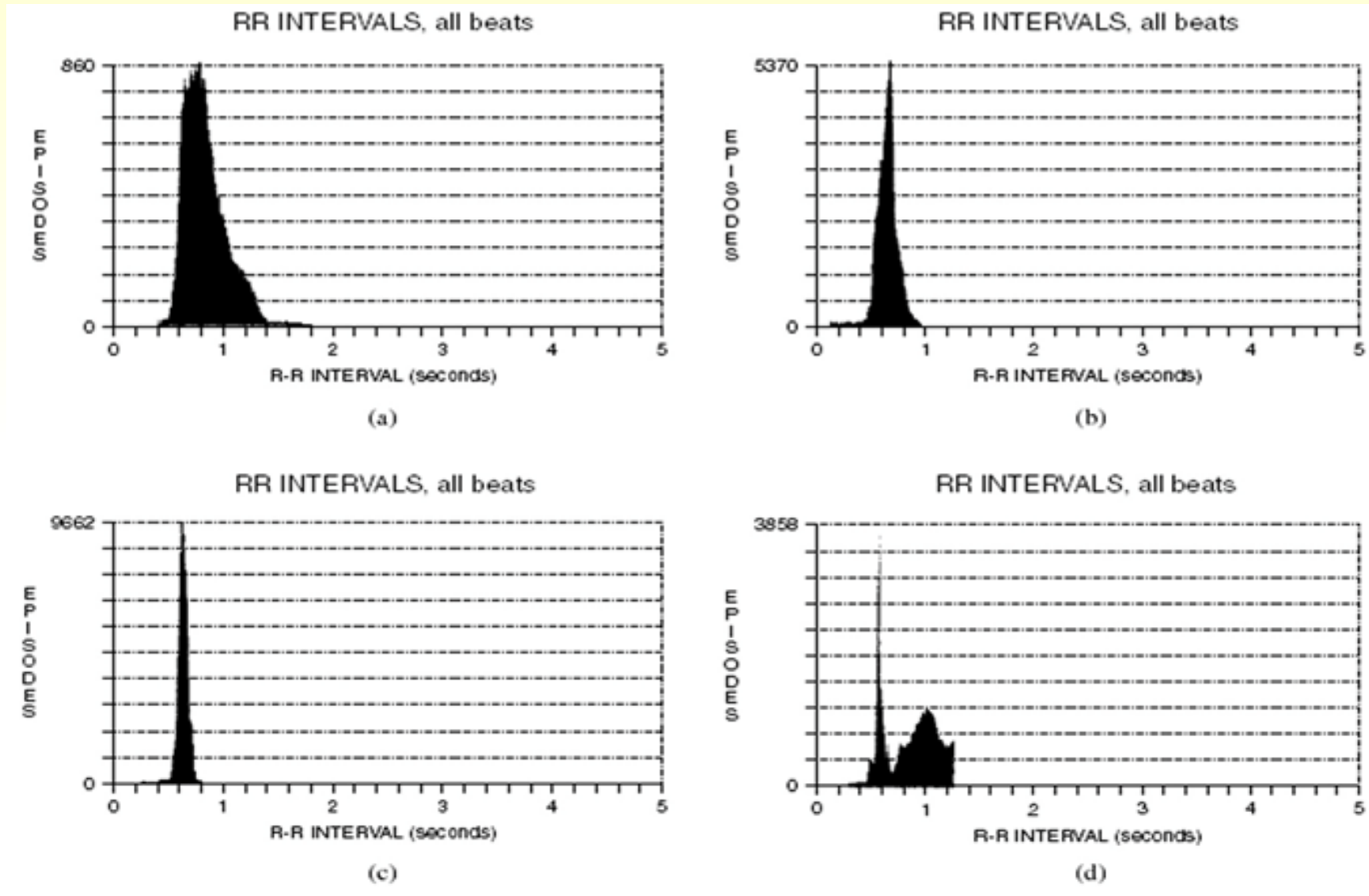
70

75

HR (beats/min)



Geometrické míry HRV



Příklady normálního a abnormálního geometrického HRV

Parametry HRV ve spektrální oblasti

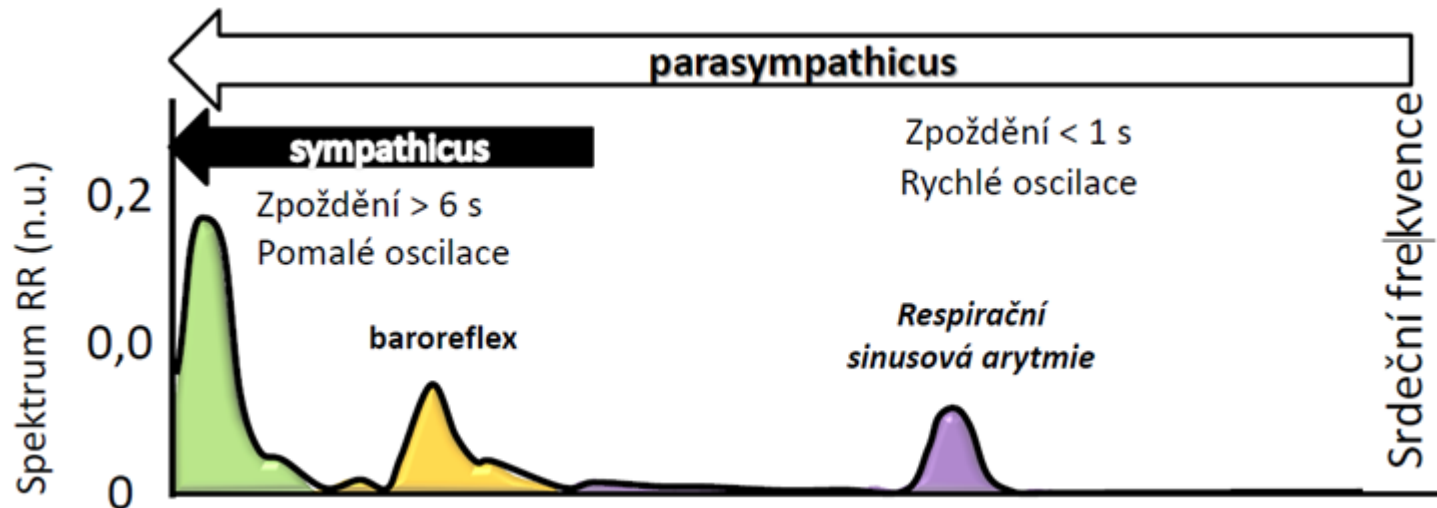
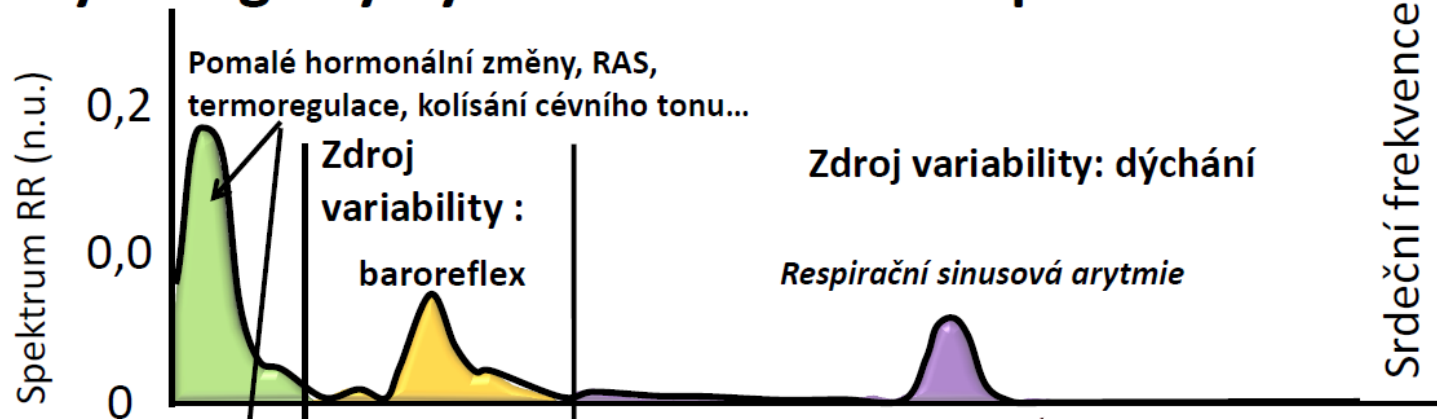
- ULF spektrální výkon v pásmu ultra nízkých frekvencí pod 0.003 Hz
- VLF **spektrální výkon v pásmu velmi nízkých frekvencí:** **0.003–0.04 Hz**
- LF **spektrální výkon v pásmu nízkých frekvencí:** **0.04–0.15 Hz**
- HF **spektrální výkon v pásmu vysokých frekvencí:** **0.15–0.4 Hz**
- LF/HF poměr spektrálních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

Vztah časové a frekvenční domény HRV

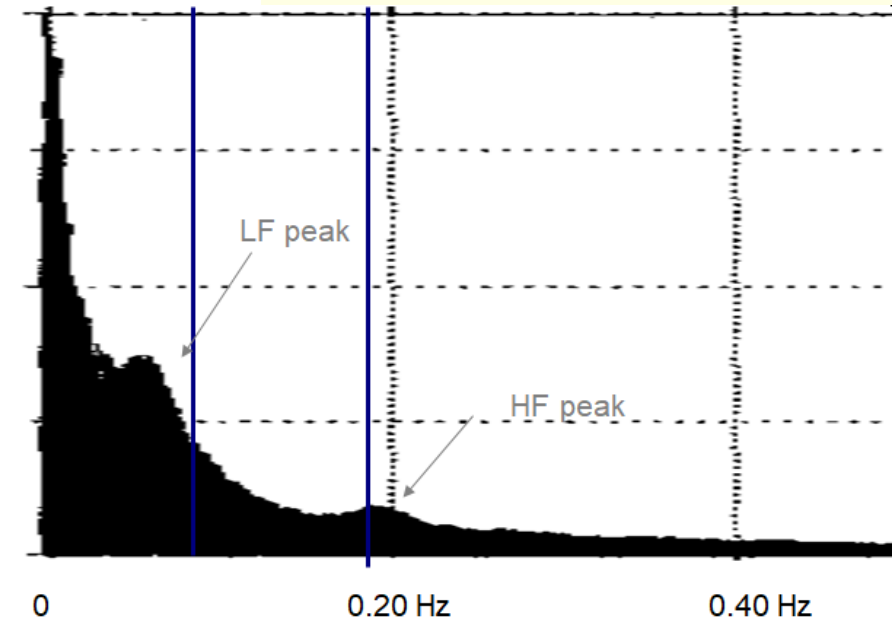
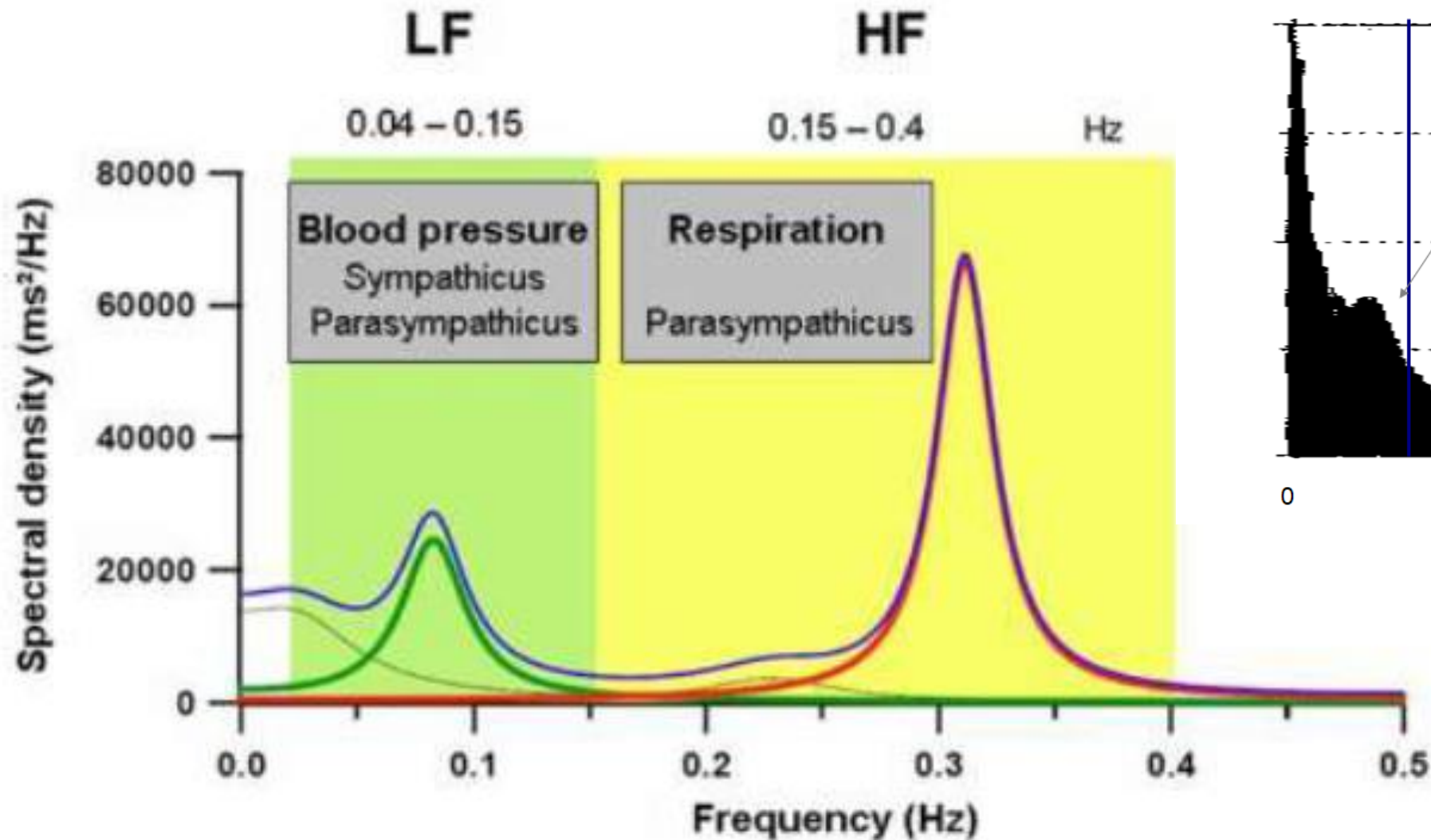
- SDNN, TINN, HRV korelují s celkovým výkonem TP
- SDSD, počet NN50 a pNN50 korelují s výkonem HF
- SDANN korelují s výkonem ULF

Parametry HRV ve spektrální oblasti

Fyziologický význam – frekvenční pásma



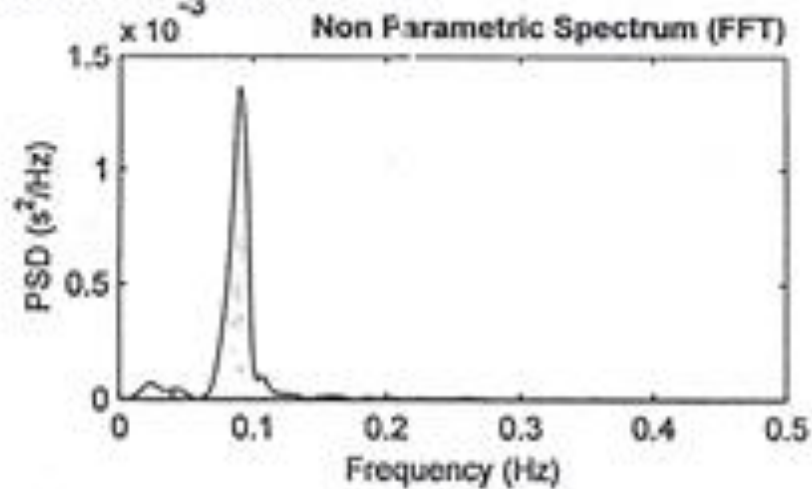
Parametry HRV ve spektrální oblasti



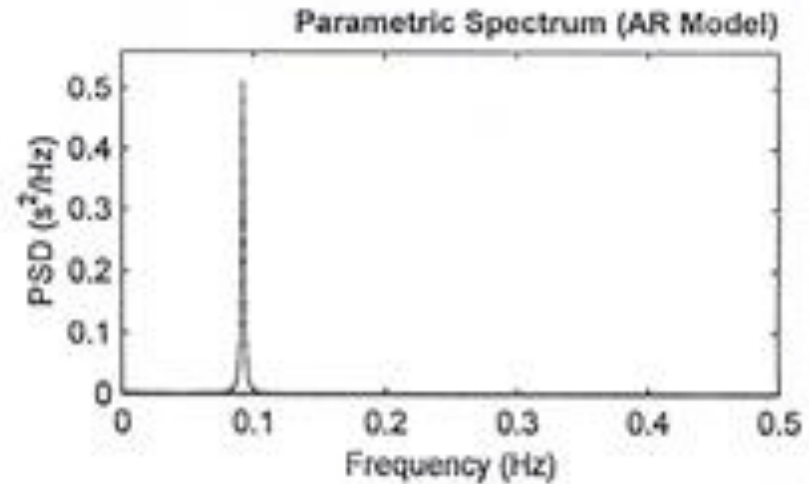
- Špičky (maxima)
- Výkony v pásmech
- Normované výkony v pásmech
 - $\text{LFnorm} = \text{LF}/(\text{TP-VLF})$
 - $\text{HFnorm} = \text{HF}/(\text{TP-VLF})$

Parametry HRV ve spektrální oblasti

Frequency Domain Results

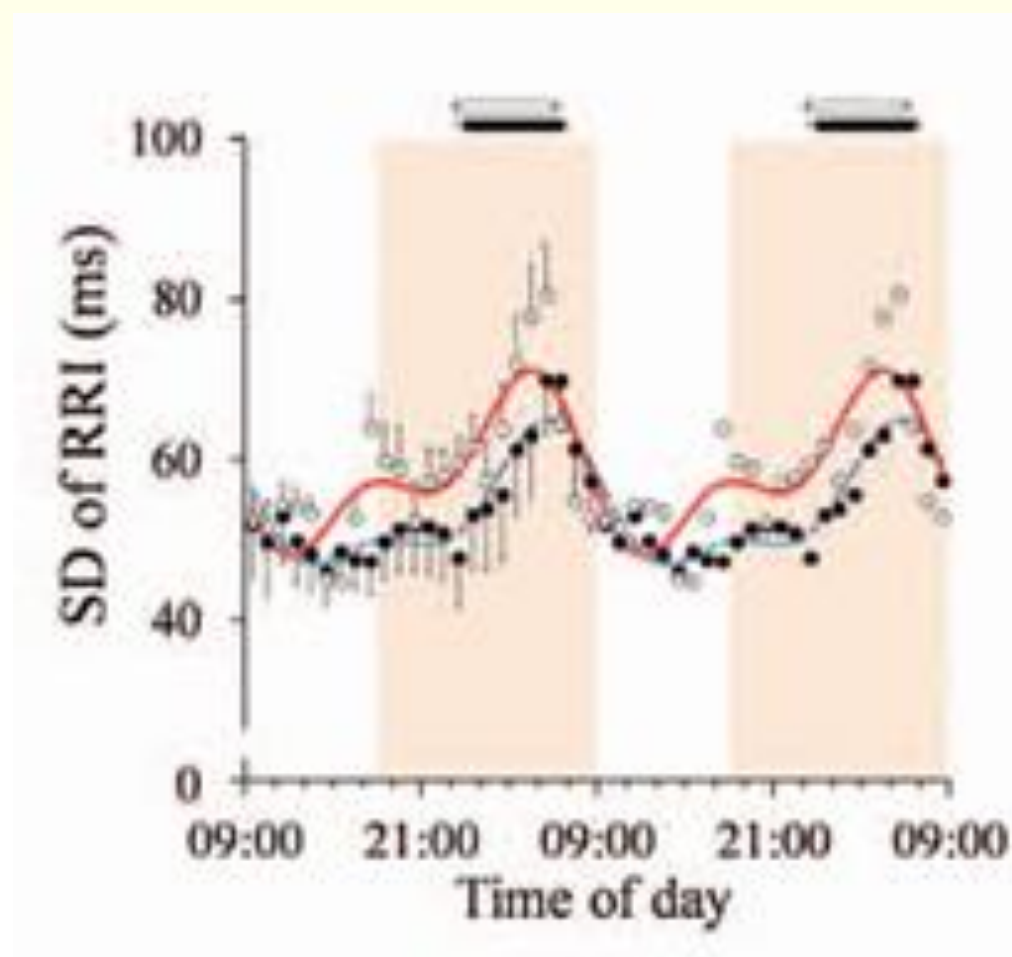
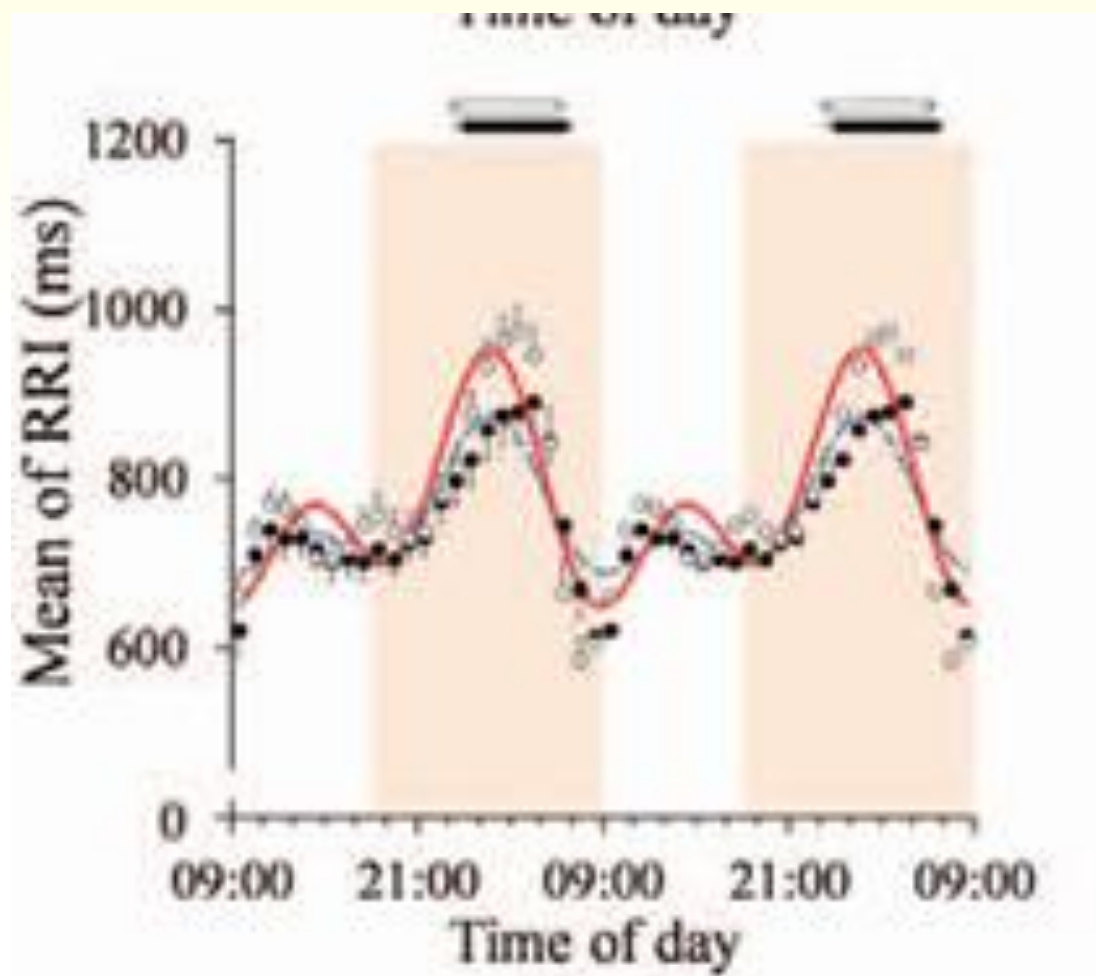


Frequency Band	Peak (Hz)	Power (ms^2)	Power (%)	Power (n.u.)
VLF	0.0234	1	5.3	
LF	0.0898	23	91.5	96.6
HF	0.1621	1	3.2	3.4
LF/HF			28.326	

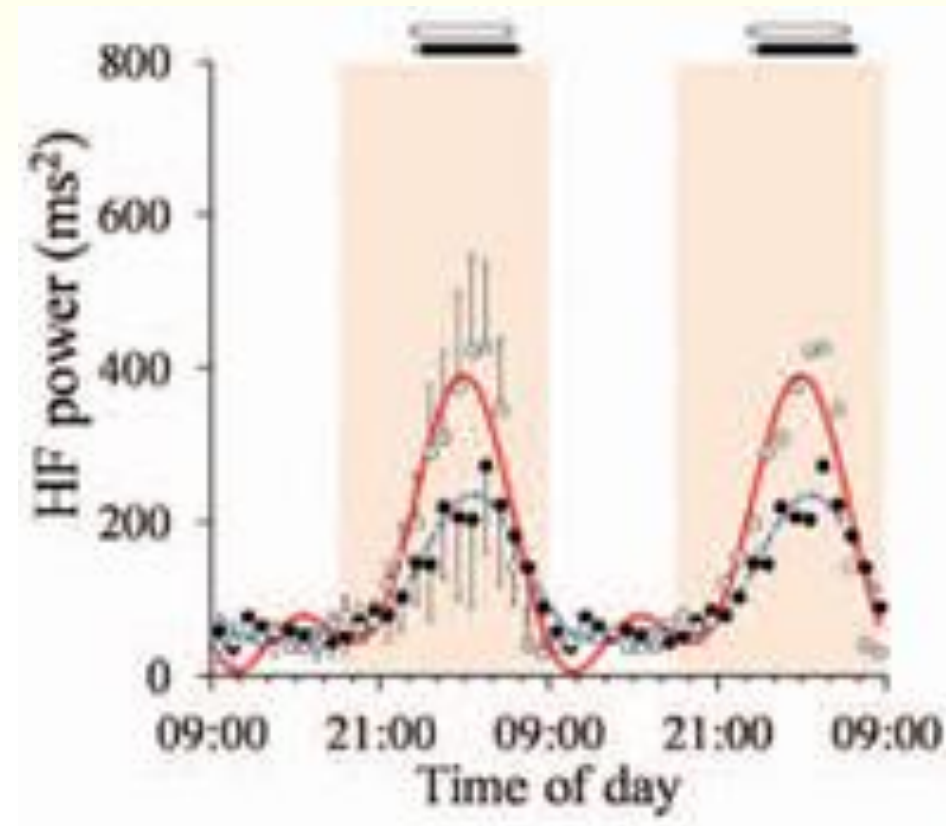
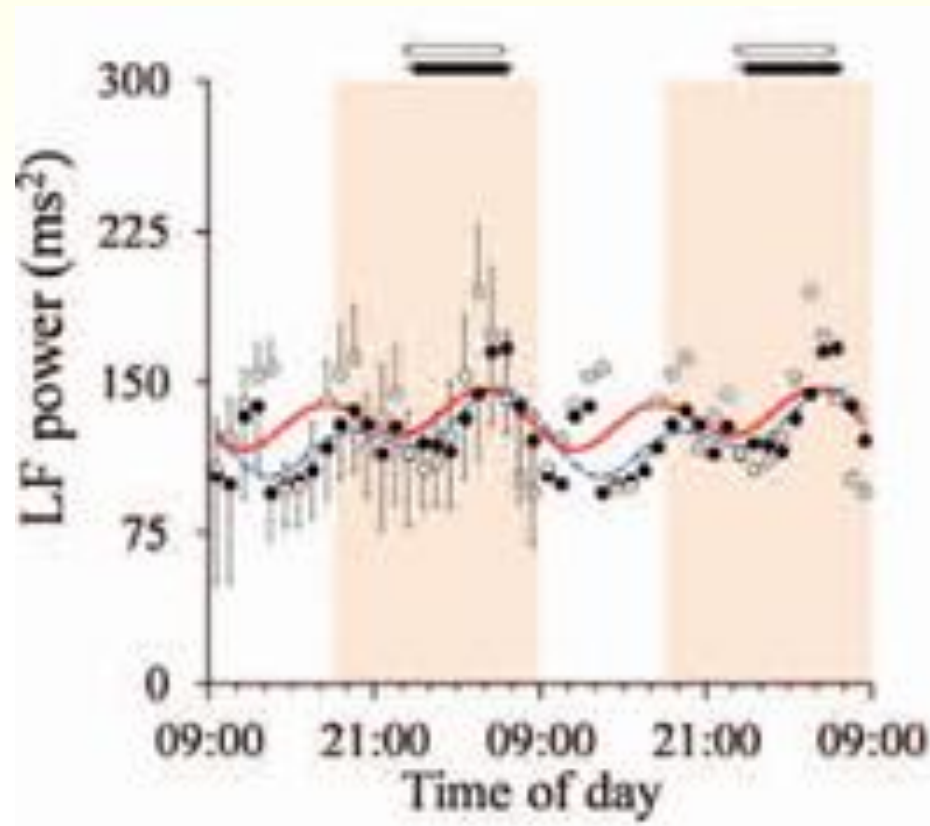


Frequency Band	Peak (Hz)	Power (ms^2)	Power (%)	Power (n.u.)
VLF	0.0000	59	3.8	
LF	0.0918	1480	95.4	99.0
HF	0.1953	13	0.8	0.9
LF/HF			116.261	

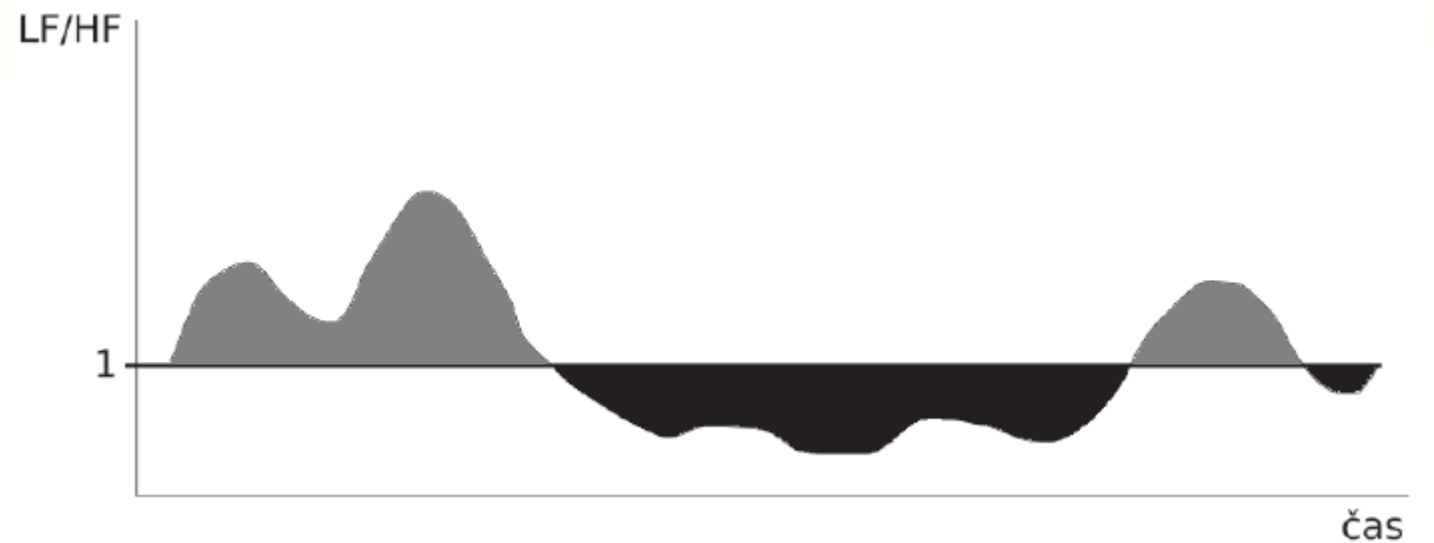
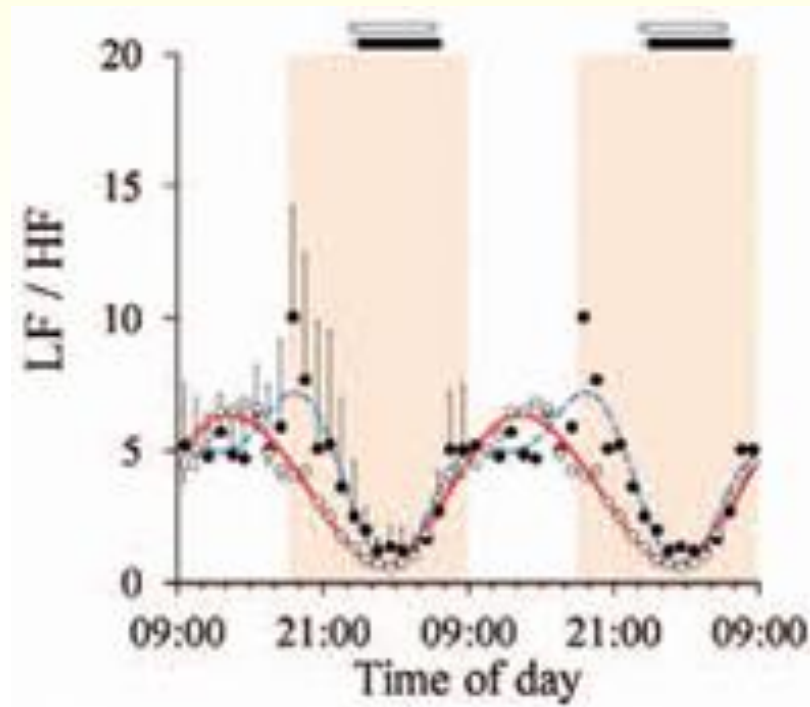
Parametry HRV ve spektrální oblasti



Parametry HRV ve spektrální oblasti

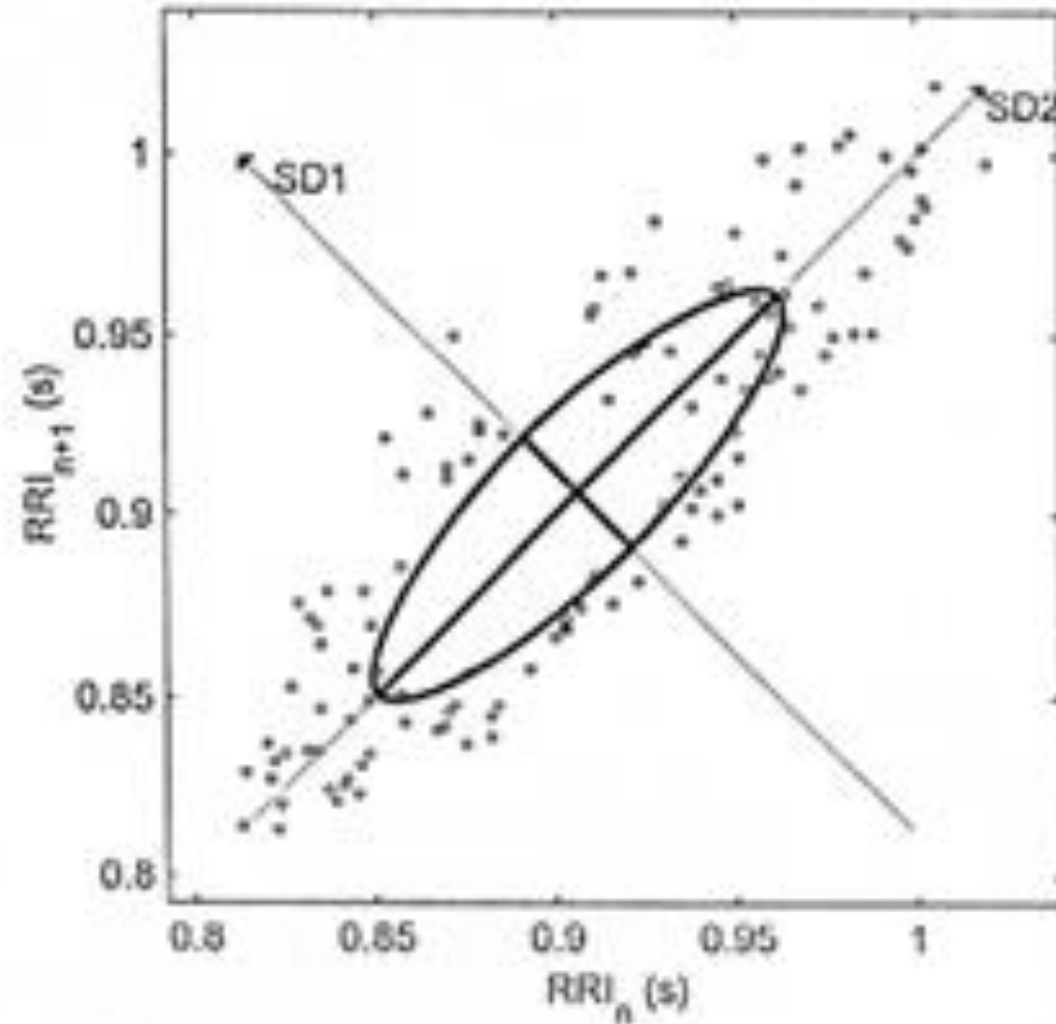
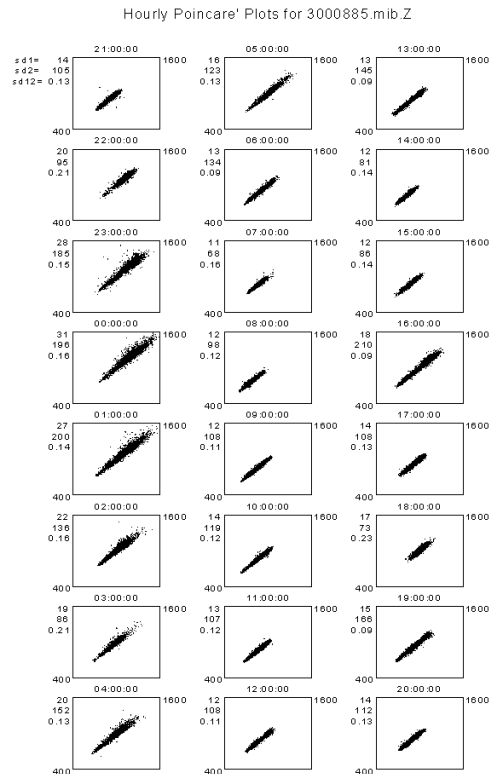


Parametry HRV ve spektrální oblasti

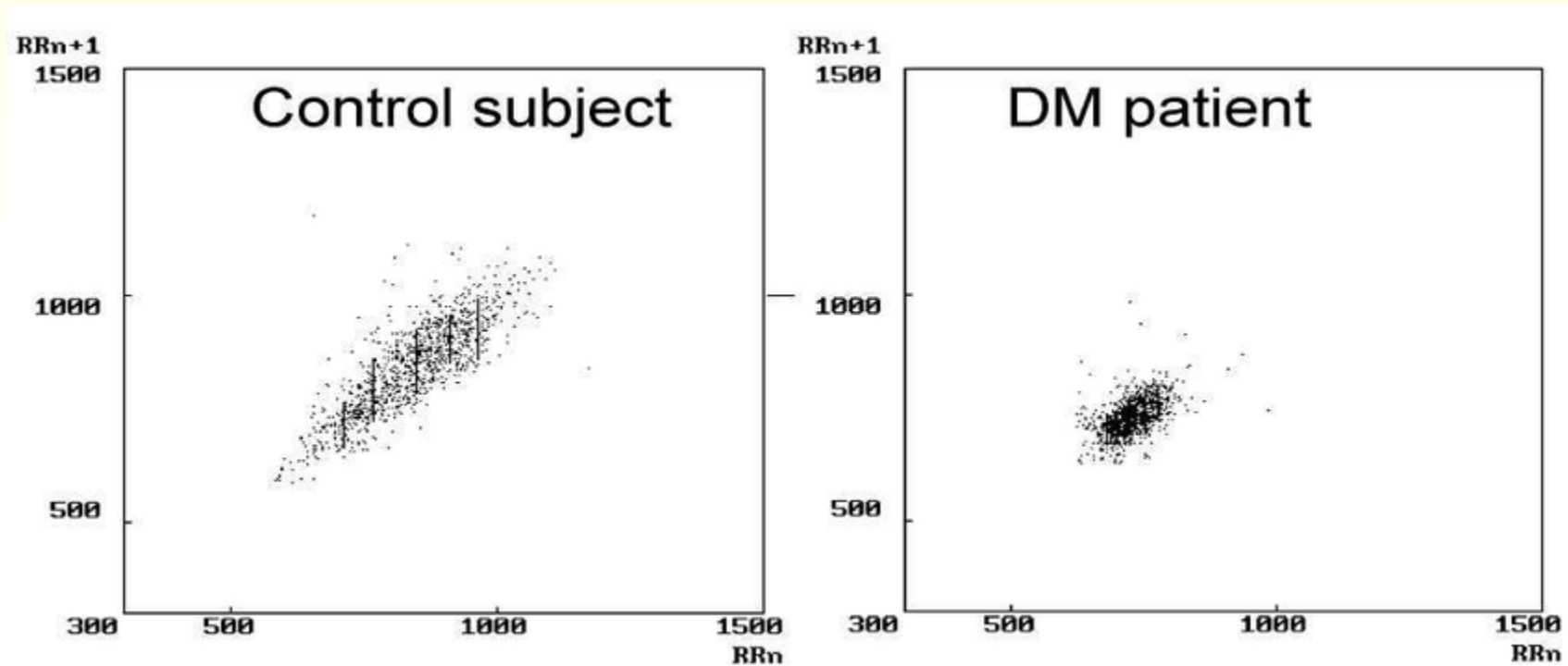


Nelineární metody – Poincare plot

Poincare Plot* SD1 = 21.2 ms \leftrightarrow (Short-term HRV)
SD2 = 78.4 ms \leftrightarrow (Long-term HRV)



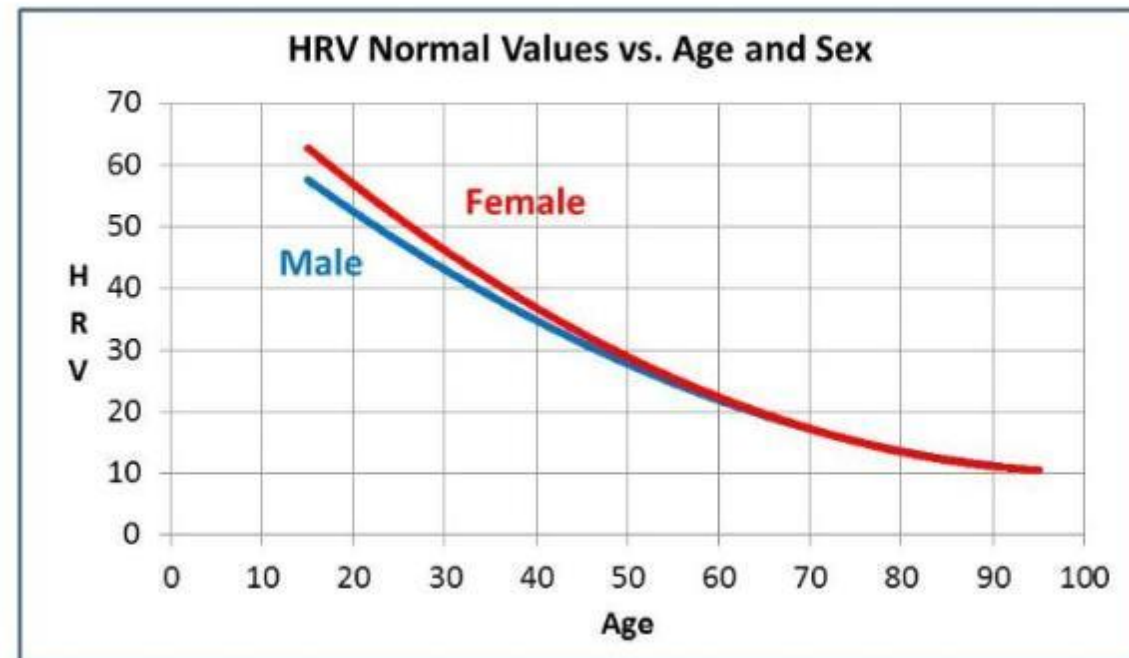
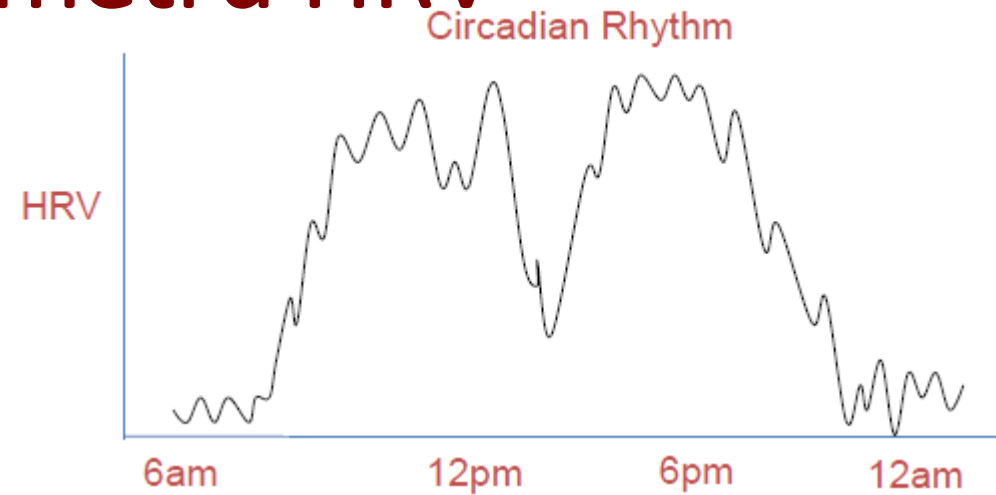
HRV a DM1



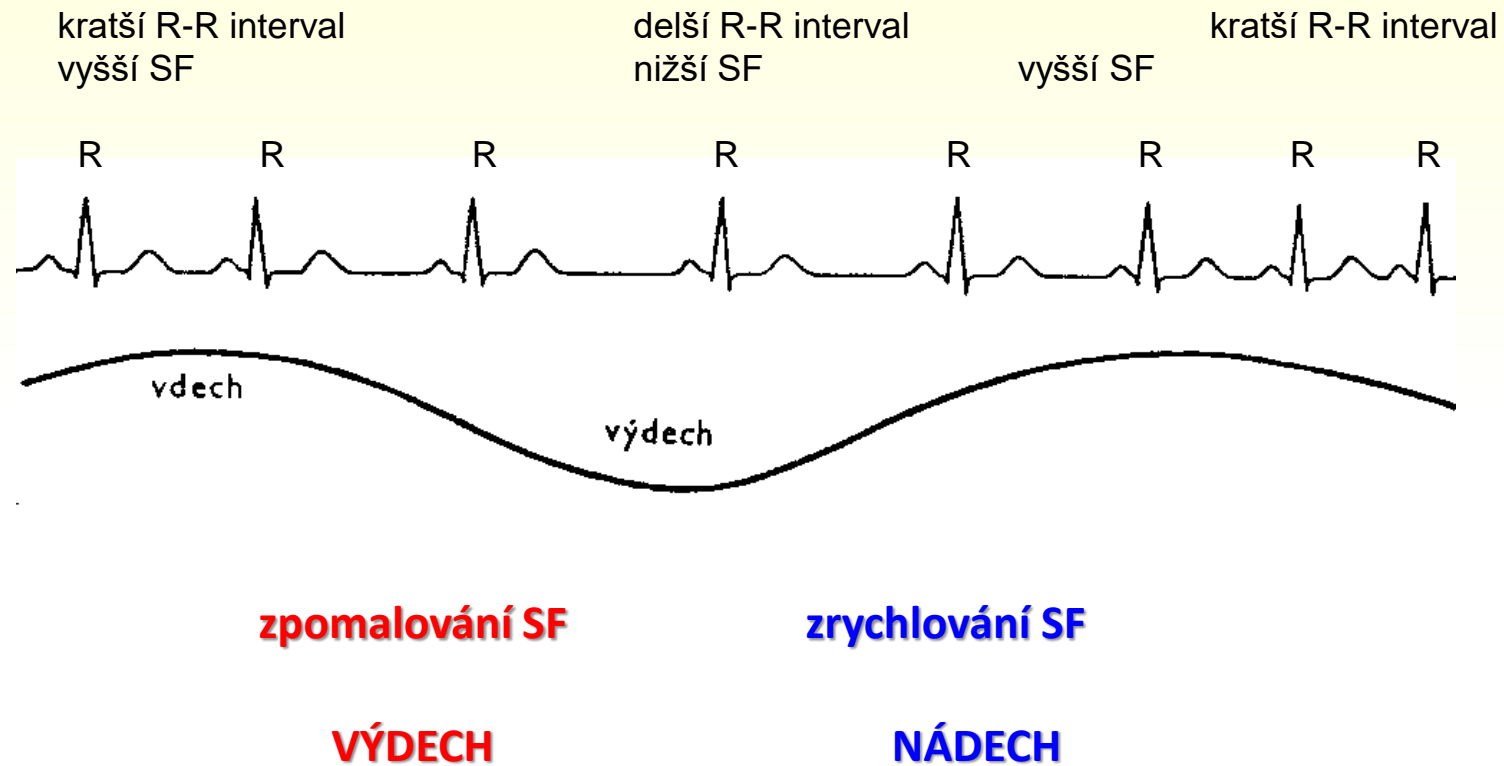
Závislost parametrů HRV

- krátkodobé
- dlouhodobé

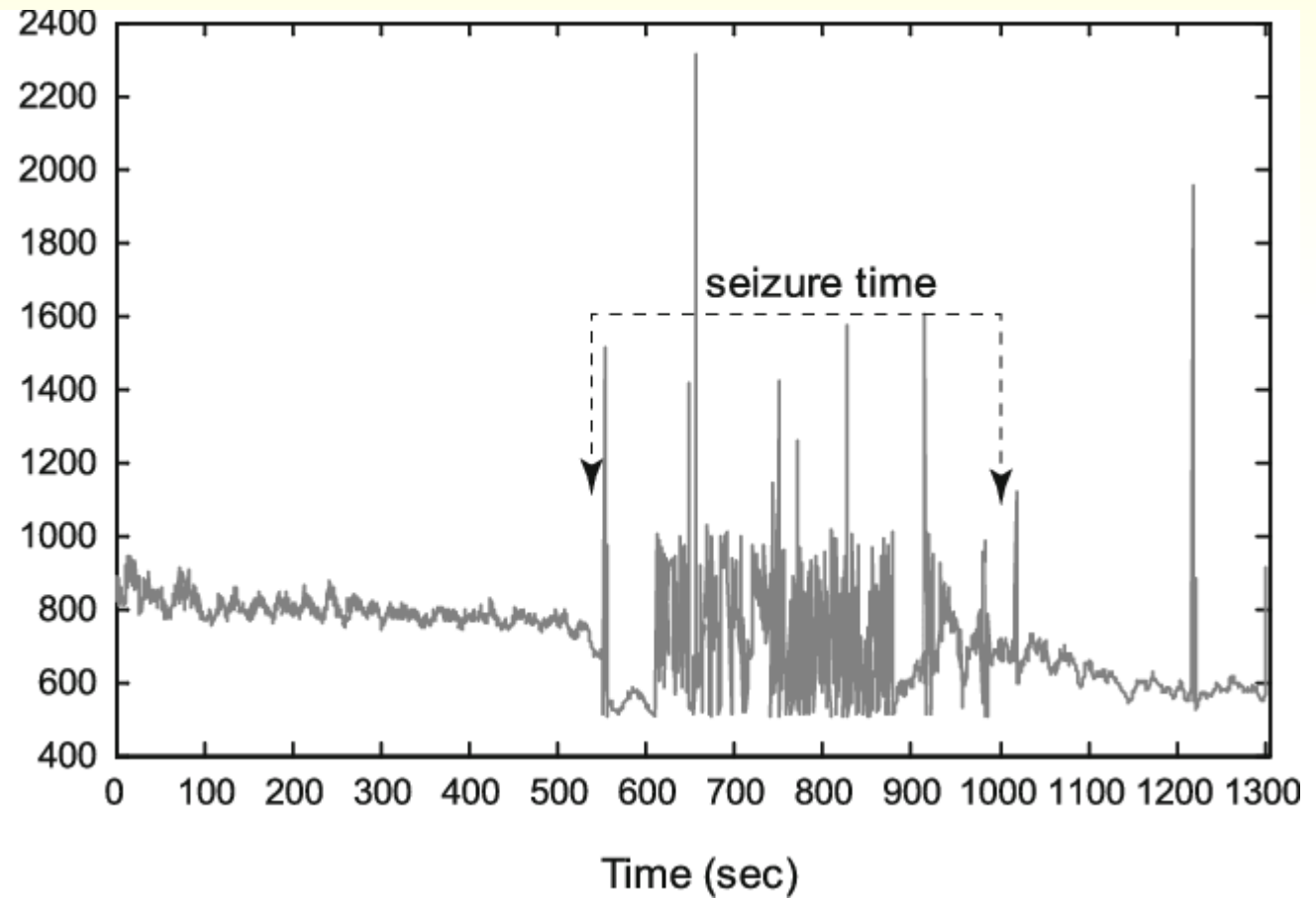
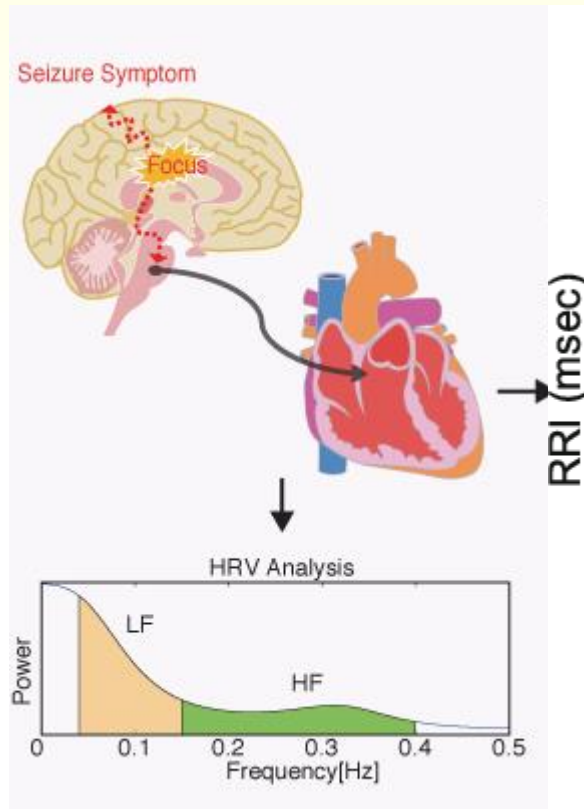
- věk
- pohlaví



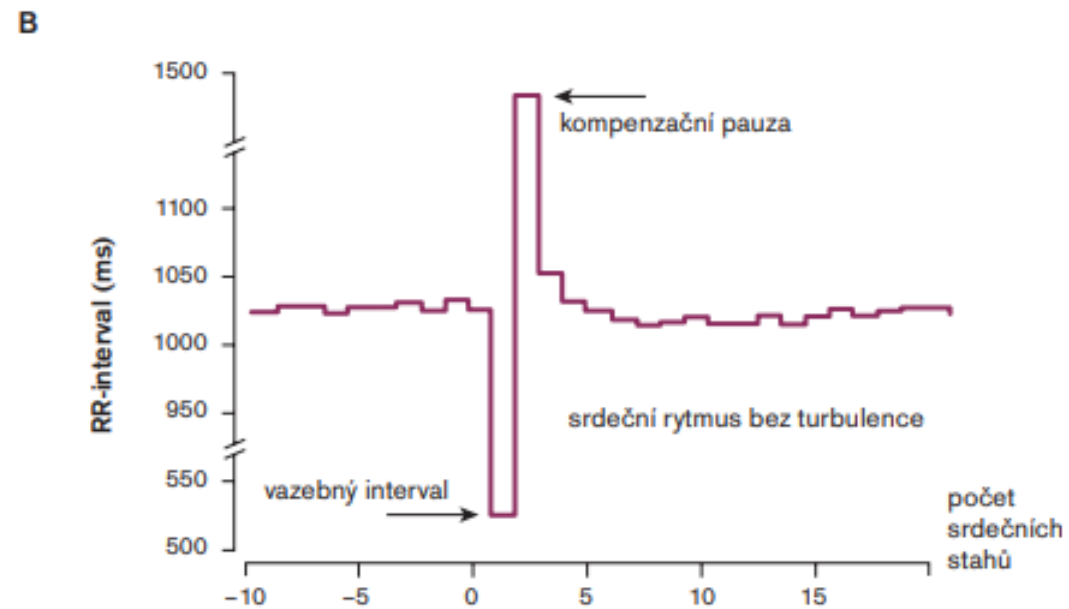
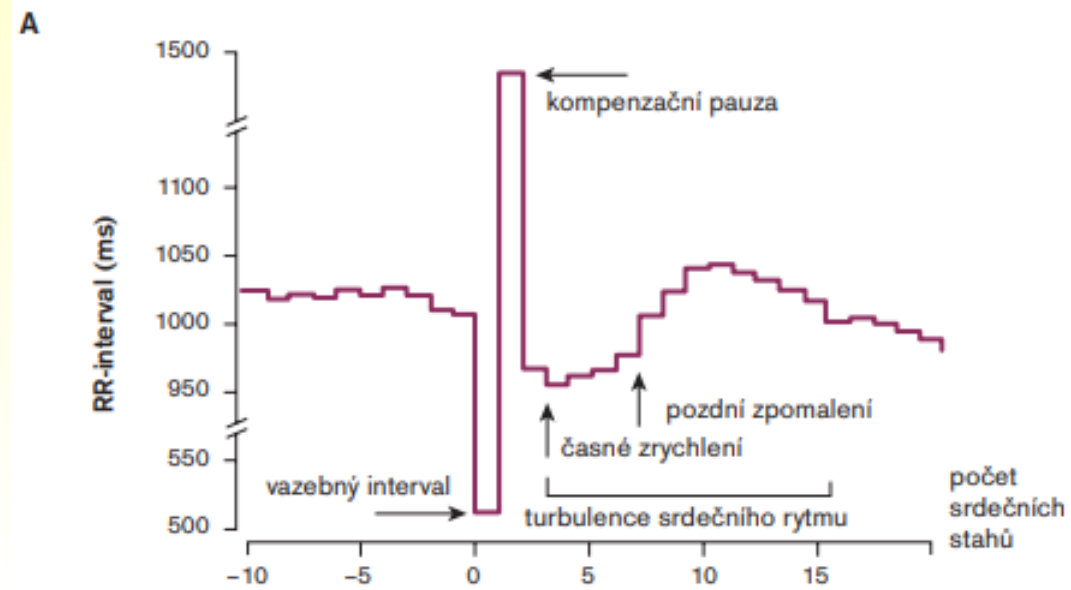
Variabilita srdeční frekvence



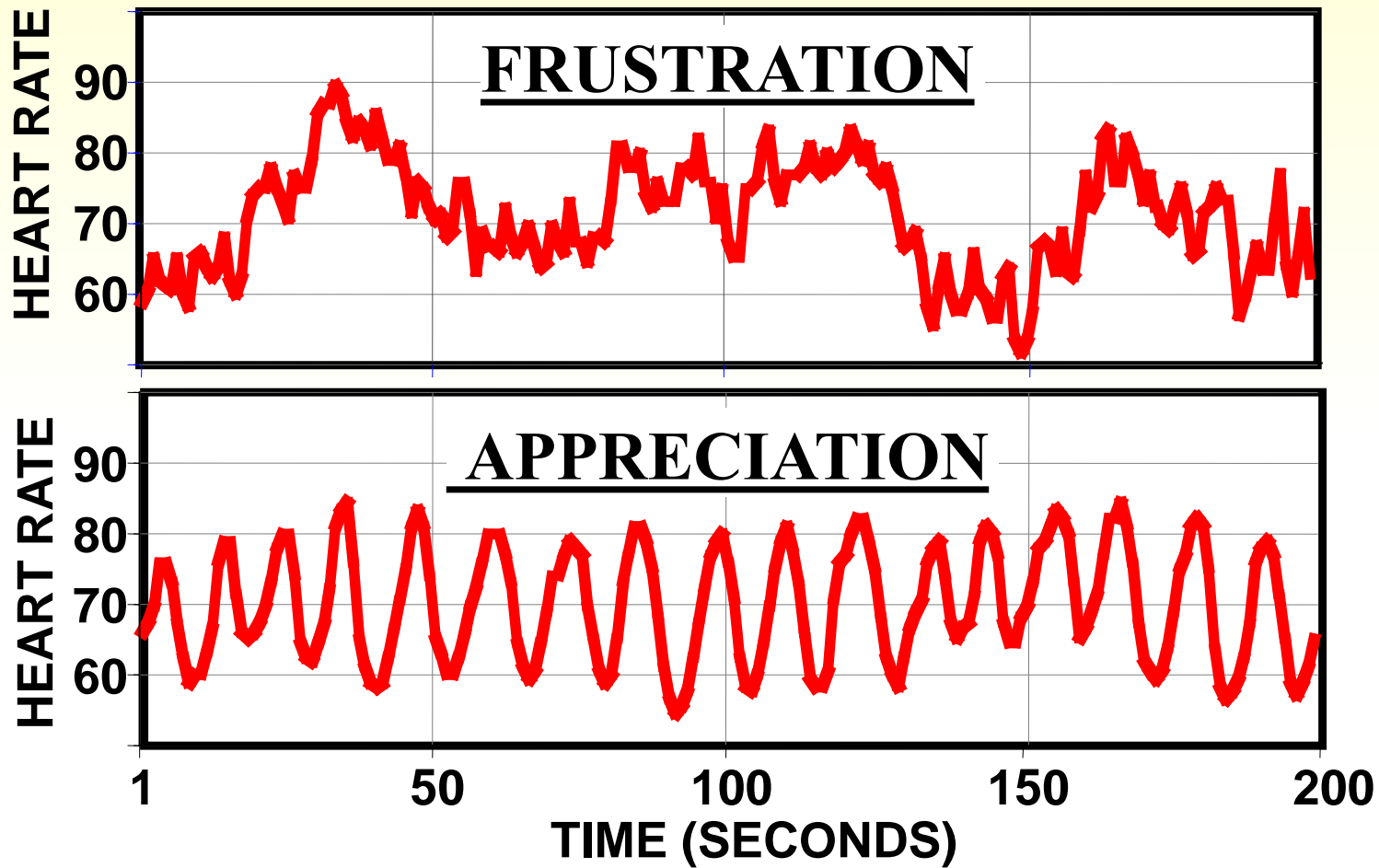
HRV a epilepsie



Turbulence srdečního rytmu



Emoce ve vzorcích srdečního rytmu



HRV s PPG i s EKG

PPG

- 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 <i>RR</i> (s)	0.6403	0.6401	0.7324	0.7304	0.6543	0.6540
RMSSD	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.