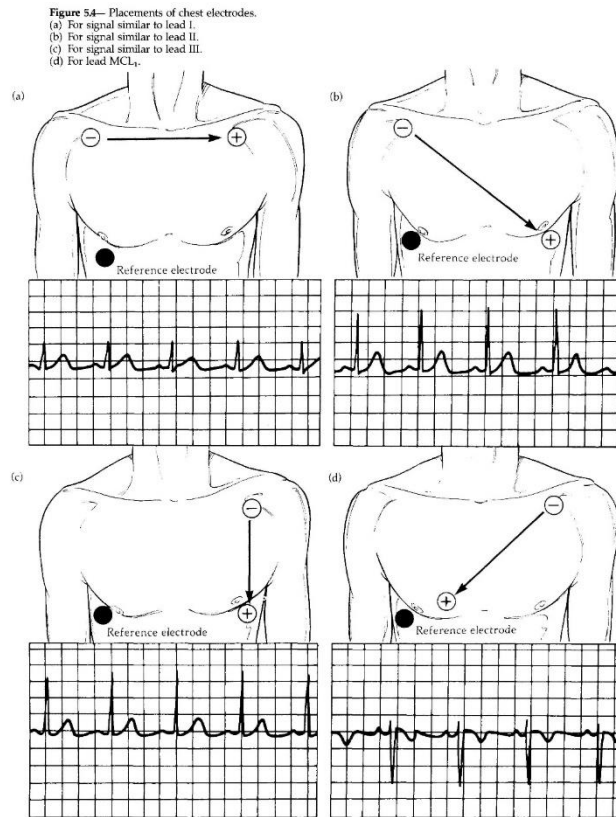
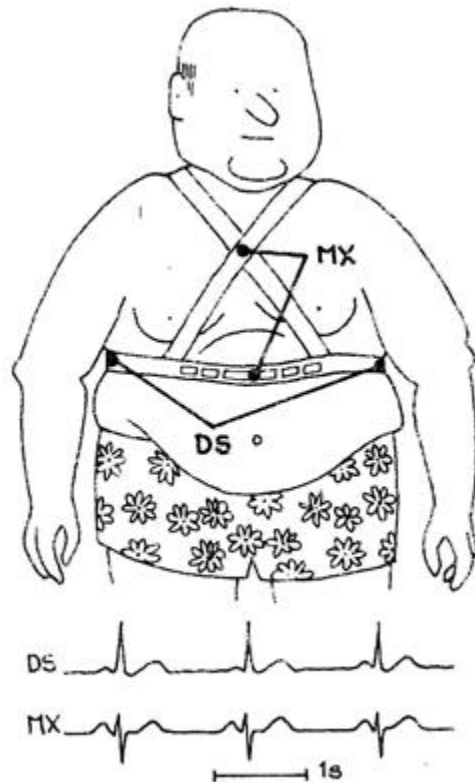


5. PŘEDNÁŠKA – SIGNÁLY SRDCE 2

- **Další typy EKG**
 - náhradní umístění svodů
 - zátěžové, Holter, monitorování
 - dětské EKG, veterinární medicína
 - jícnové EKG, intrakardiální
- **Základní EKG křivky**
 - poruchy rytmu
 - ektopické aktivity
 - blokády šíření
 - hypertrofie
- **Variabilita srdeční frekvence – HRV**
 - HRV a autonomní nervový systém
 - metody analýzy HRV
 - časová oblast, frekvenční oblast, nelineární metody
 - faktory ovlivňující HRV

Náhradní umístění elektrod

- co nejmenší vliv pohybu vyšetřovaného na kvalitu signálu – pohybové artefakty, myopotenciály;
- co nejmenší vliv vodičů na mobilitu vyšetřovaného



Náhradní umístění elektrod

- končetinové svody
 - definoval Einthoven (historický aspekt)
 - dávají obecně větší biosignály
 - jsou obecně více rušeny
 - snadnost připojení

Present state-of-the-art is often based on historical quirks rather than on a profound scientific basis.

*Encyclopedia of Medical Devices and Instrumentation, Second Edition, edited by John G. Webster
2006 John Wiley & Sons, Inc*

Hrudní vs. končetinové svody

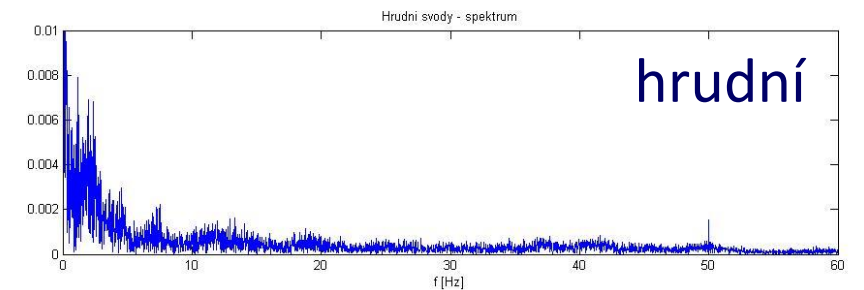
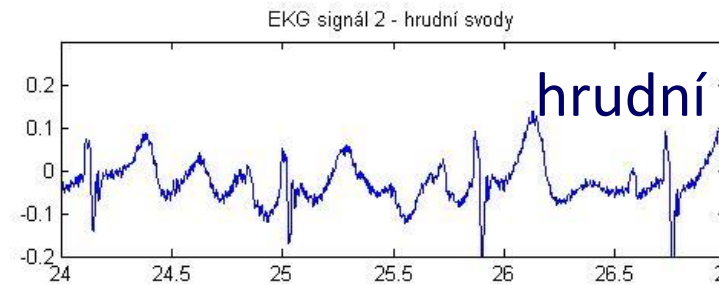
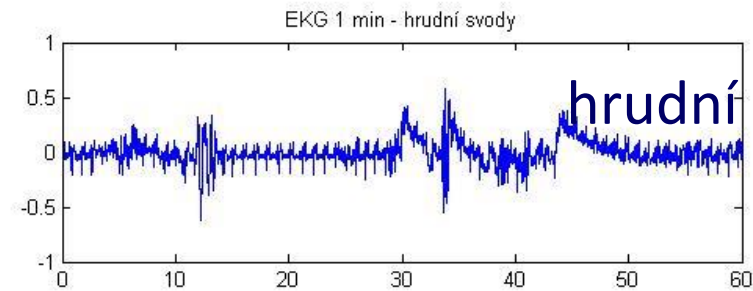
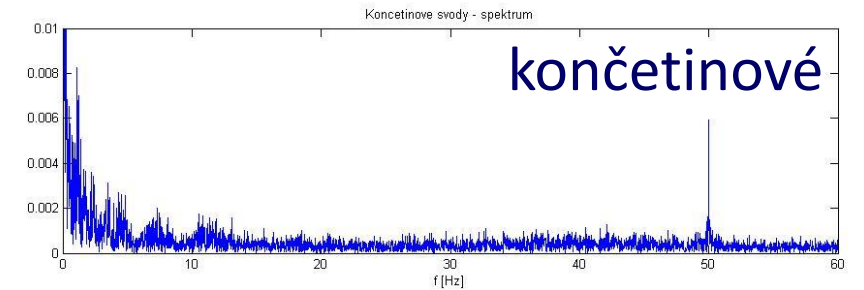
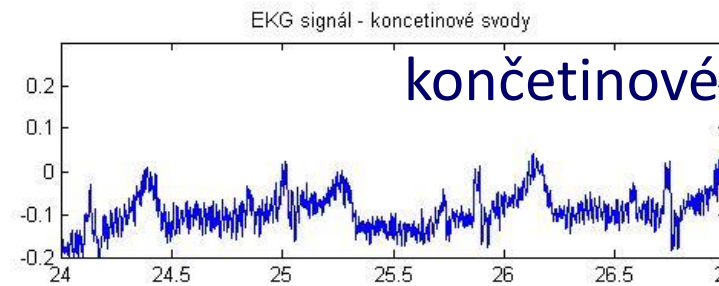
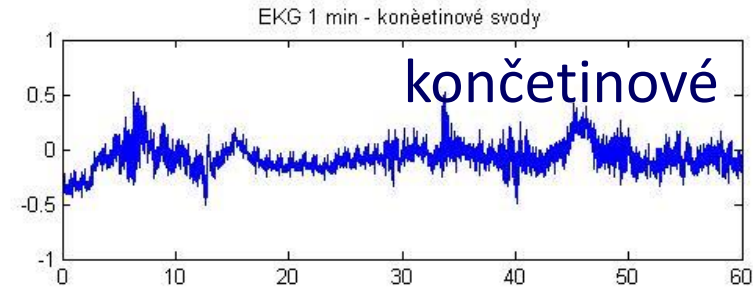
Hrudní svody

- jsou považovány za nejspolehlivější
- dávají nejčistší signál

Končetinové svody

- pro redukci rušení doporučeno dávat elektrody výše na ruku
- více citlivé na pohybové artefakty

Experimentální měření



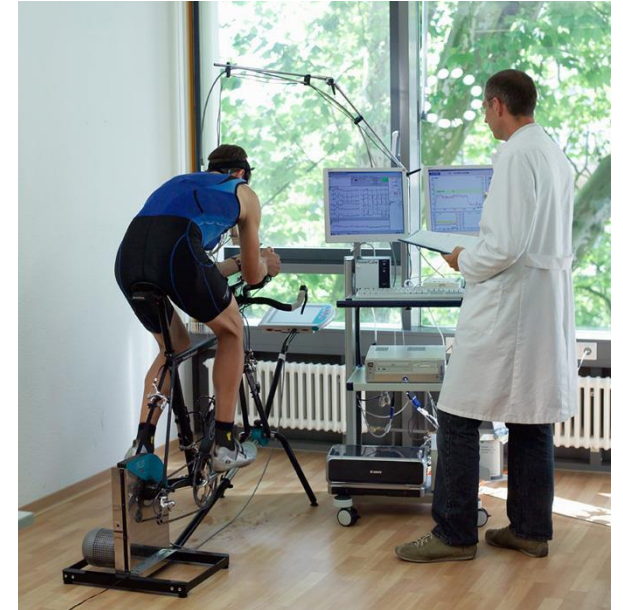
bicyklová ergometrie, ergometrie

Sportovní, pracovní lékařství

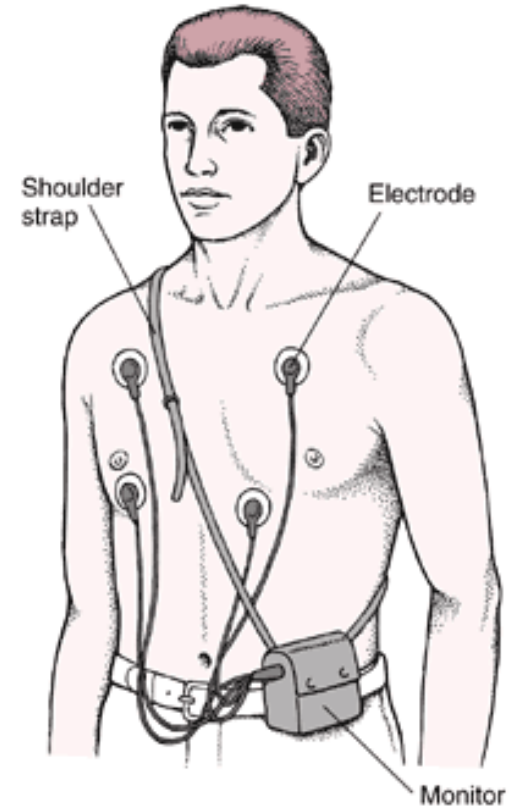
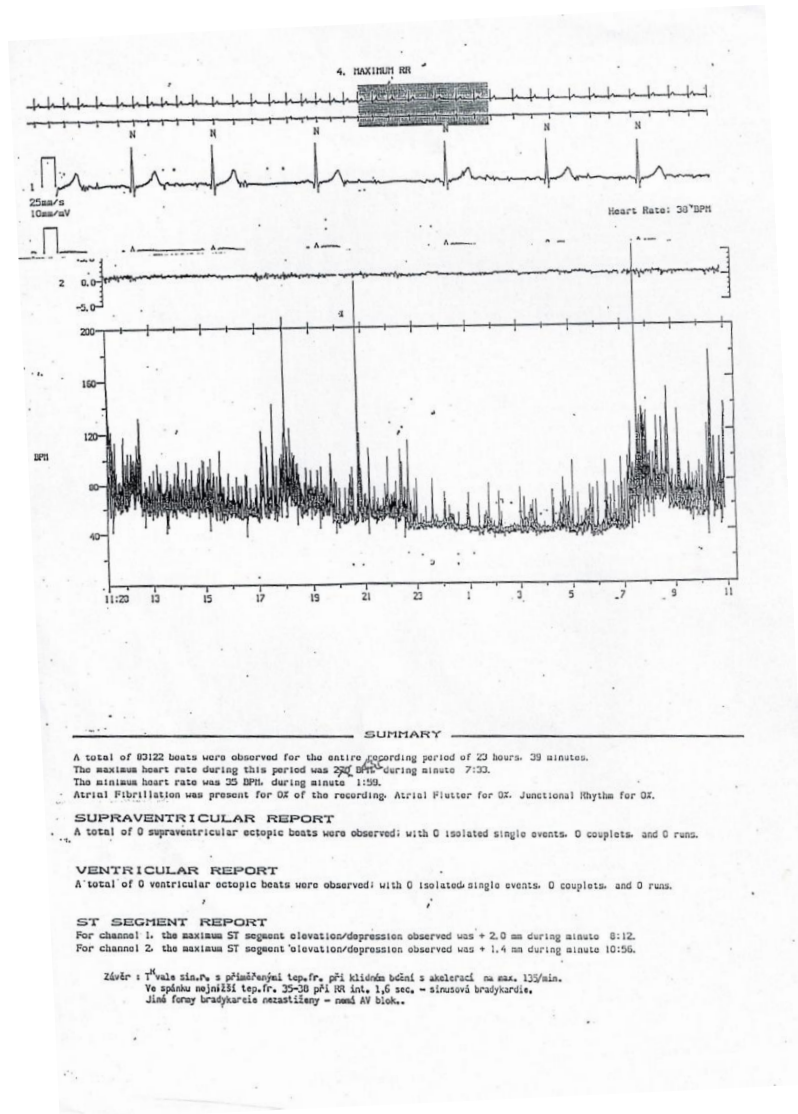
- fyzická zátěž
- standardní protokoly
- zastaví se při vysoké tepové frekvenci

Stanovení maximální možné hodnoty
srdeční frekvence při zátěžovém testu

$$\text{MHR} = 220 - \text{věk}$$

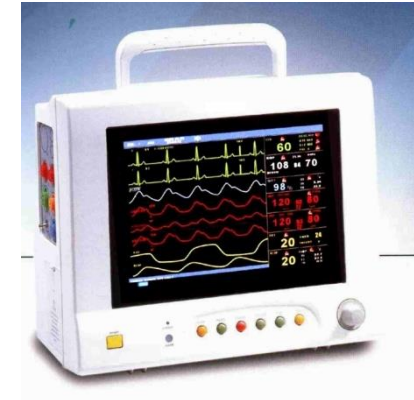


Holterovská monitorace



Monitorování EKG v intenzivní péči

- **monitorování** (dlouhodobé)
 - „bedside“ – monitorování jednoho svodu v reálném čase + dechová frekvence
 - změna rytmu
 - výskyt extrasystoly – začne houkat alarm

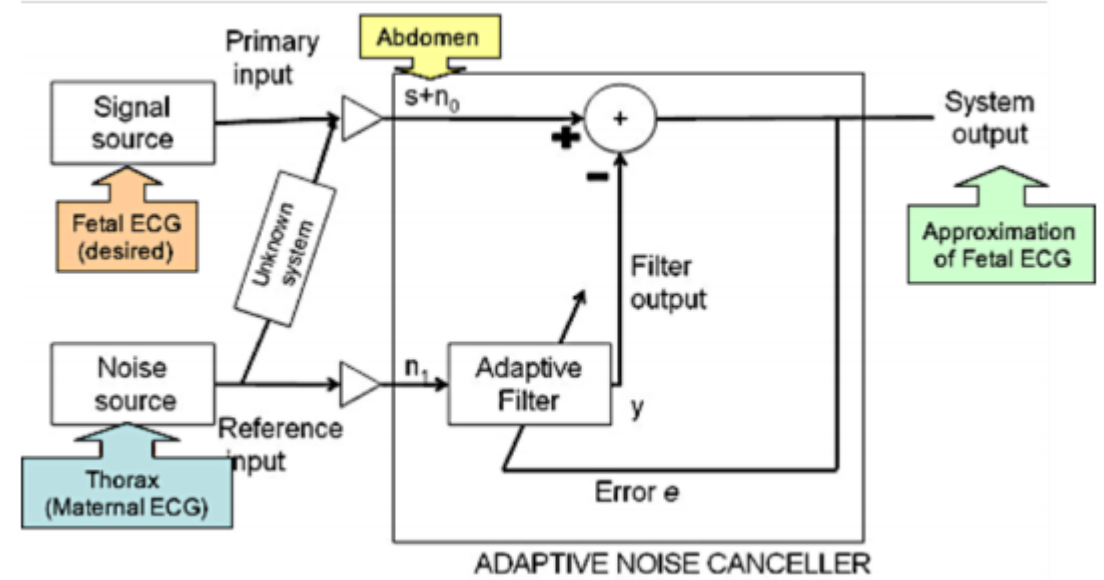
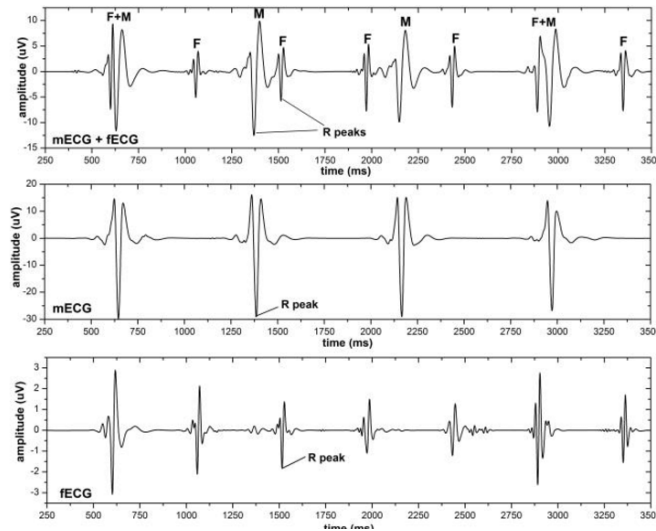
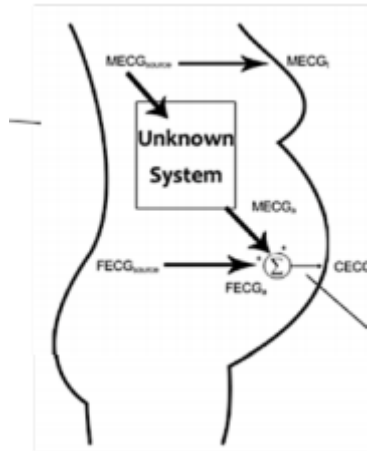


EKG u dětí

| Age | Mean (range) Heart Rate (beats/min) | Mean (max) PR Interval (s) | Mean (range) QRS Axis (degrees) | Mean (max) QRS Interval (s) |
|-------------|-------------------------------------|----------------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| 0-4 weeks | 145 (95-180) | 0.10 (0.12) | +110 (30-180) | 0.05 (0.07) |
| 1-6 months | 145 (110-180) | 0.11 (0.14) | +70 (10-125) | 0.05 (0.075) |
| 6-12 months | 135 (110-170) | 0.11 (0.14) | +60 (10-110) | 0.05 (0.075) |
| 1-3 years | 120 (90-150) | 0.11 (0.15) | +60 (10-110) | 0.05 (0.075) |
| 4-5 years | 110 (65-135) | 0.13 (0.15) | +60 (0-110) | 0.06 (0.075) |
| 6-8 years | 100 (60-130) | 0.14 (0.16) | +60 (-15- +110) | 0.06 (0.075) |
| 9-11 years | 85 (60-110) | 0.14 (0.15) | +60 (-30- +105) | 0.06 (0.085) |
| 12-16 years | 65 (60-110) | 0.15 (0.17) | +60 (-30- +105) | 0.07 (0.085) |
| > 16 years | 80 (60-100) | 0.15 (0.20) | +60 (-30- +105) | 0.08 (0.10) |

Reproduced from: Amieva-Wang NE. *A Practical Guide to Pediatric Emergency Medicine*. New York: Cambridge University Press; 2011.

Fetální EKG



EKG ve veterinární medicíně

6 končetinových svodů :

snímají srdce ze stran a zezadu v horizontální rovině
 I, II, aVL „se dívají“ na levý laterální povrch
 III, aVF zezadu
 aVR na pravou síň

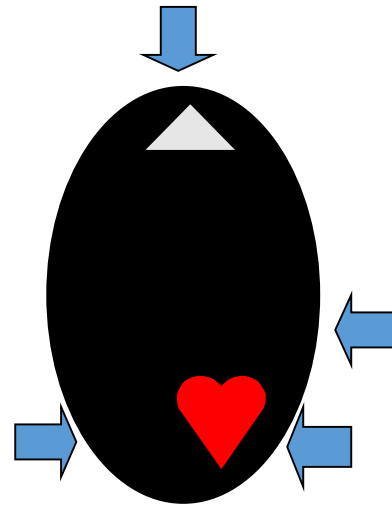
6 hrudních svodů:

snímají srdce v transverzální rovině
 C1 „se dívá“ na pravou síň a komoru
 C4 na septum a levou komoru
 C5 na levou komoru
 C6 levou síň

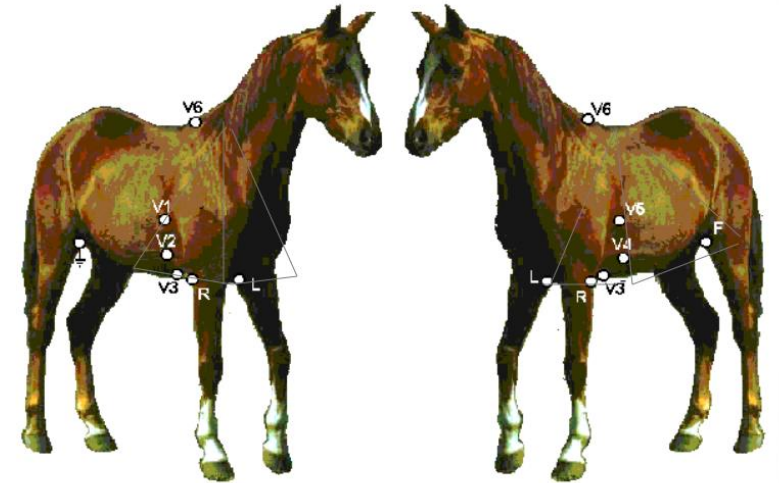
Poloha zvířete

- v sedě
- v náruči majitele
- na pravém boku

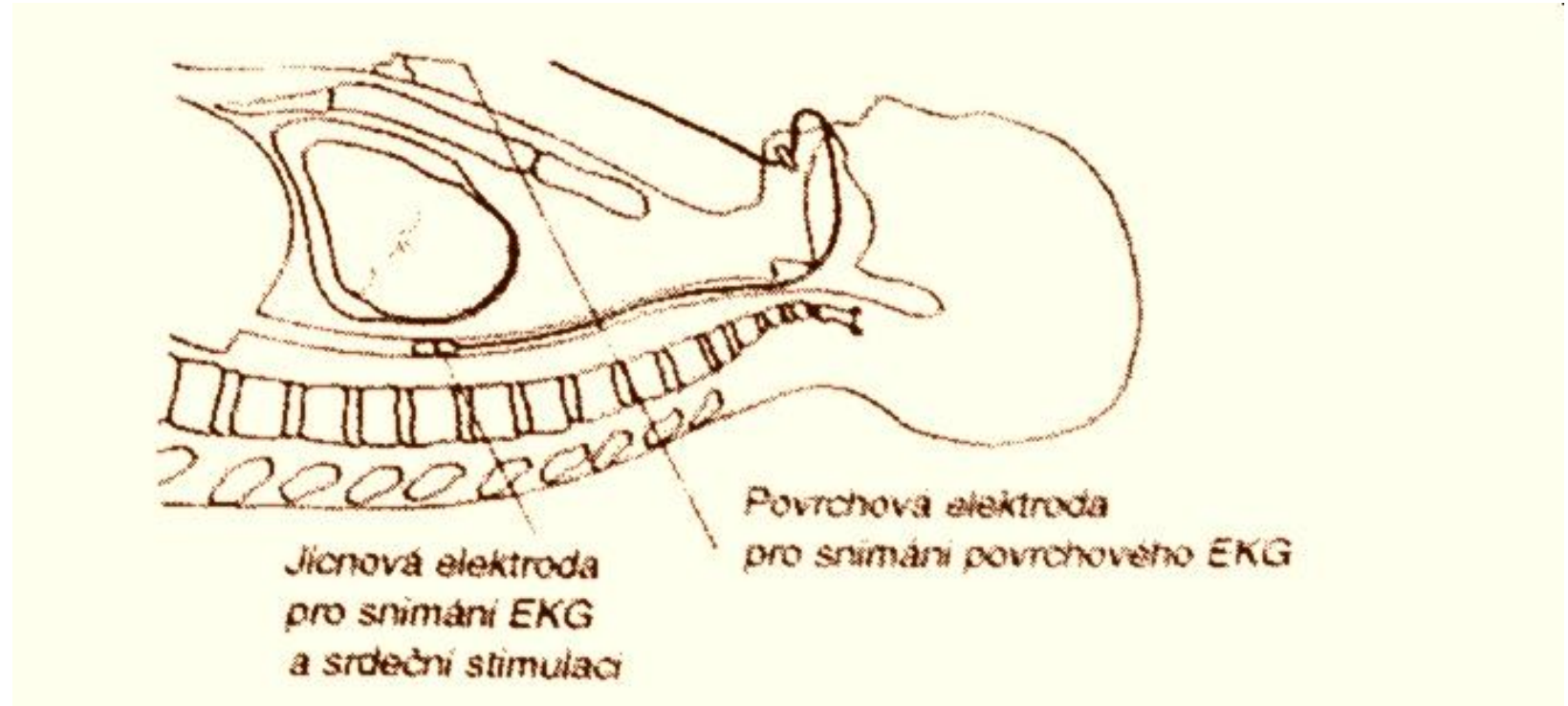
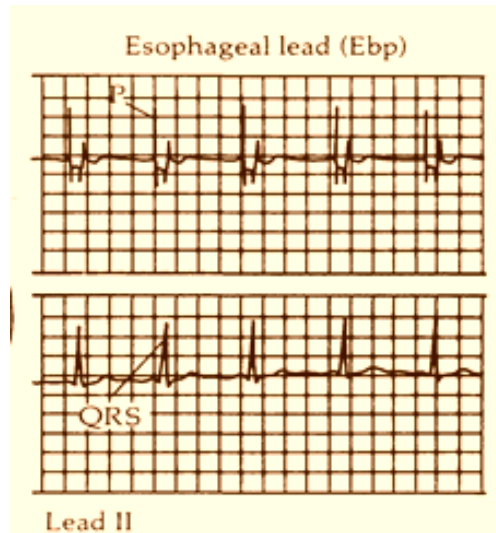
(ve stoje vznikají ARTEFAKTY !)



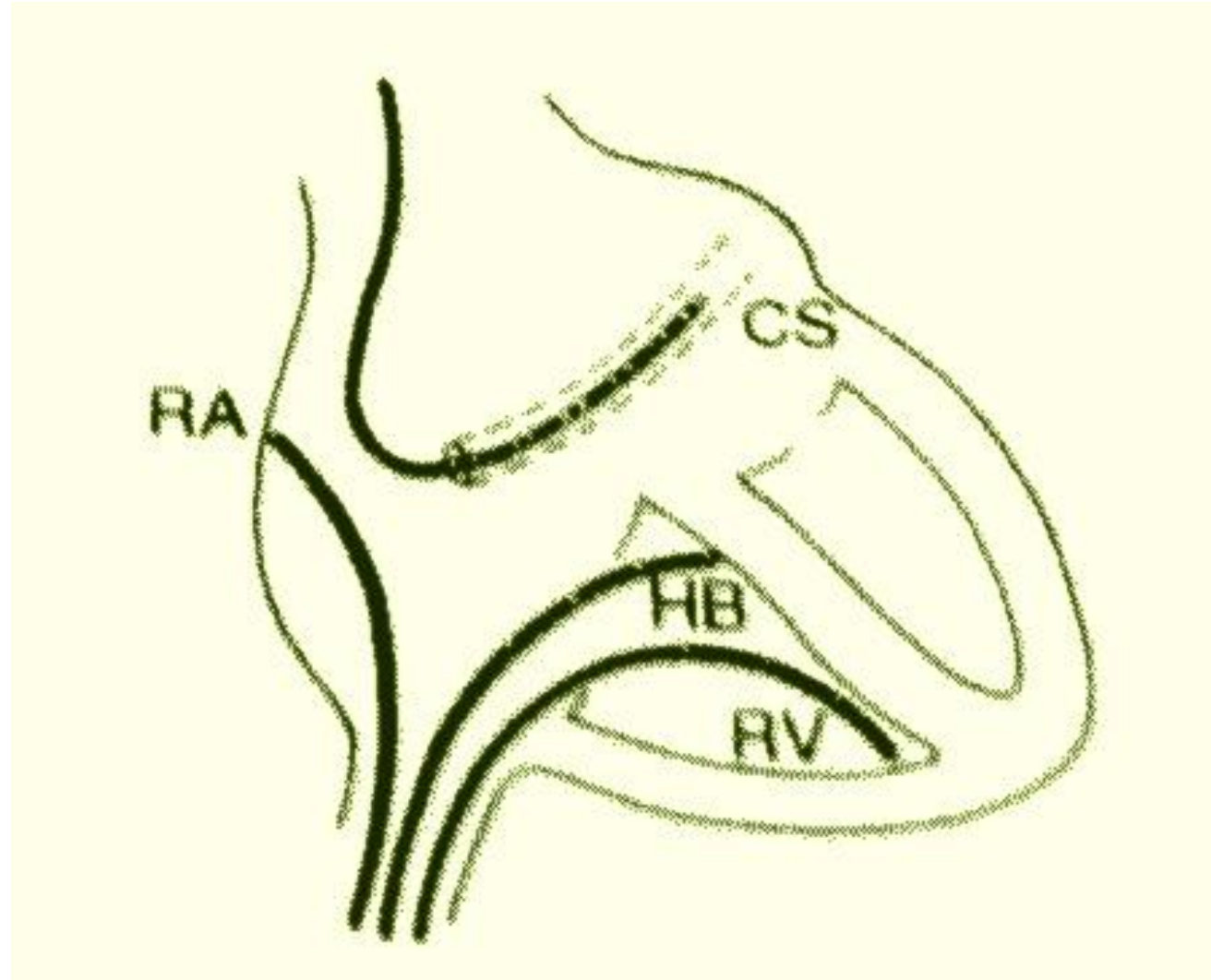
Tetraedronový svodový systém
(Hanák a Jagoš, 1983)



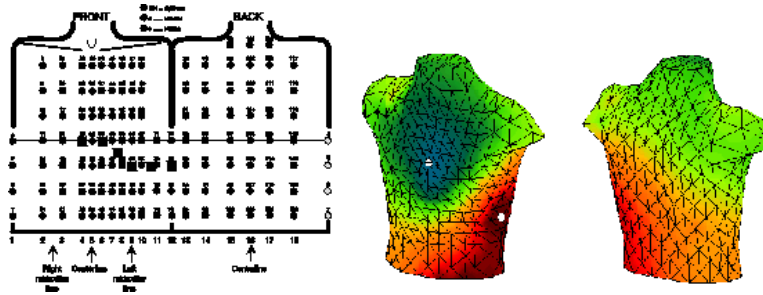
Jícnová elektrokardiografie



Intrakardiální elektrokardiografie

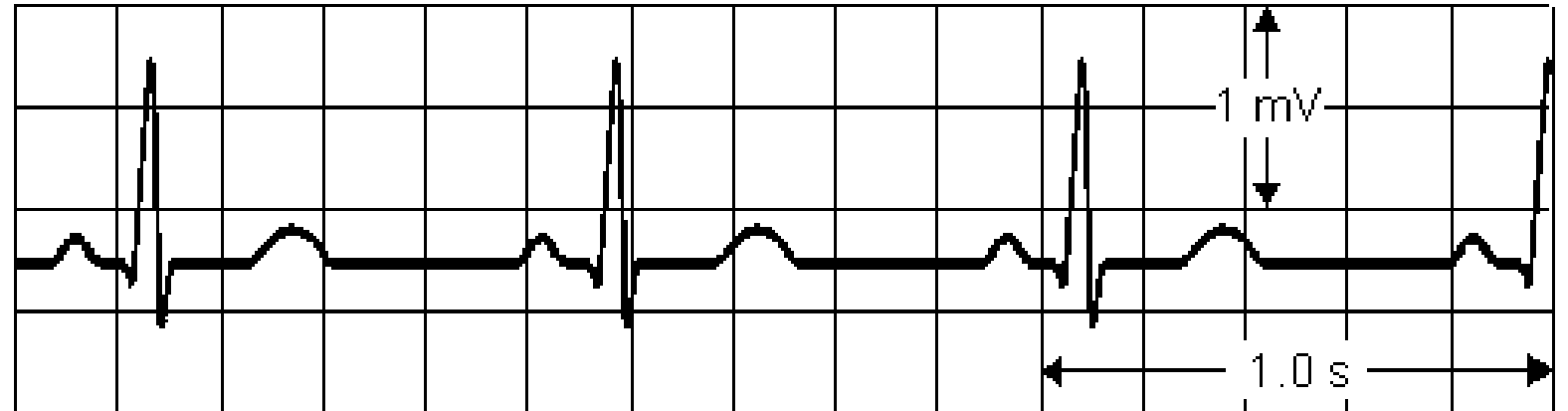
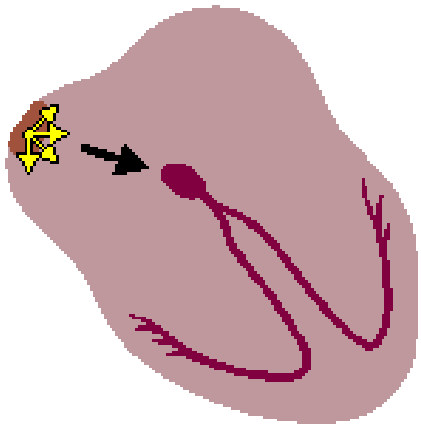


Izopotenciálové mapování

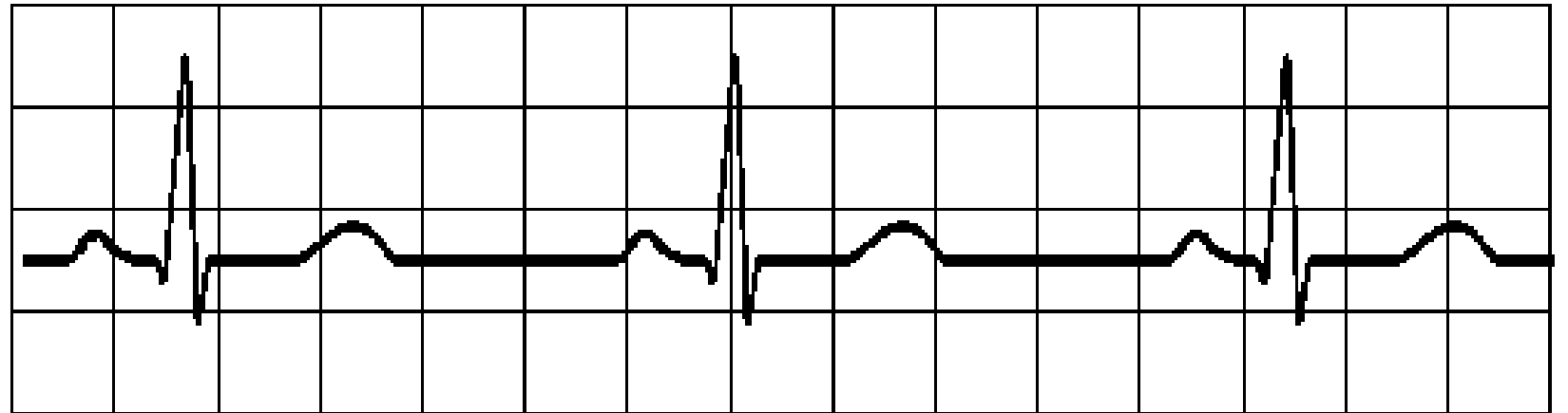
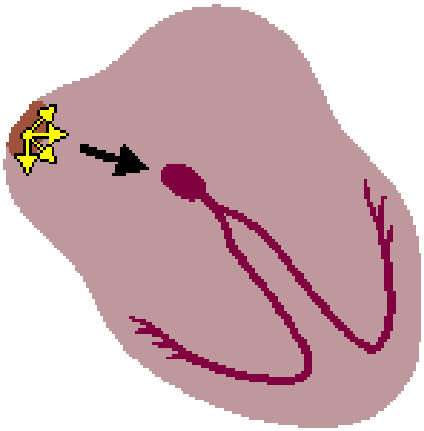


Základní EKG křivky

- **Normální sinusový rytmus**
vzruchy vznikají v SA uzlu s frekvencí 60-100/min

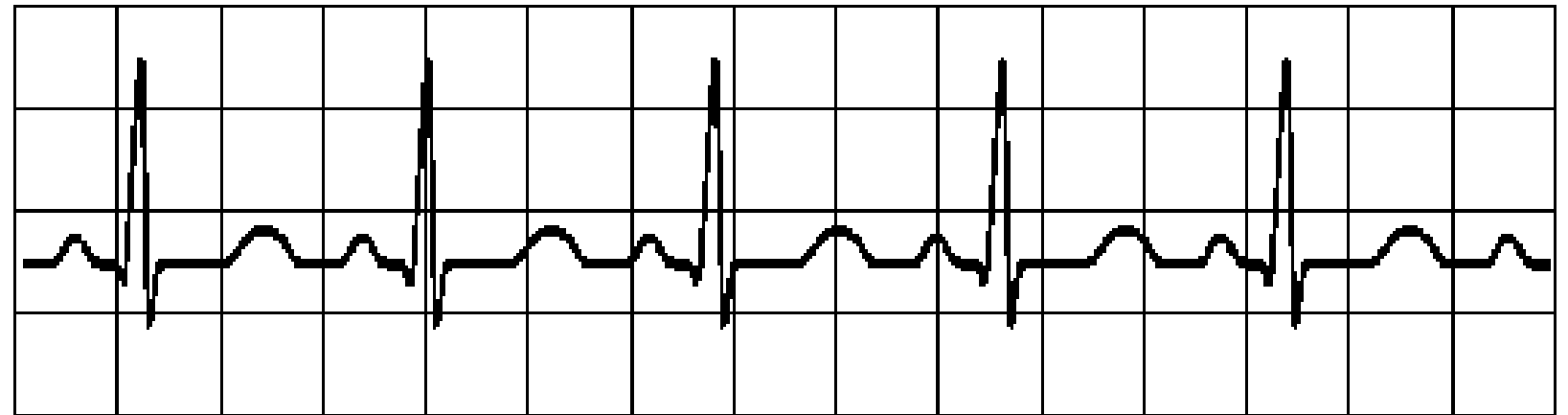
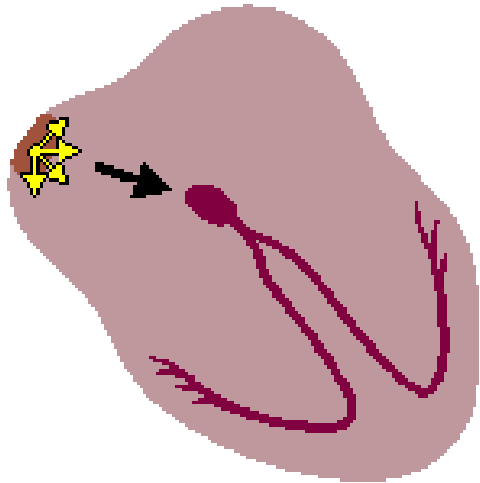


- **Sinusová bradykardie**
vzruchy vznikají v SA uzlu s frekvencí pod 60/min



Základní EKG křivky

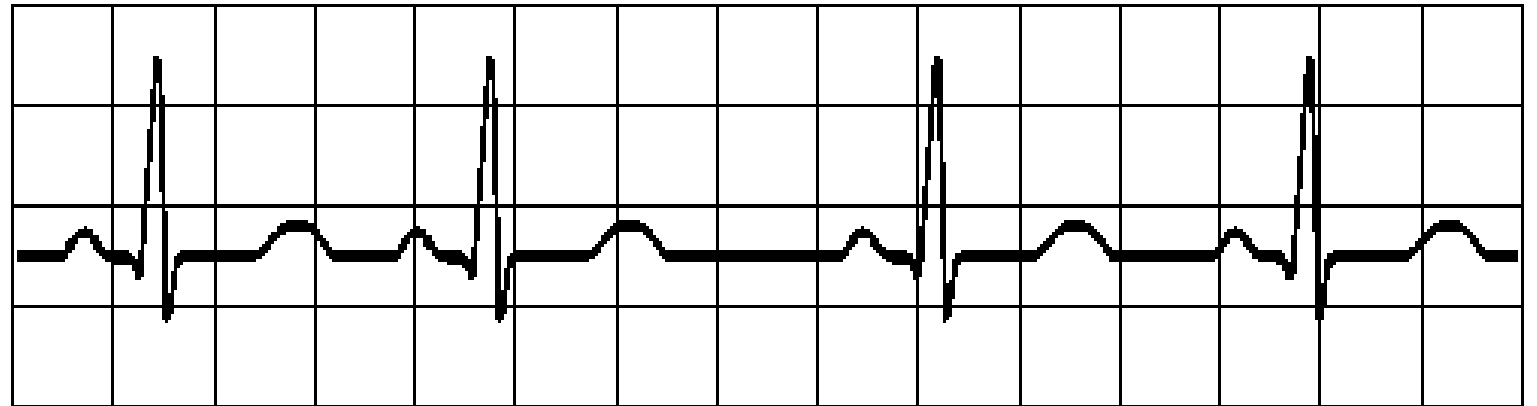
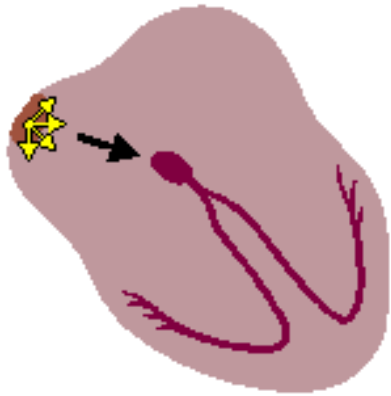
- **Sinusová tachykardie**
vzruchy vznikají v SA uzlu s frekvencí nad 100/min



Základní EKG křivky

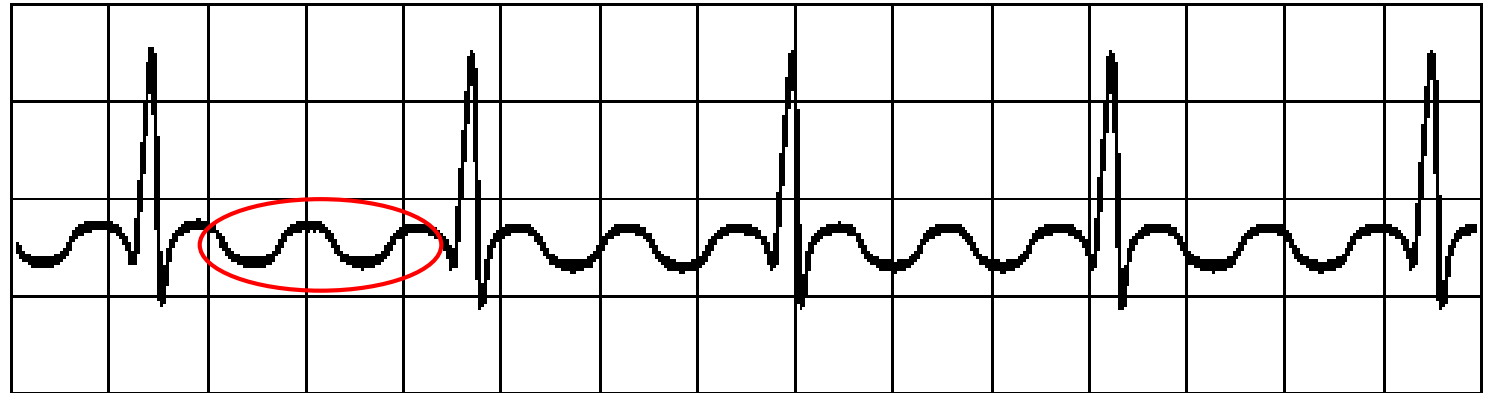
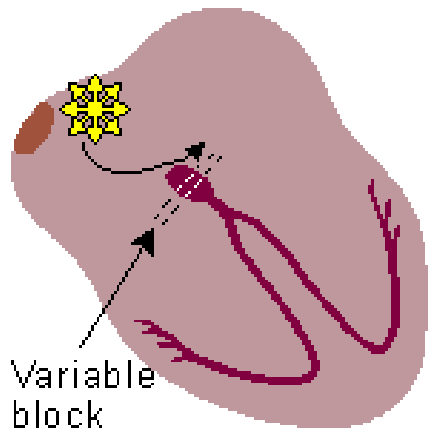
- **Respirační arytmie**

vzruchy vznikají v SA uzlu
při nádechu zrychlení
při výdechu zpomalení

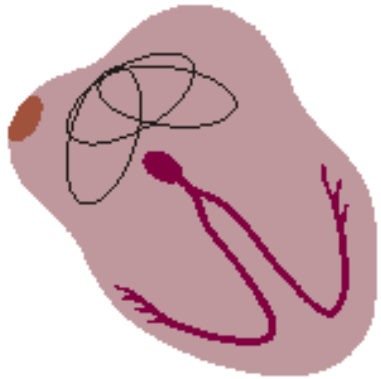


Základní EKG křivky

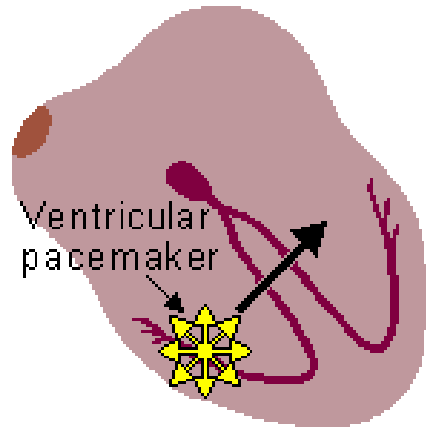
- **Flutter síní**
pravidelný krouživý pohyb vzruchu



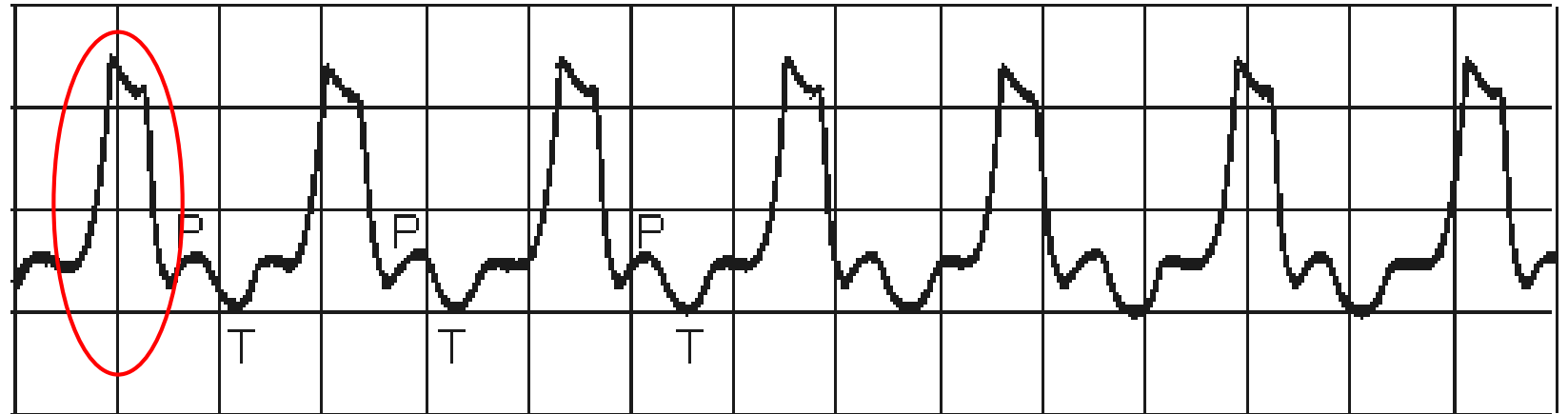
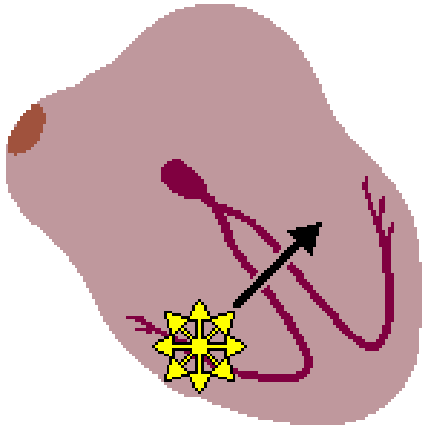
- **Fibrilace síní**
chvění, chaoticky rychlý pohyb



- **Komorová extrasystola**
1. stupeň ektopické aktivity

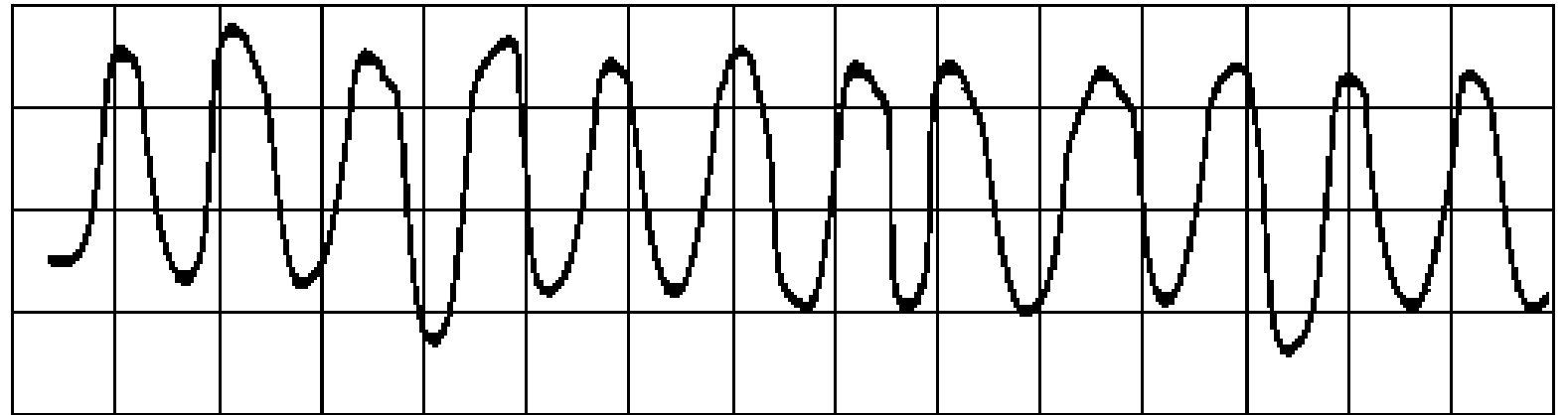
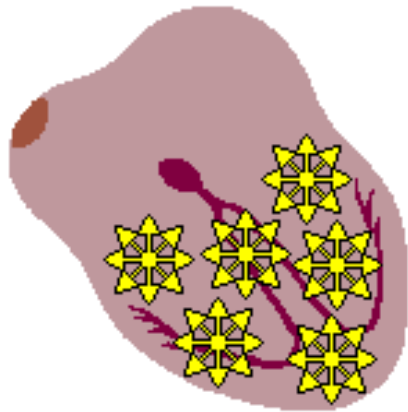


- **Komorová tachykardie**
2. stupeň ektopické aktivity
komorové extrasystoly



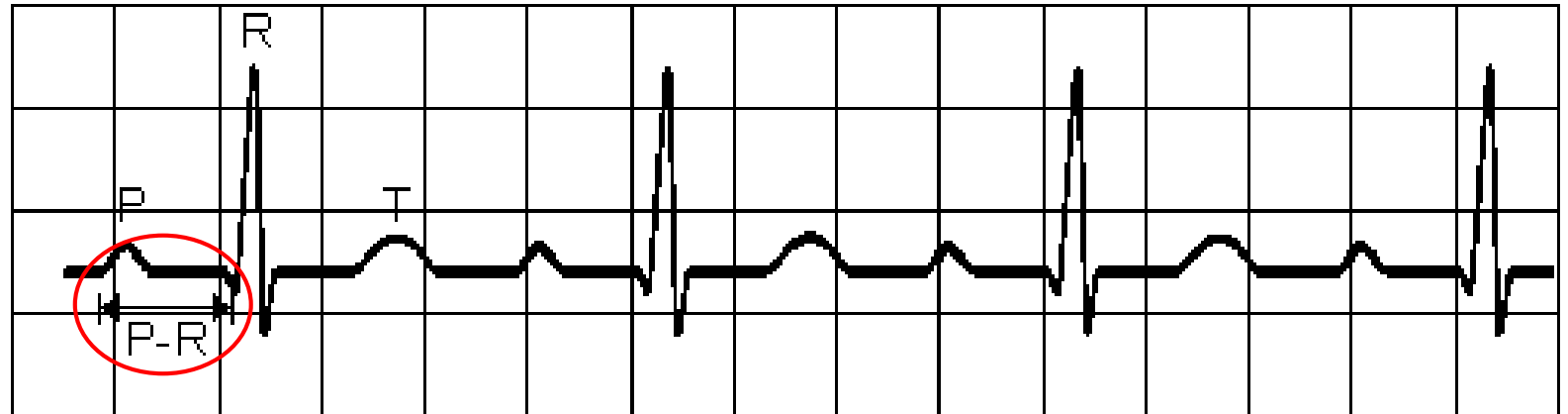
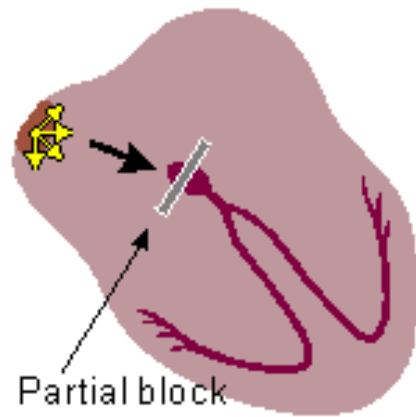
Základní EKG křivky

- **Fibrilace komor**
3. stupeň ektopické aktivity
chaotická depolarizace



Základní EKG křivky

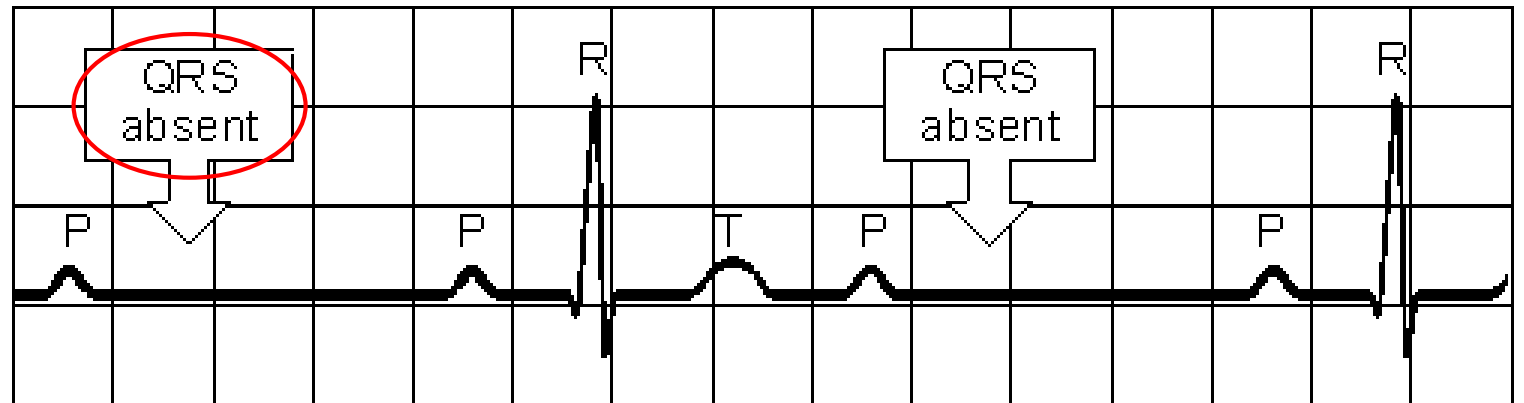
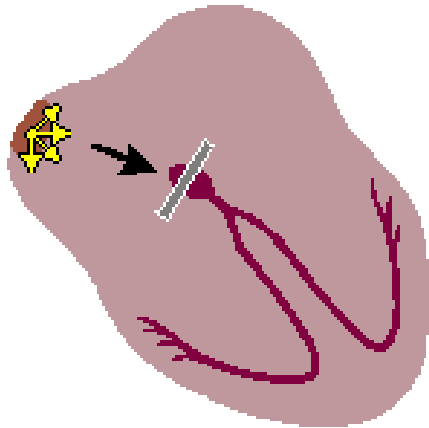
- **A-V blokáda, 1. stupeň**
prodloužený interval P-Q nad 200 ms



Základní EKG křivky

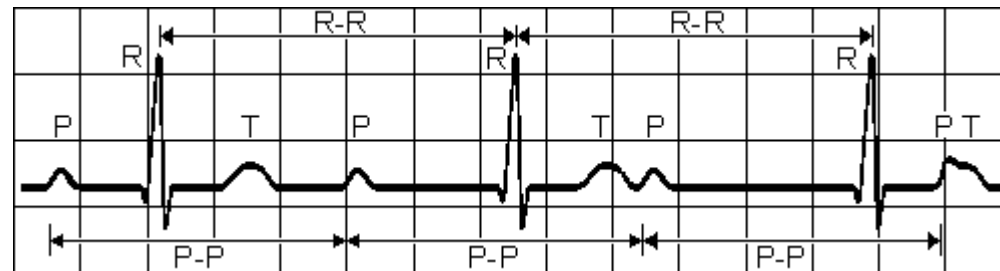
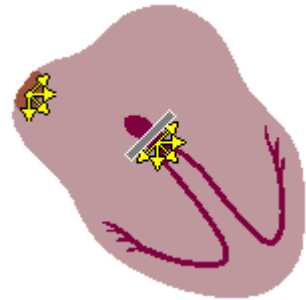
- **A-V blokáda, 2. stupeň**

P-Q interval se protáhne tak, až vypadne jeden QRS



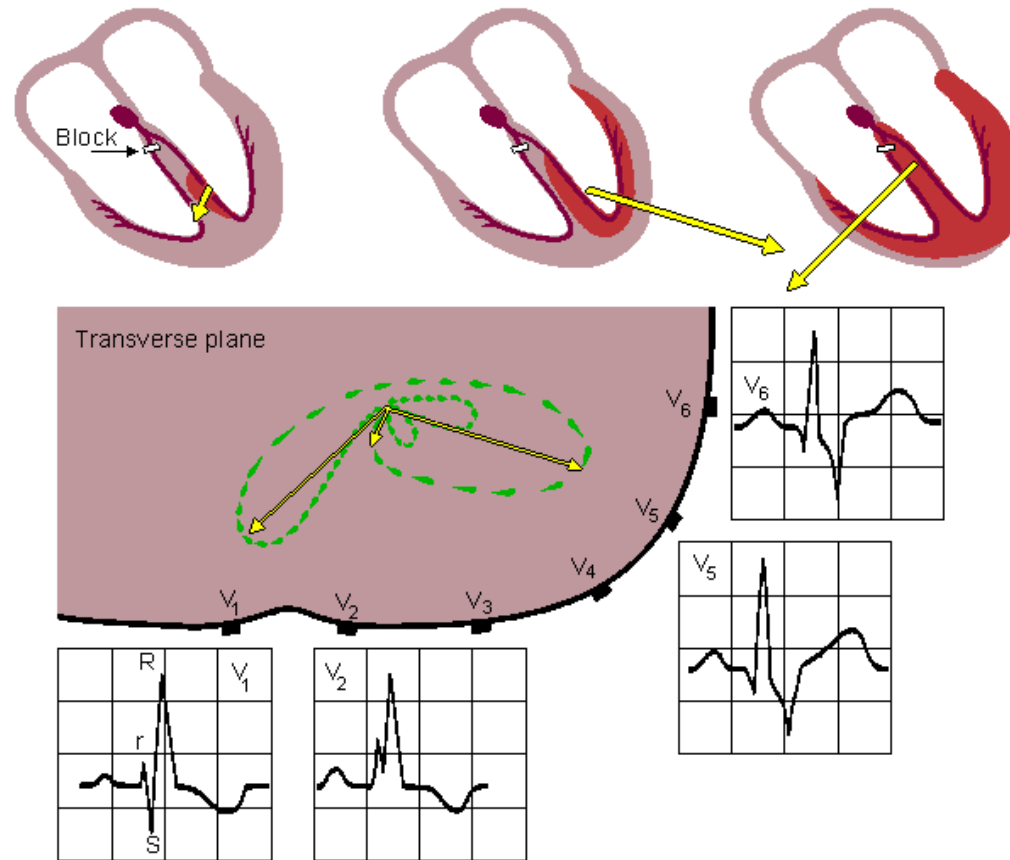
Základní EKG křivky

- **A-V blokáda, 3. stupeň**
Úplná AV blokáda



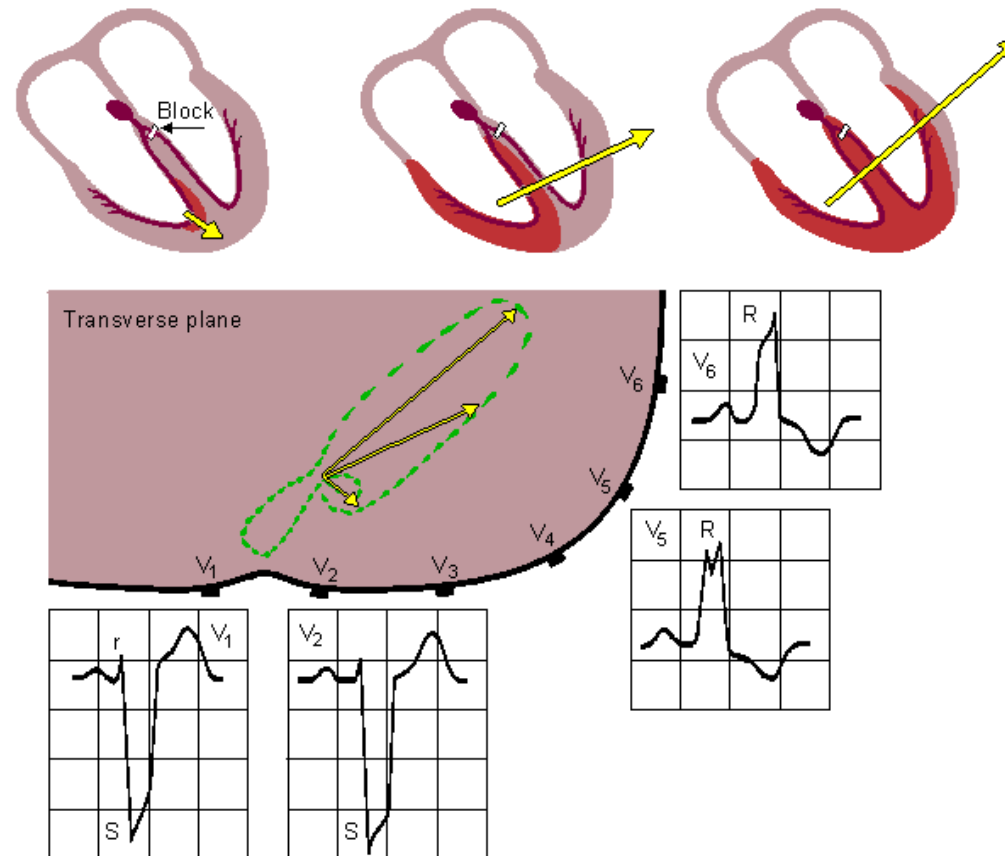
Základní EKG křivky

- **Blokáda pravého Tawarova raménka**
prodloužení QRS komplexu nad 0,12 s



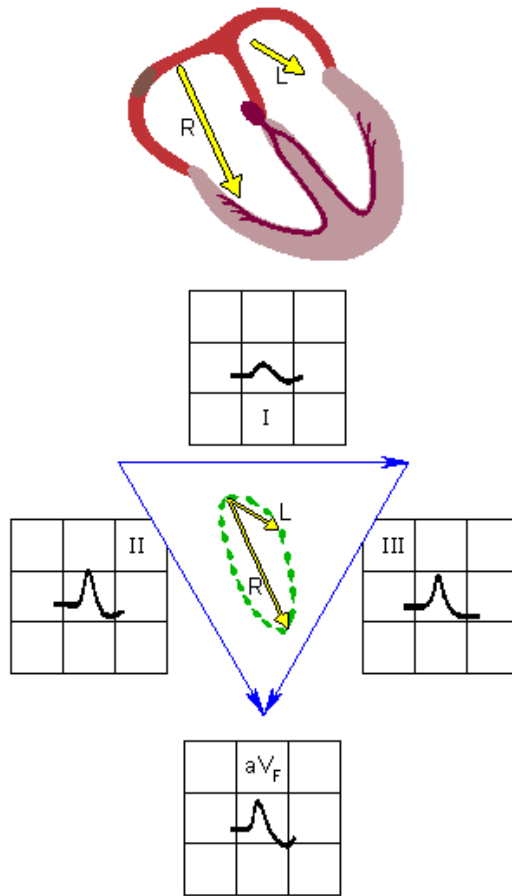
Základní EKG křivky

- **Blokáda levého Tawarova raménka**
prodloužení QRS komplexu nad 0,12 s

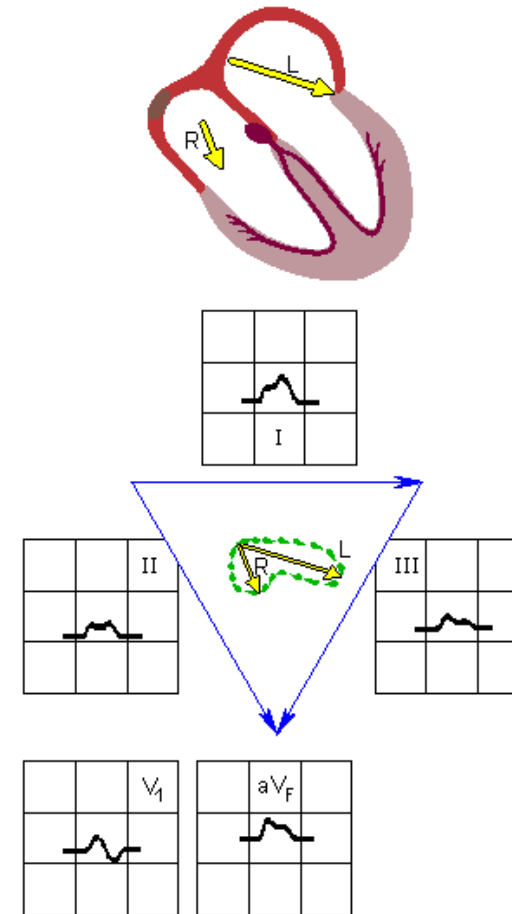


Základní EKG křivky

- **Síňová hypertrofie vpravo**
změny ve vlně p

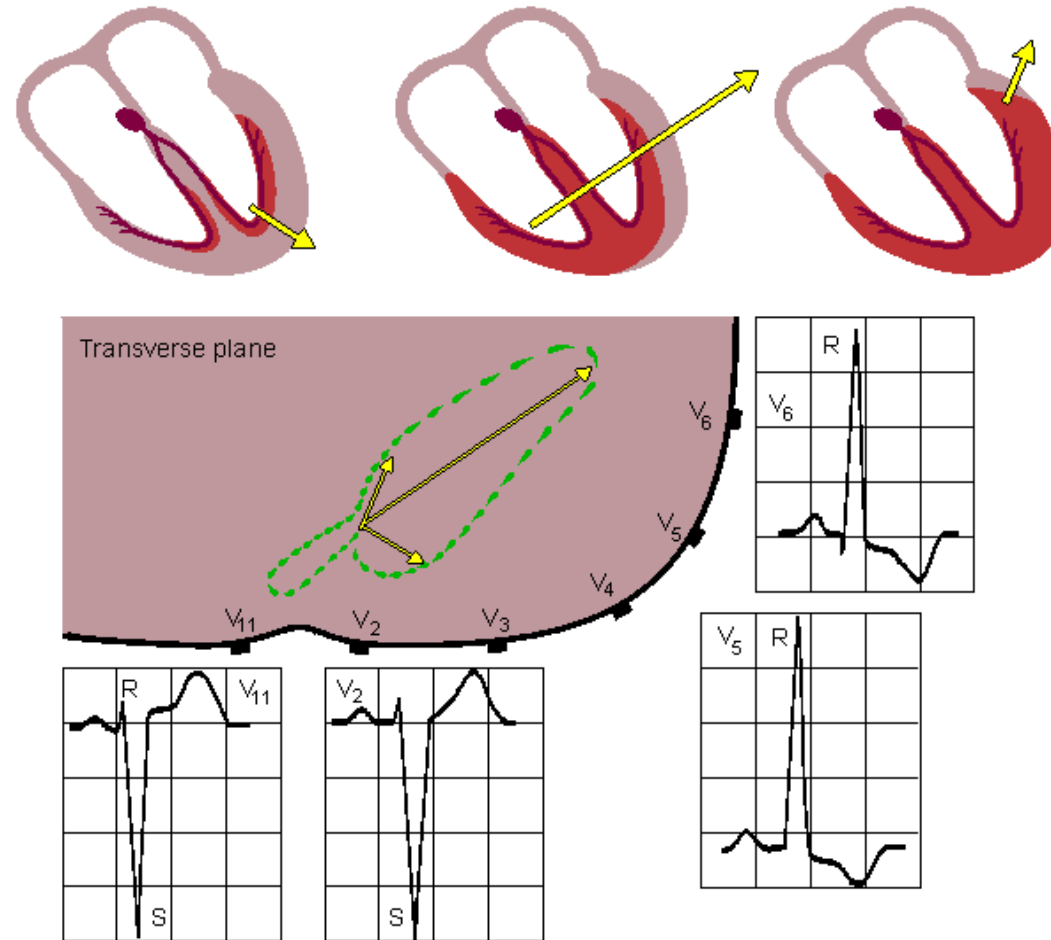


- **Síňová hypertrofie vlevo**
změny ve vlně p



Základní EKG křivky

- **Hypertrofie pravé komory**
zvětšení R a S hrotů ve V1 a V2

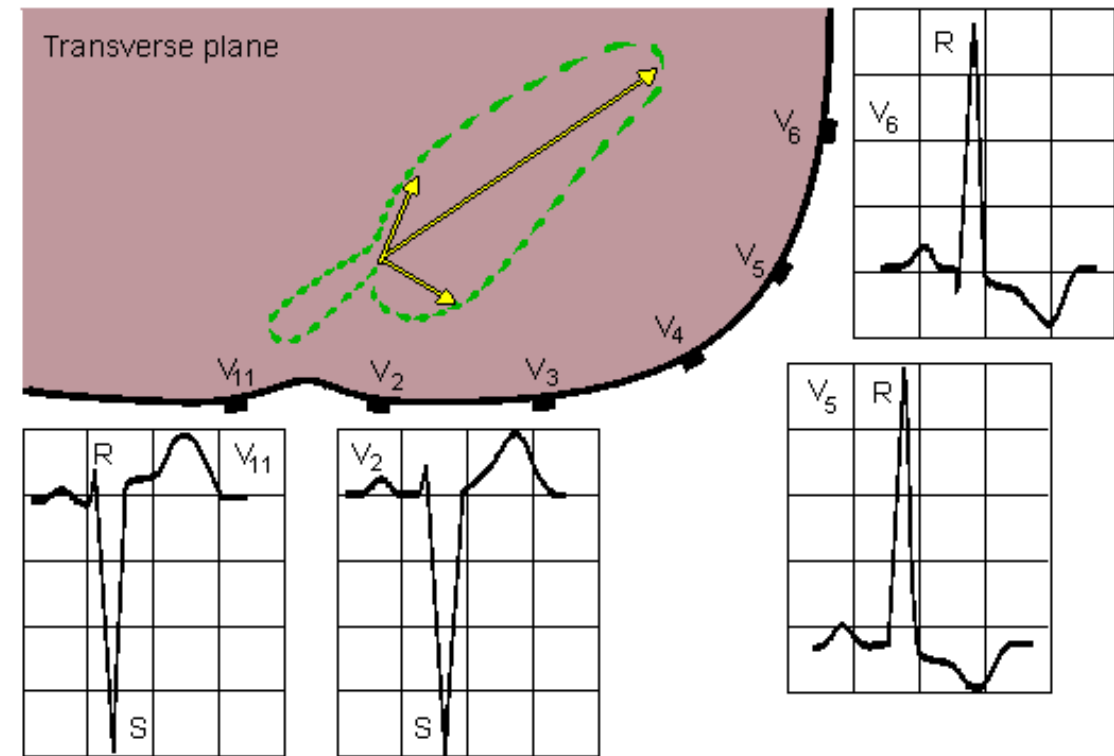
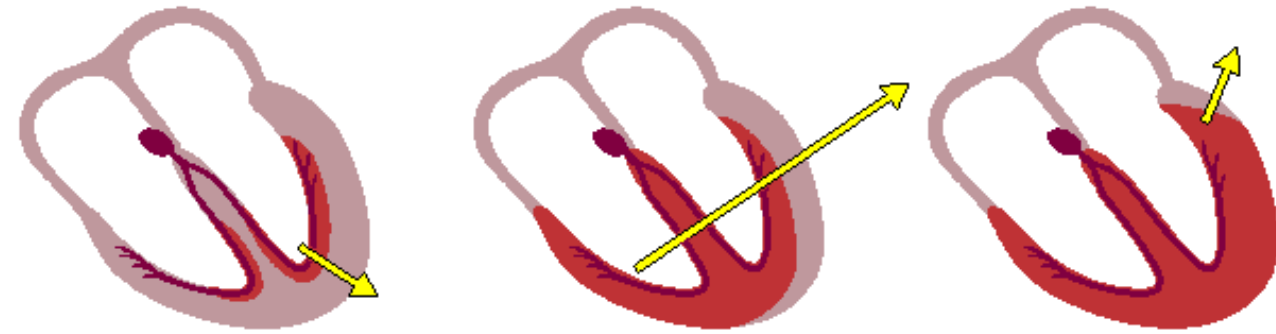


Základní EKG křivky

- Hypertrofie levé komory**

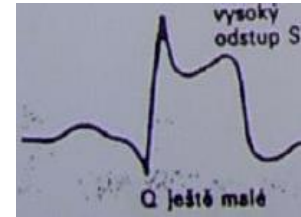
Velký S hrot ve svodech V_1 a V_2

Velký R hrot ve svodech V_5 a V_6

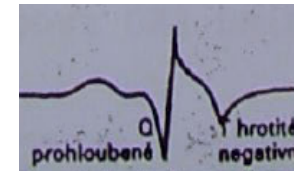


- **Infarkt myokardu**

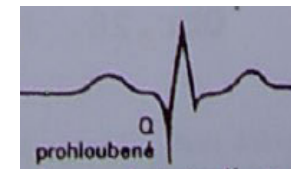
1. Akutní stadium
(po hodinách)



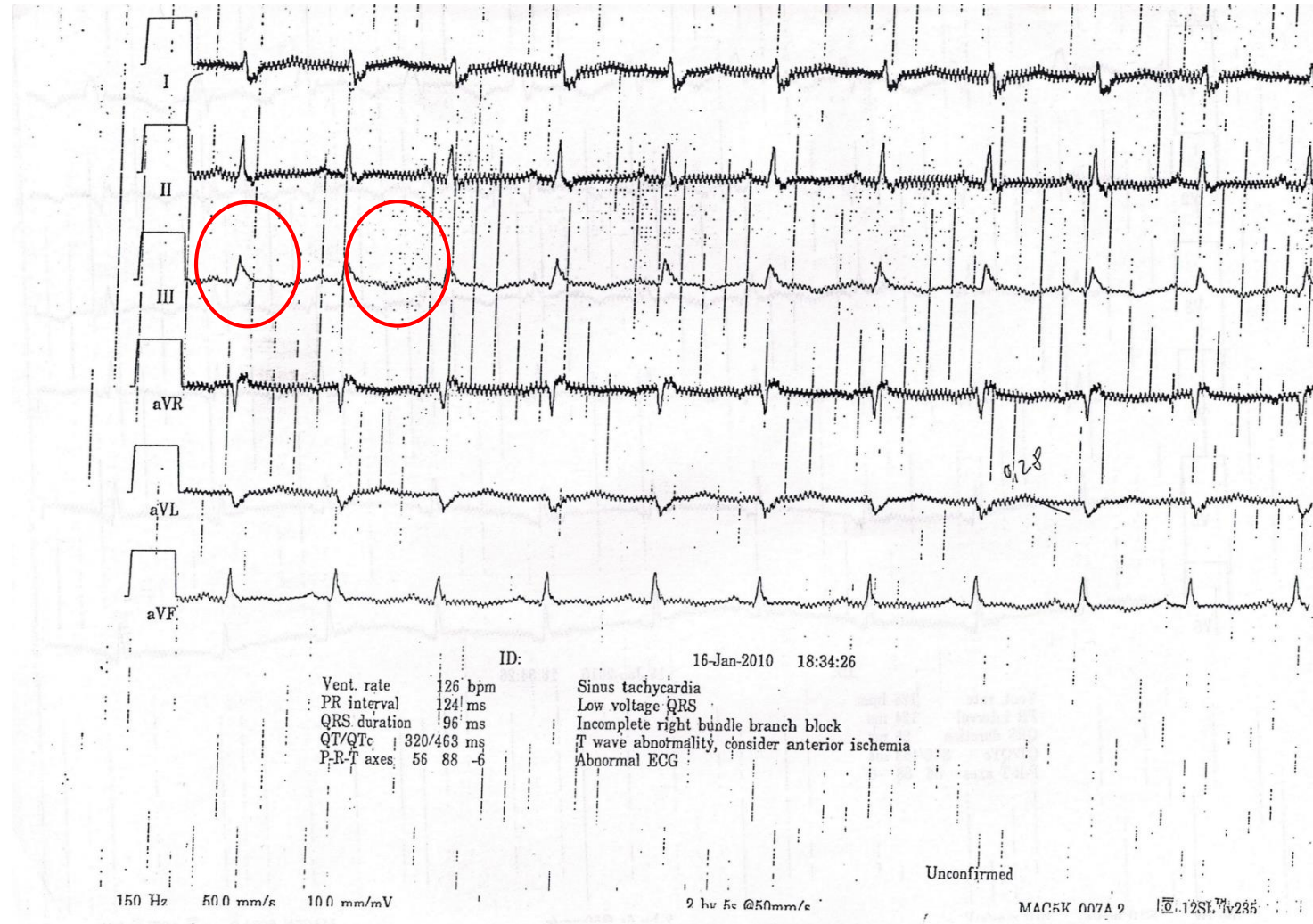
2. Následné stadium
(po dnech až týdnech)



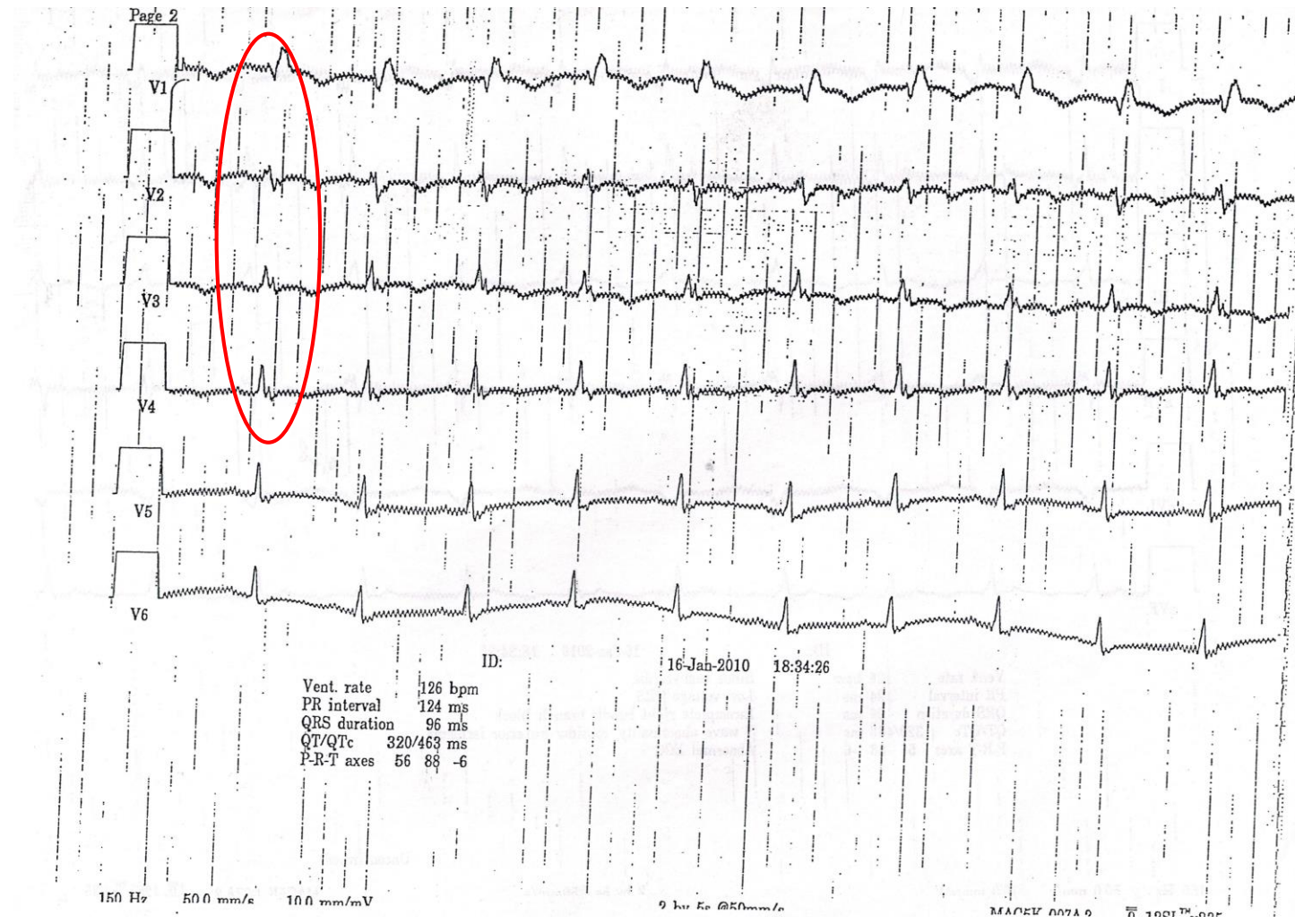
3. Pozdní stadium
(po měsících až letech)



Základní EKG křivky



Základní EKG křivky



Základní EKG křivky

- <https://www.skillstat.com/tools/ecg-simulator>

The 6 Second ECG



HEART RATE

Attempts: # Correct: % Correct: Time / ECG: 01:00 ▶ PLAY

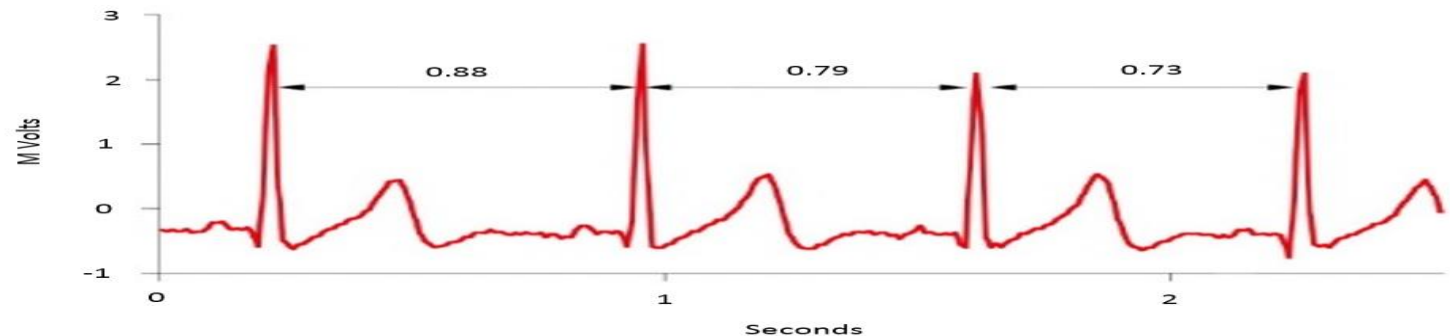
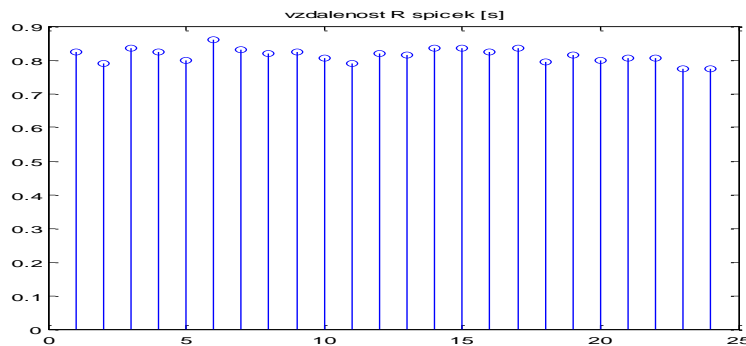
| | | | | |
|-------------------|---------------------|-----------------|---------------------|-------------------|
| Sinus Rhythm | NSR with PAC | NSR with 1° AVB | NSR with PJC | NSR with PVC |
| Sinus Bradycardia | SVT | 2° AVB Type I | Junctional Rhythm | Idioventricular |
| Sinus Tachycardia | Atrial Fibrillation | 2° AVB Type II | Accel Junctional | Accelerated IVR |
| Sinus Arrhythmia | Atrial Flutter | 2° AVB 2:1 | Junctional Tachy | VTach |
| Sinus Exit Block | Paced Atrial | 3° AV Block | Wandering Pacemaker | VFib |
| Sinus Arrest | | | | Paced Ventricular |


SKILLSTAT
LEARN
GAME




HRV a autonomní nervový systém

- **Variabilita srdečního rytmu**
jev, který reprezentuje stav *autonomního nervového systému* řídicího srdeční činnosti.
- HRV v závislosti na stavu a zatížení nervového a kardiovaskulárního systému se srdeční rytmus mění v rozsahu 5 ÷ 15 %

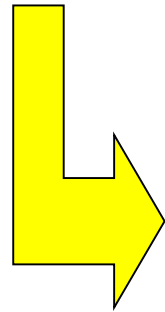


HRV a autonomní nervový systém

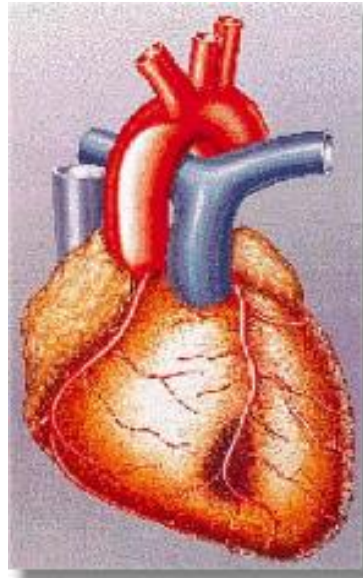
- **Autonomní nervový systém**

- Velmi citlivý zpětnovazebný indikátor změn v organismu
- ANS lze rozdělit do dvou větví

sympatikus

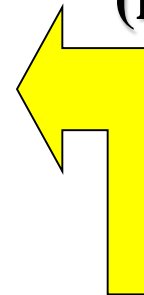


Zrychluje SF



a parasympatikus

(n. vagus)



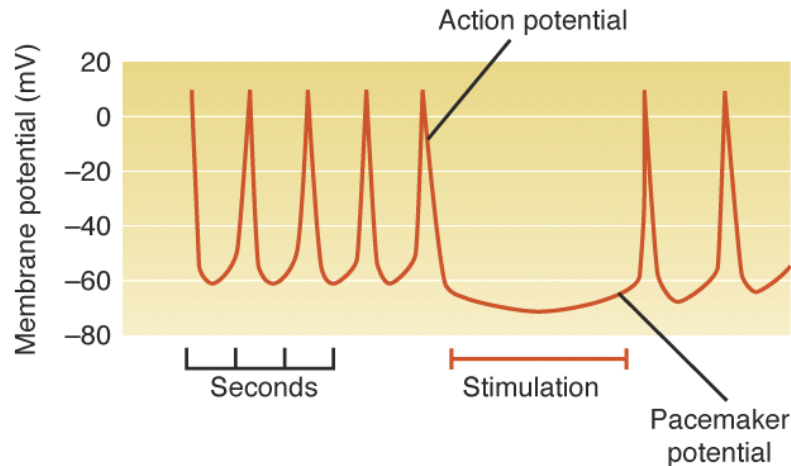
Zpomaluje SF



- Autonomní nervový systém

parasympatikus

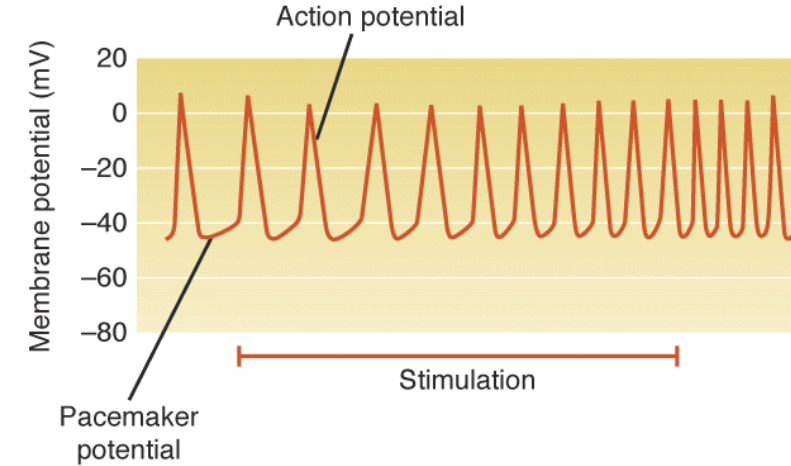
(a) Parasympathetic stimulation via vagus nerve



Parasympatický nervový systém (PNS),
inhibuje srdeční akční potenciál

sympatikus

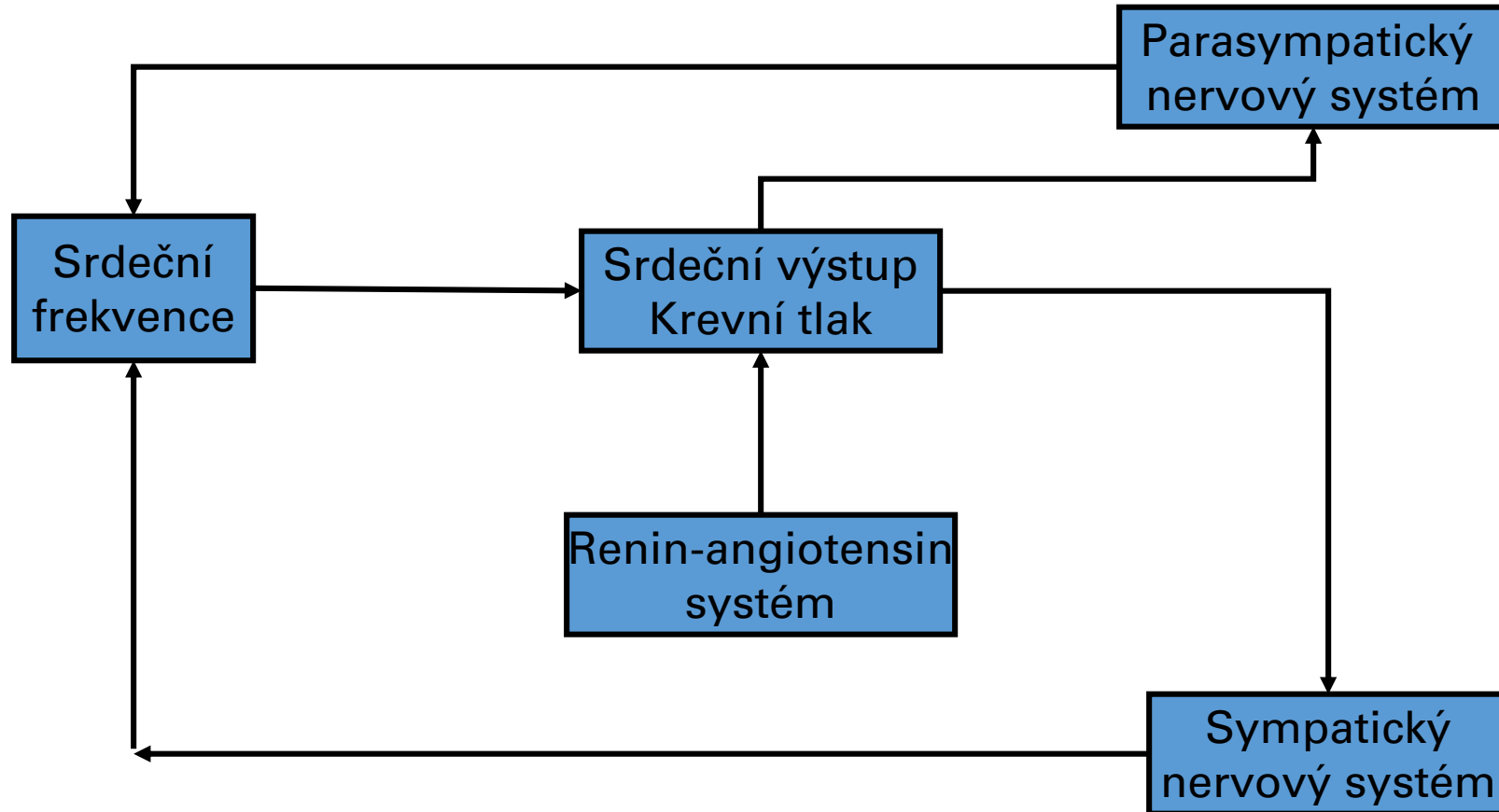
(b) Sympathetic stimulation



Sympatický nervový systém (SNS),
stimuluje srdeční akční potenciál

HRV a autonomní nervový systém

- Zjednodušený model kardiovaskulárního řízení



https://cs.wikipedia.org/wiki/Autonomní_nervová_soustava

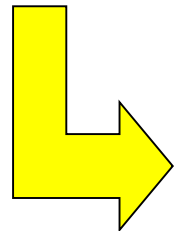
HRV a autonomní nervový systém

• Autonomní nervový systém

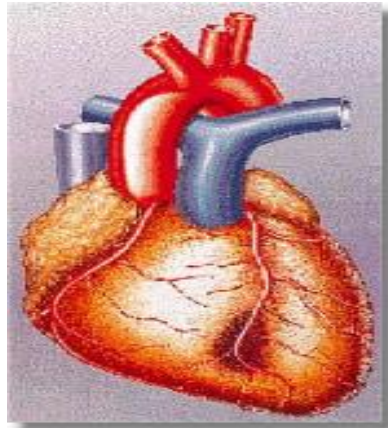


ANS lze rozdělit do dvou větví

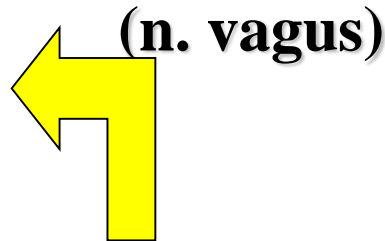
sympatikus



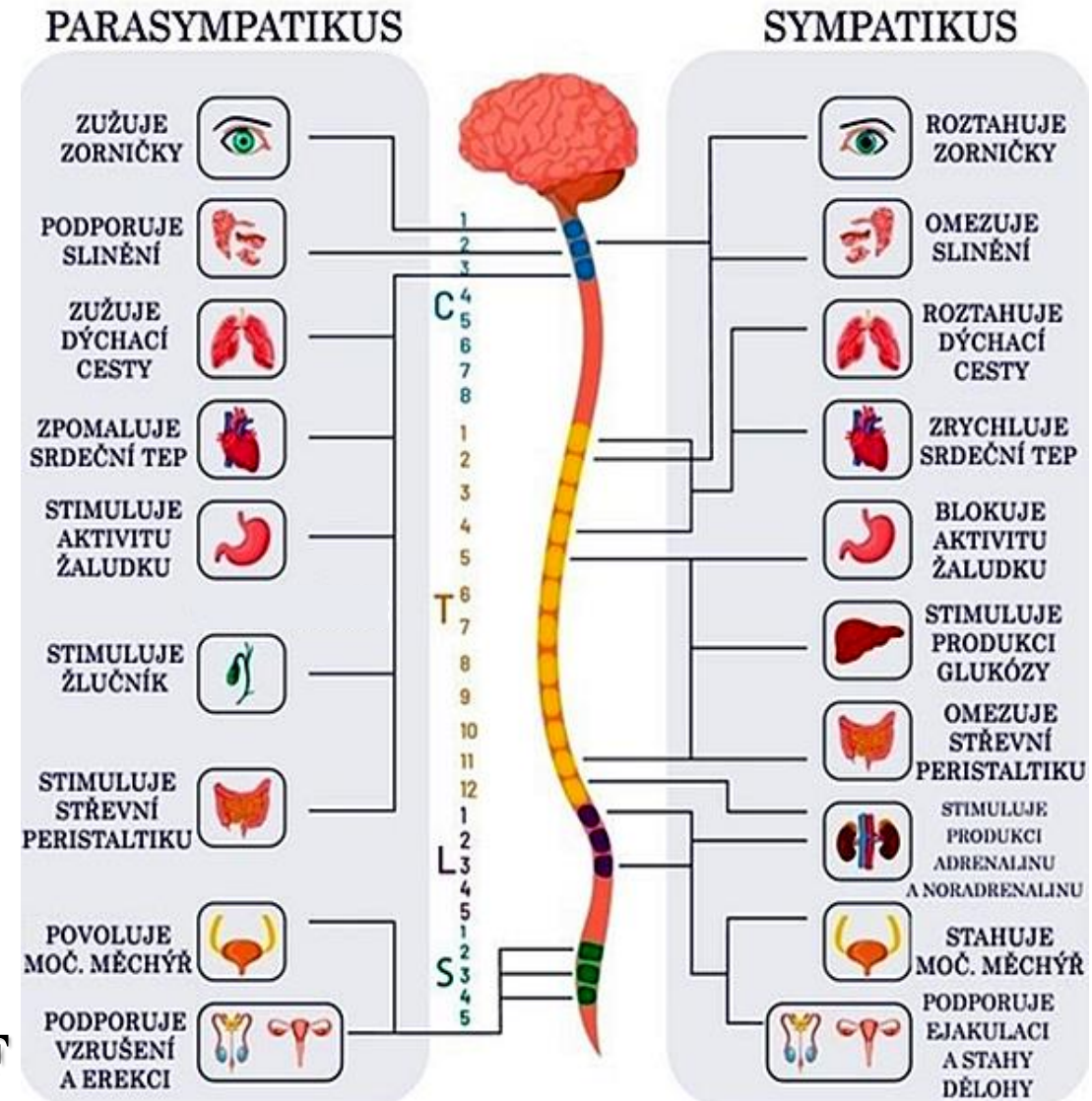
Zrychluje SF



parasympatikus



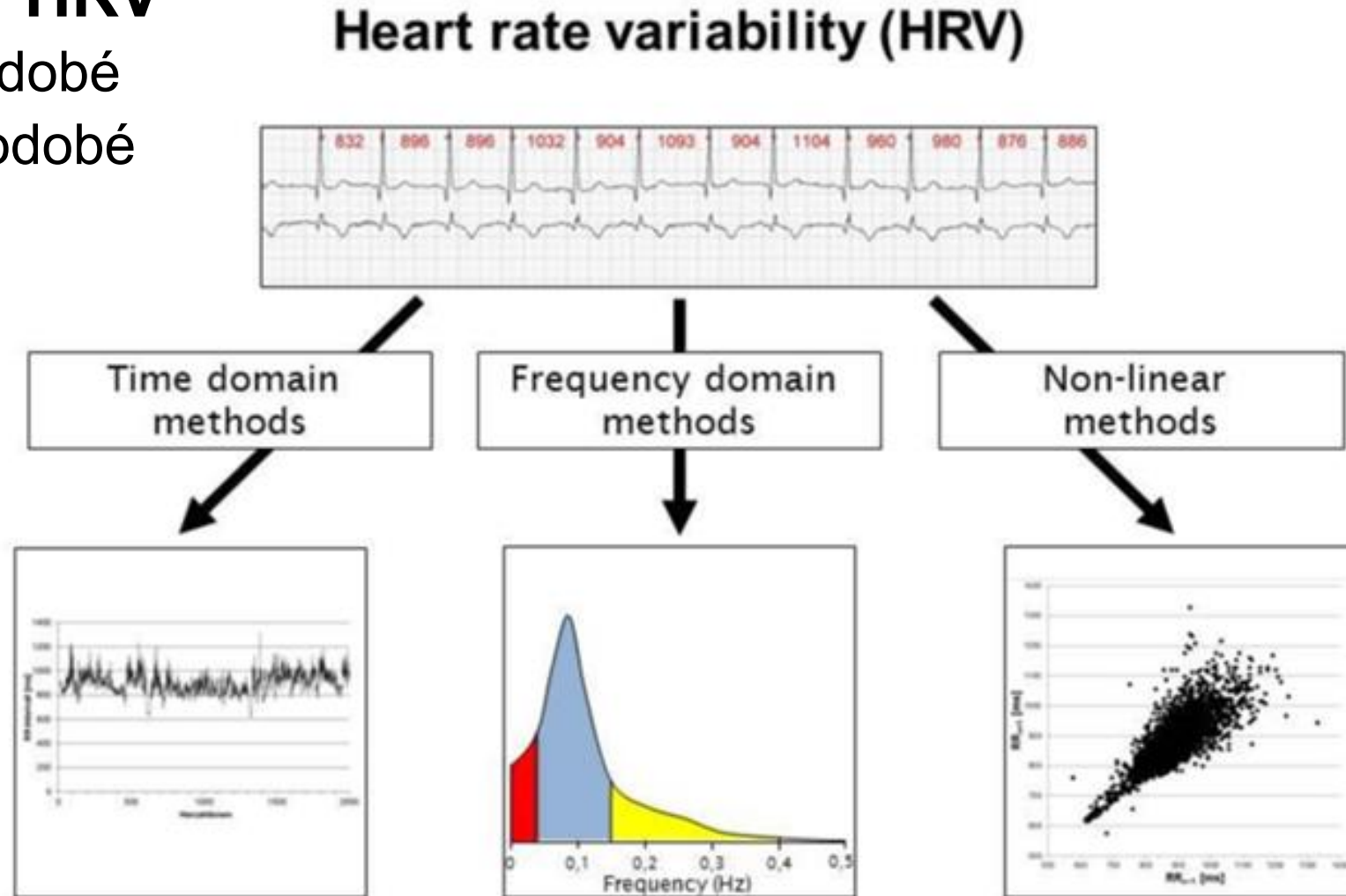
Zpomaluje SF



Metody analýzy HRV

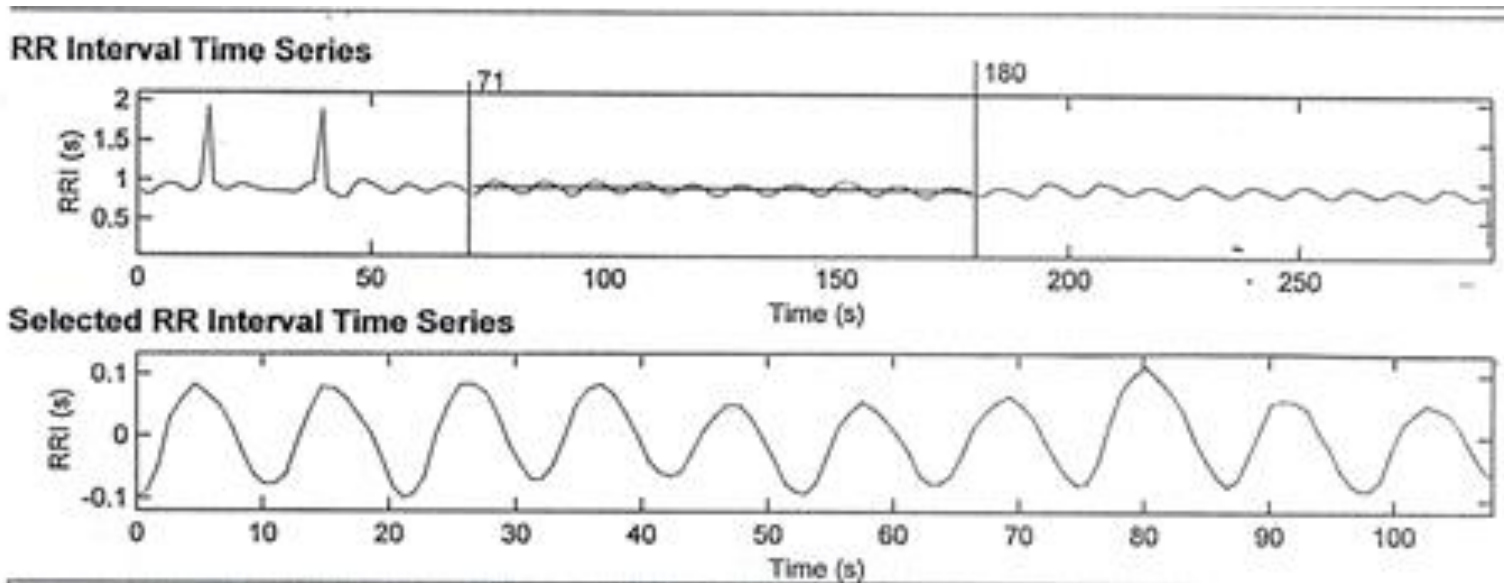
- **Analýzy HRV**

- krátkodobé
- dlouhodobé



Metody analýzy HRV – časová oblast

- Analýzy HRV v časové oblasti



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.

Metody analýzy HRV – časová oblast

- Analýzy 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; % [ms]`

`RMSSD = rms(diffNN);`

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

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

`SDSDSDSD = std(diffNN);`

- **Analýzy HRV v časové oblasti**

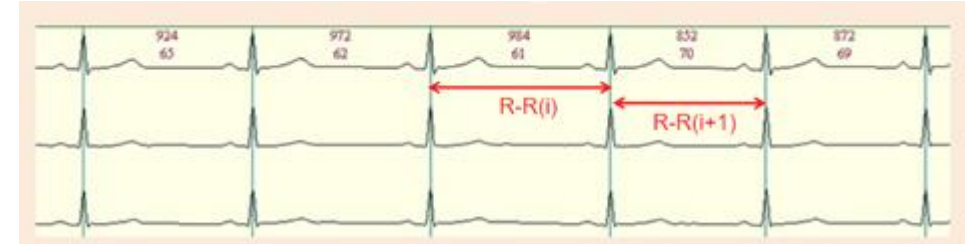
- **NN50** počet rozdílů po sobě jdoucích intervalů, které se liší více než 50 ms
 $\text{length}(\text{find}(\text{abs}(\text{diffNn}) > 50))$;
- **pNN50** podíl NN50 dělený celkovým počtem intervalů
 $\text{pNN50} = \text{NN50} / \text{length}(\text{intervals})$;
- **NN20** počet rozdílů intervalů,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

Metody analýzy HRV – časová oblast

• Analýzy HRV v časové oblasti

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

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

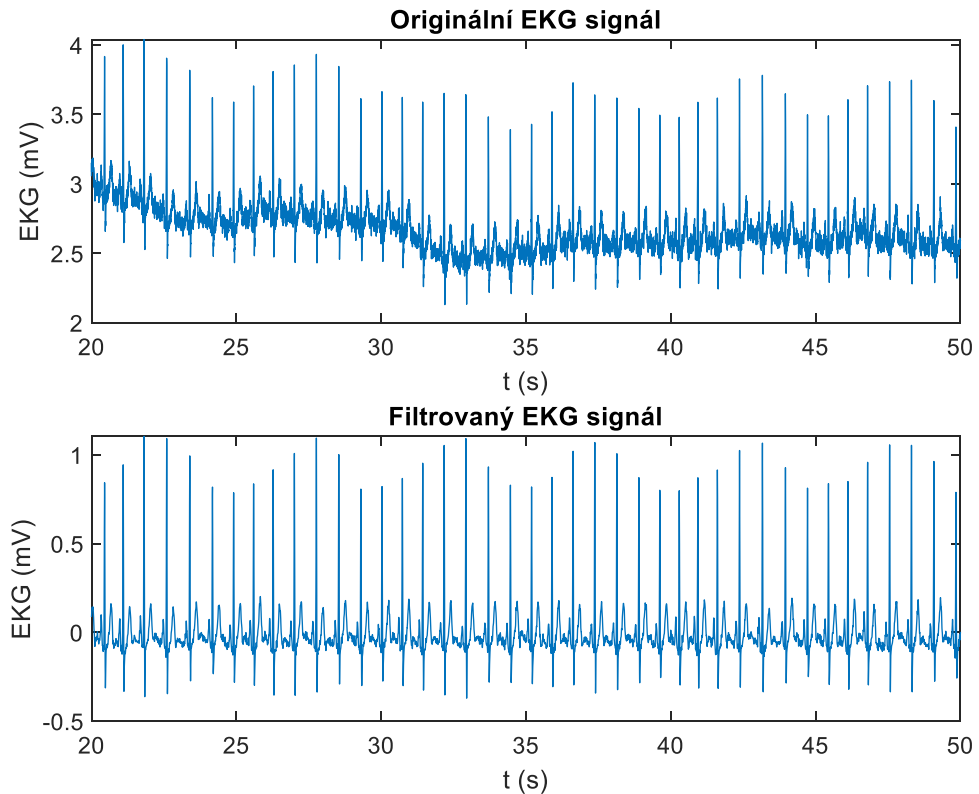


`SDNN = std(intervals) * 1000;`

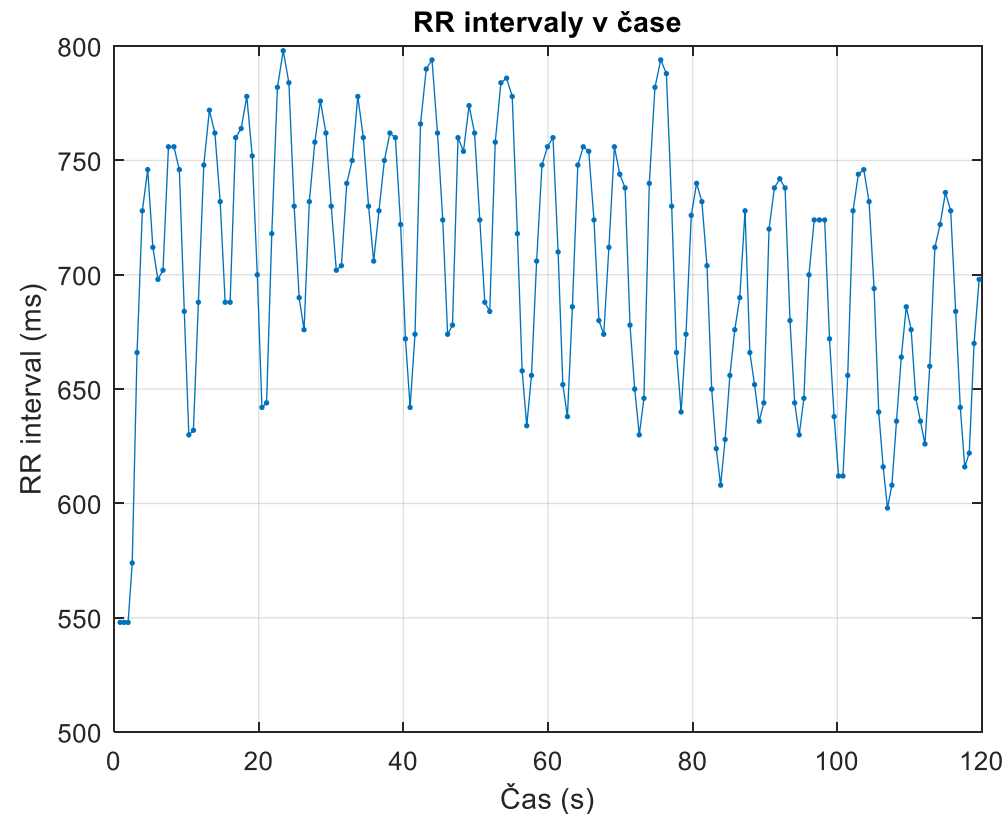
- **SDANN** směrodatná odchylka průměrných intervalů (obvykle za 5 minut)

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

- **Načtení a filtrace EKG signálu**
 - Načtení signálu ze souboru
 - Filtrace pásmovým filtrem 0.5–40 Hz (Butterworth)



- **Detekce R-špiček a výpočet RR**
 - Detekce R-špiček pomocí externí funkce
 - Výpočet RR intervalů



Metody analýzy HRV – časová oblast

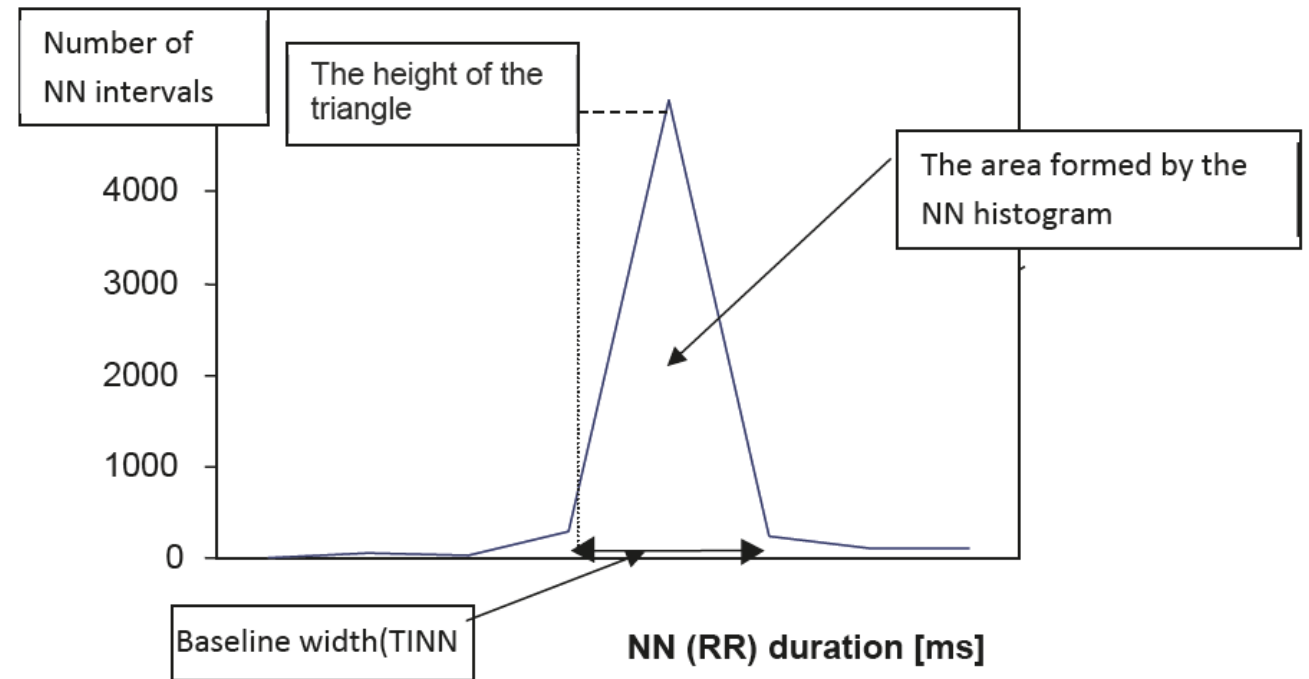
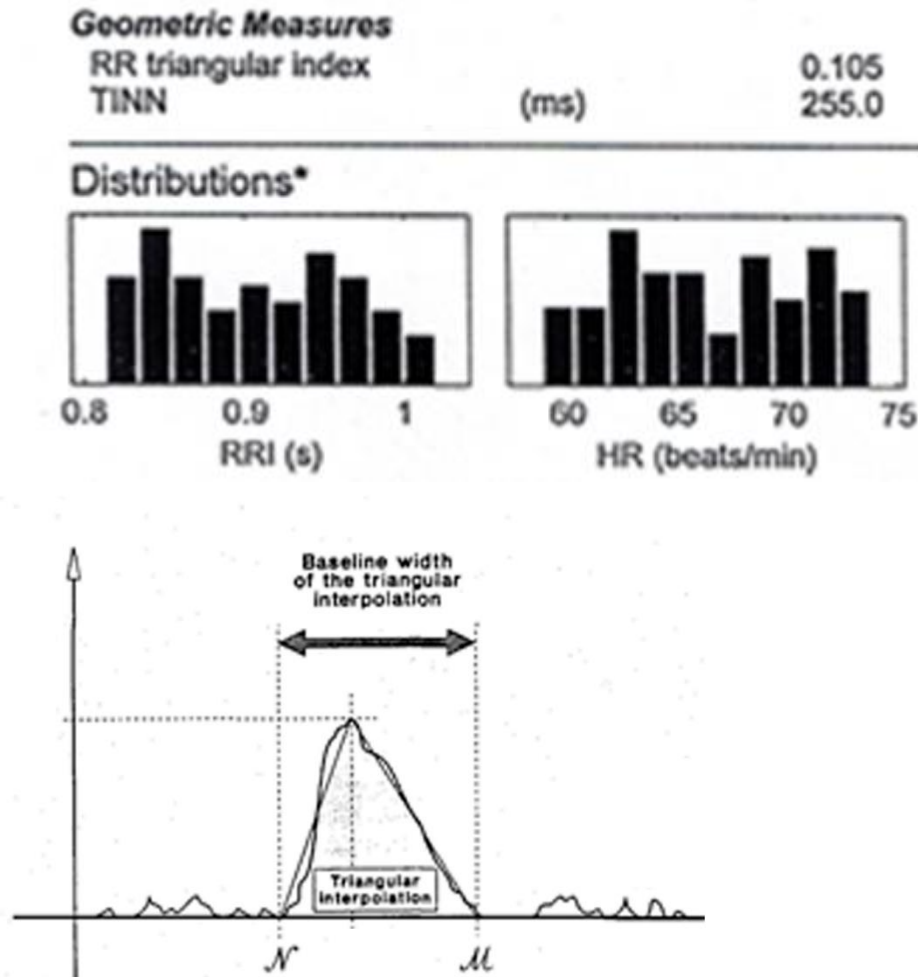
• Časové metriky HRV

- Základní ukazatele: meanRR, stdRR, meanHR, stdHR
- Krátkodobé metriky: RMSSD, SDSD, pNN50, pNN20

| HRV parametry | Hodnota |
|---------------|---------|
| Mean RR [ms] | 701.76 |
| Std RR [ms] | 55.444 |
| Mean HR [bpm] | 86.057 |
| Std HR [bpm] | 7.1395 |
| SDNN [ms] | 55.444 |
| RMSSD [ms] | 36.714 |
| SDSD [ms] | 36.812 |
| NN50 | 38 |
| pNN50 | 0.22485 |
| NN20 | 100 |
| pNN20 | 0.59172 |

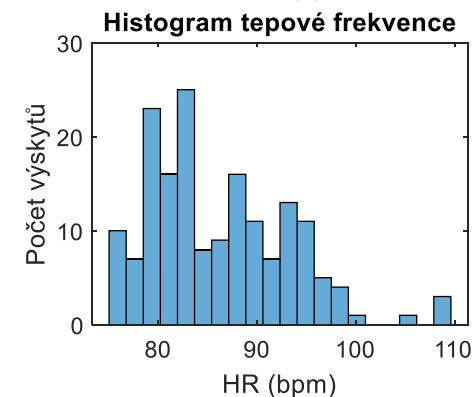
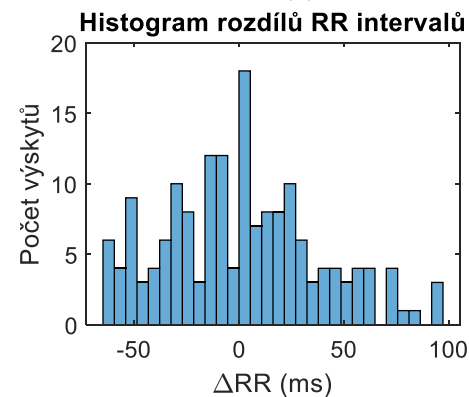
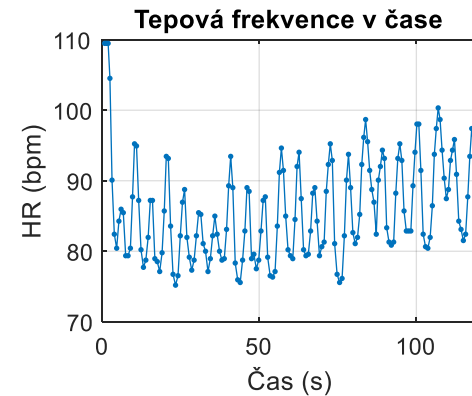
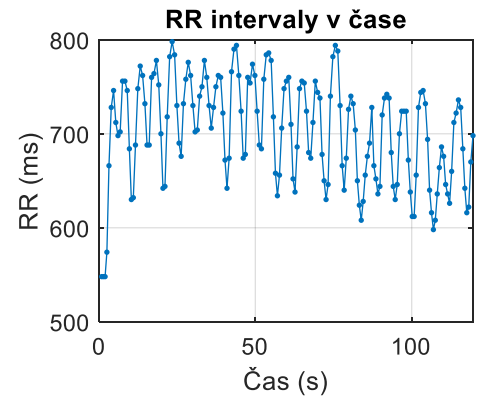
Metody analýzy HRV – časová oblast

• Geometrické míry HRV



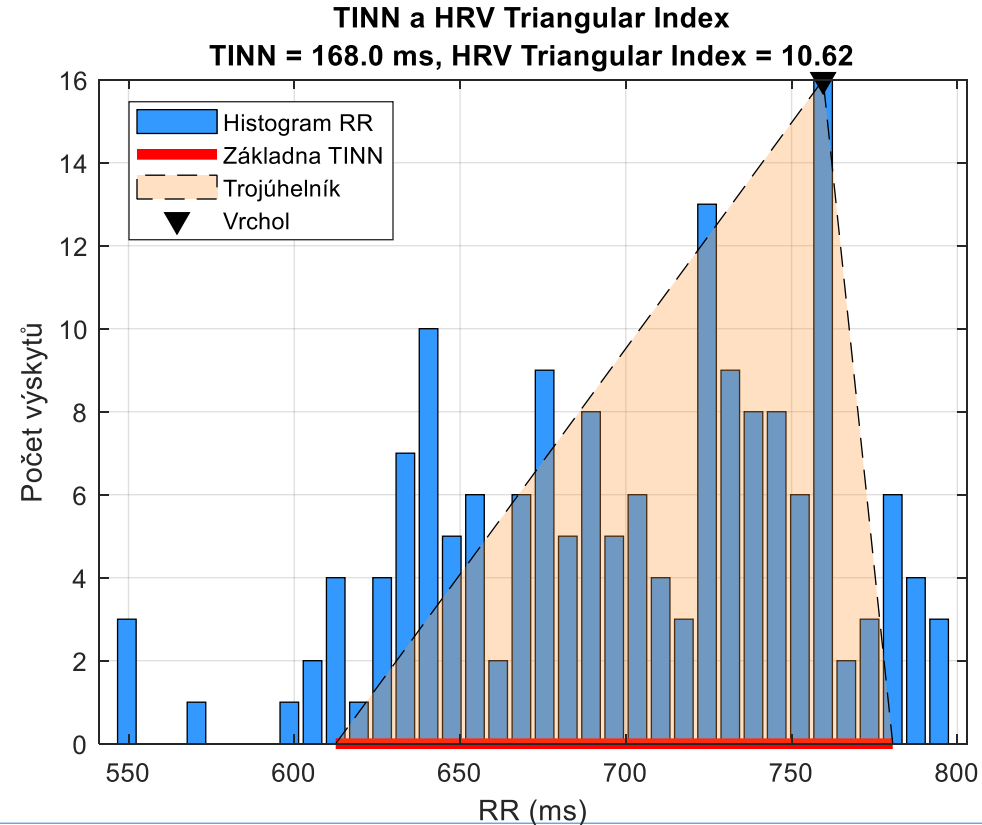
• Histogramy a HR průběh

- Grafy RR a HR v čase
- Histogram rozdílů RR (diffNN)
- Histogram rozložení tepové frekvence (HR)



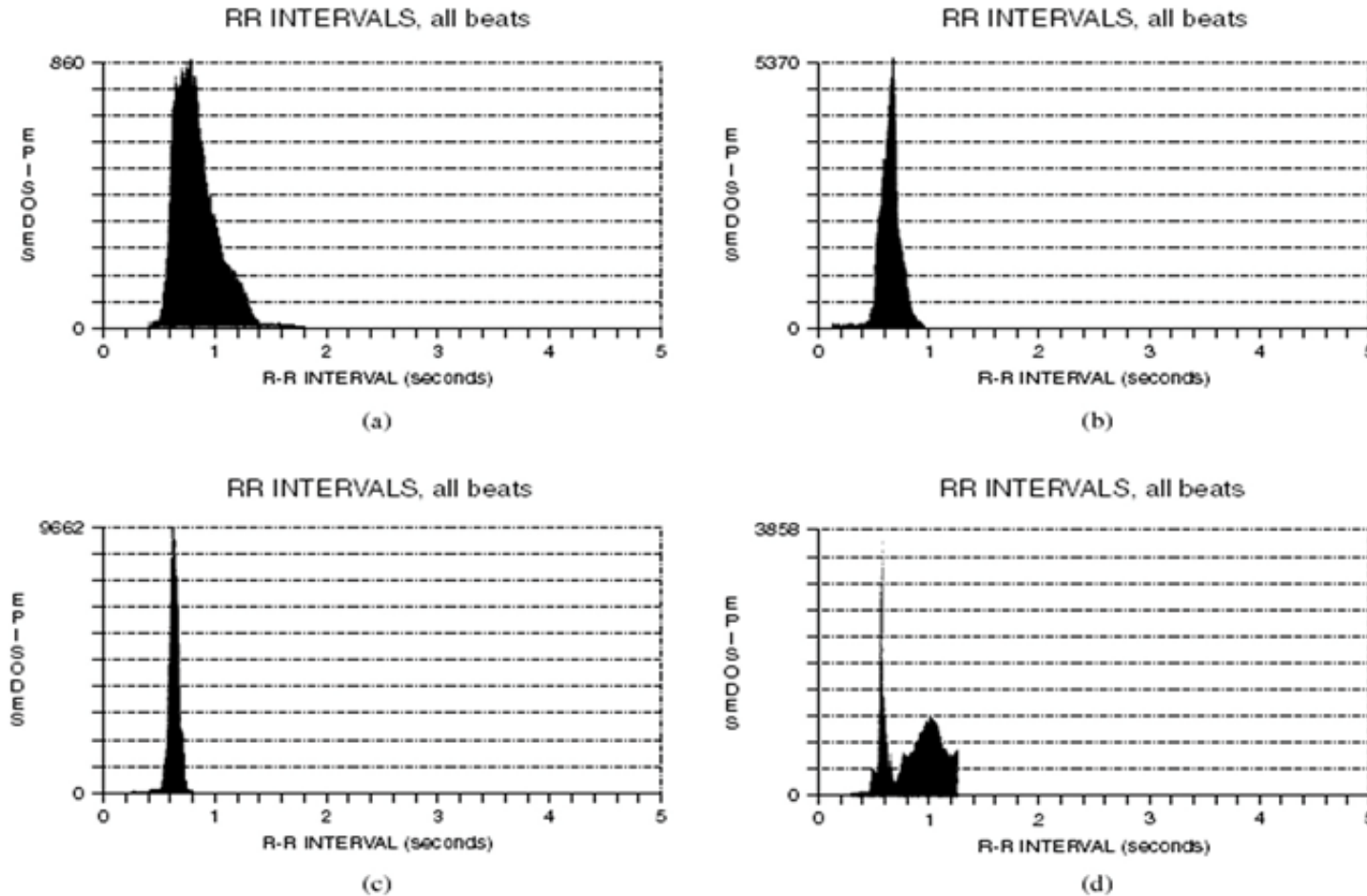
• TINN a HRV Triangular Index

- Histogram RR s pevným binem (např. 7 ms)
- Výpočet základny (TINN) a výšky trojúhelníku
- Výpočet HRV triangular indexu



Metody analýzy HRV – časová oblast

- Analýzy HRV v časové oblasti – geometrické míry

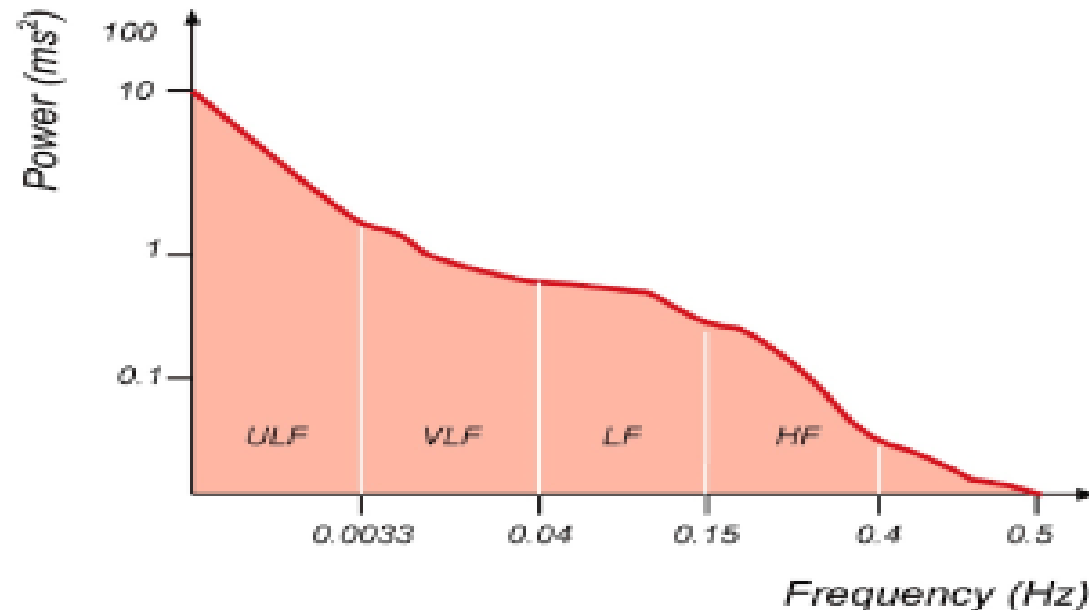


Příklady normálního a abnormálního geometrického HRV

Metody analýzy HRV – frekvenční oblast

• Analýzy 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



Metody analýzy HRV – frekvenční oblast

• Analýzy 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

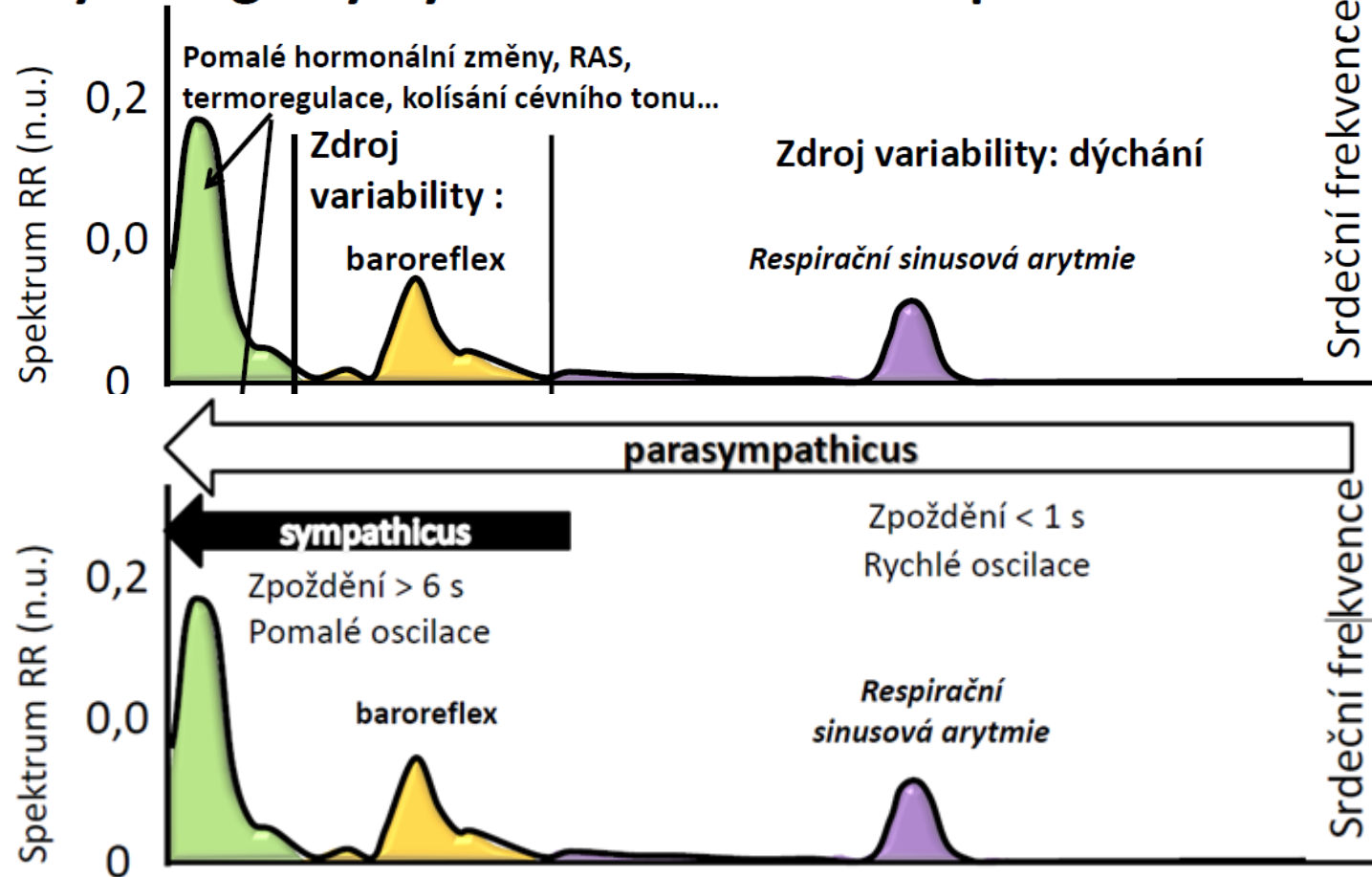
Vztah časové a frekvenční domény HRV

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

Metody analýzy HRV – frekvenční oblast

• Analýzy HRV ve spektrální oblasti

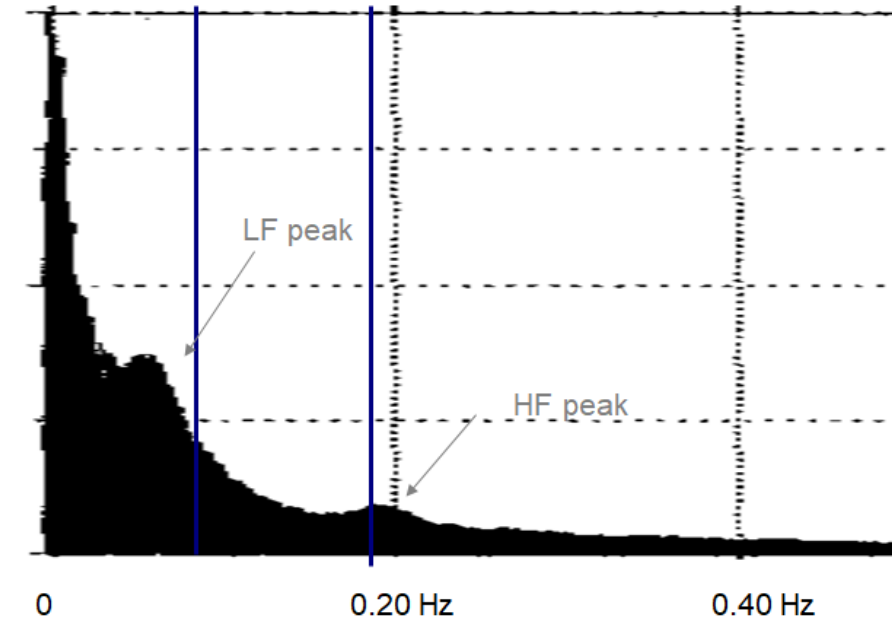
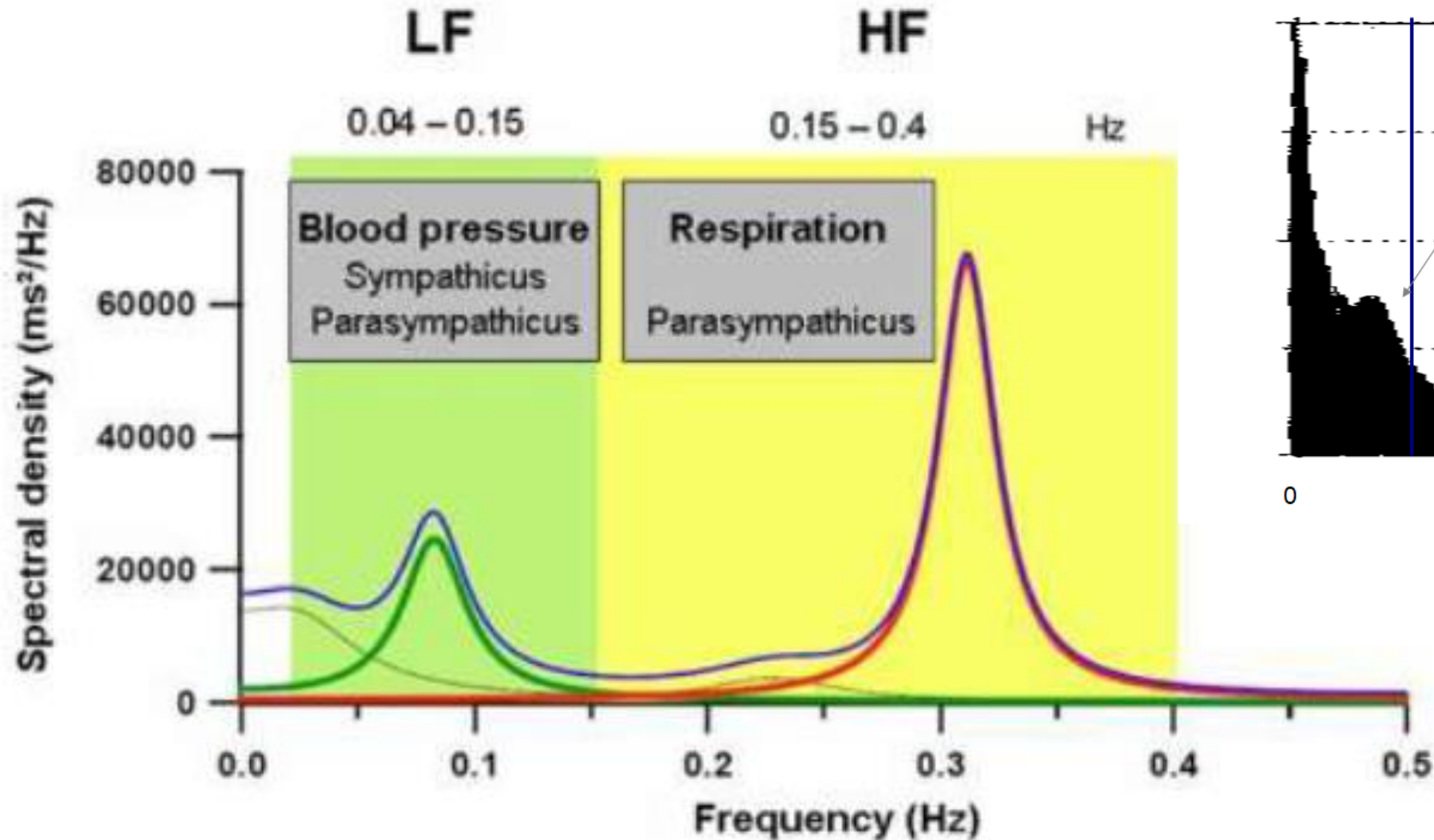
Fyziologický význam – frekvenční pásma



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

Metody analýzy HRV – frekvenční oblast

- Analýzy HRV ve spektrální oblasti

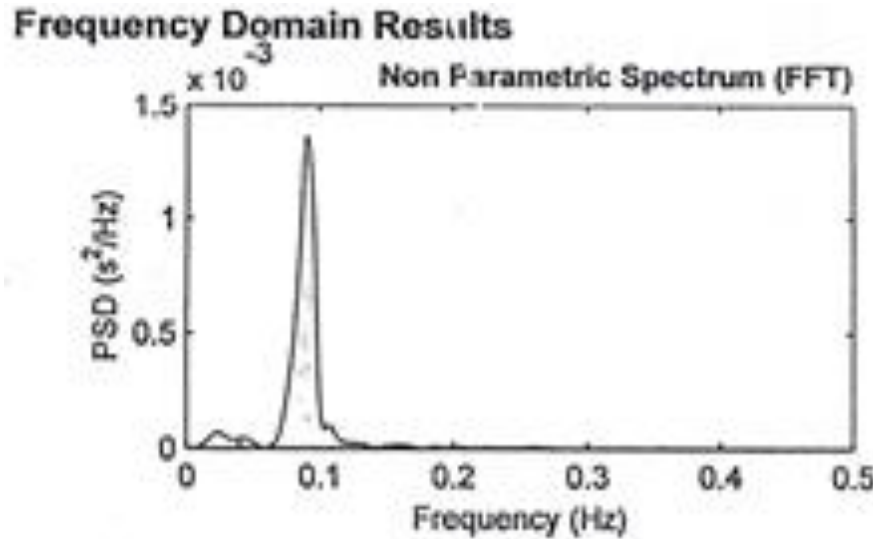


Metody analýzy HRV – frekvenční oblast

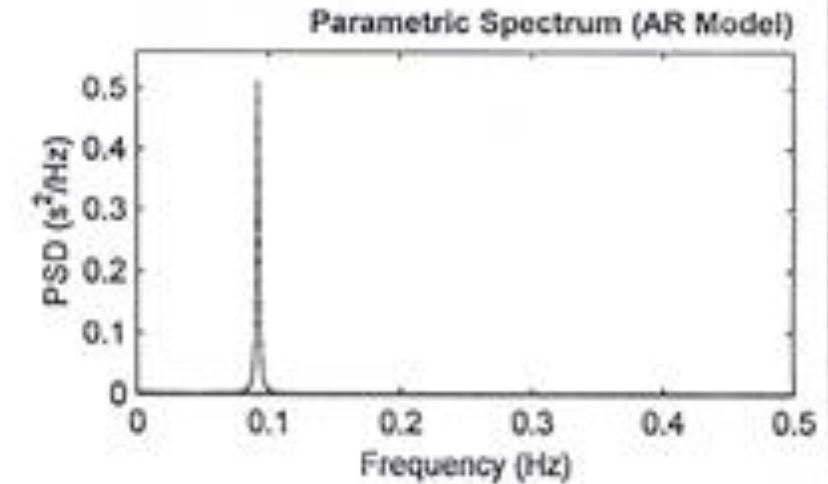
• Analýzy HRV ve spektrální oblasti

- Špičky (maxima)
- Výkony v pásmech

- Normované výkony v pásmech
 - $LF_{norm} = LF / (TP - VLF)$
 - $HF_{norm} = HF / (TP - VLF)$

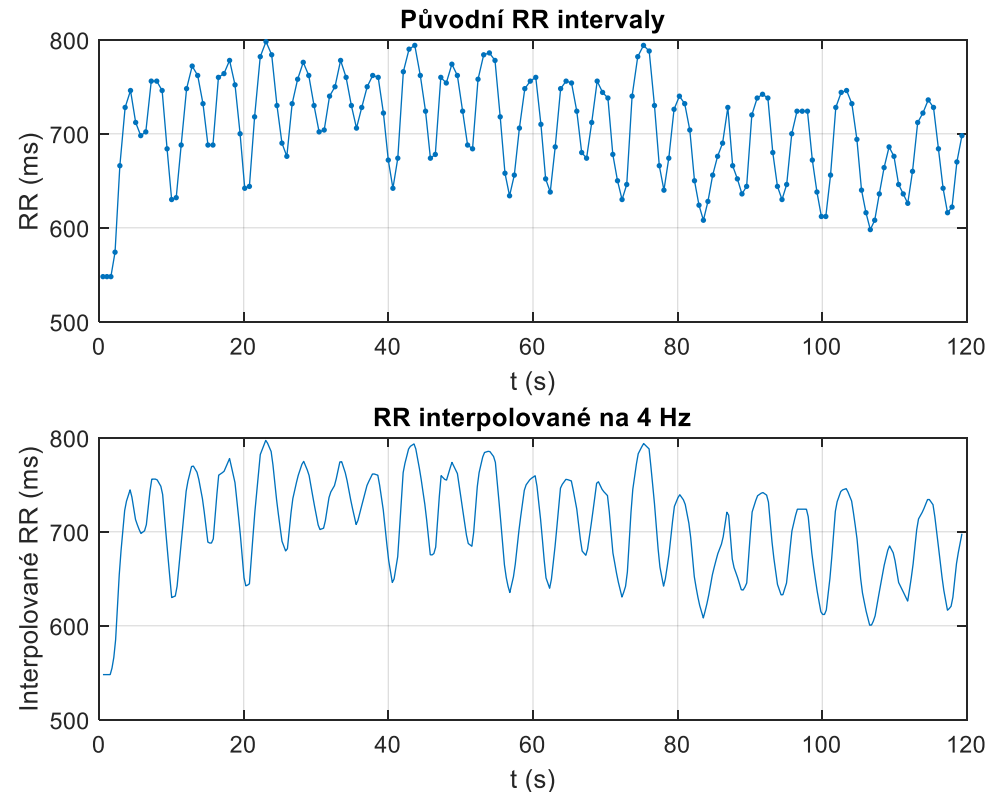


| Frequency Band | Peak (Hz) | Power (ms ²) | Power (%) | Power (n.u.) |
|----------------|-----------|--------------------------|-----------|--------------|
| VLF | 0.0234 | 1 | 5.3 | |
| LF | 0.0898 | 23 | 91.5 | 96.6 |
| HF | 0.1621 | 1 | 3.2 | 3.4 |
| LF/HF | | | 28.326 | |



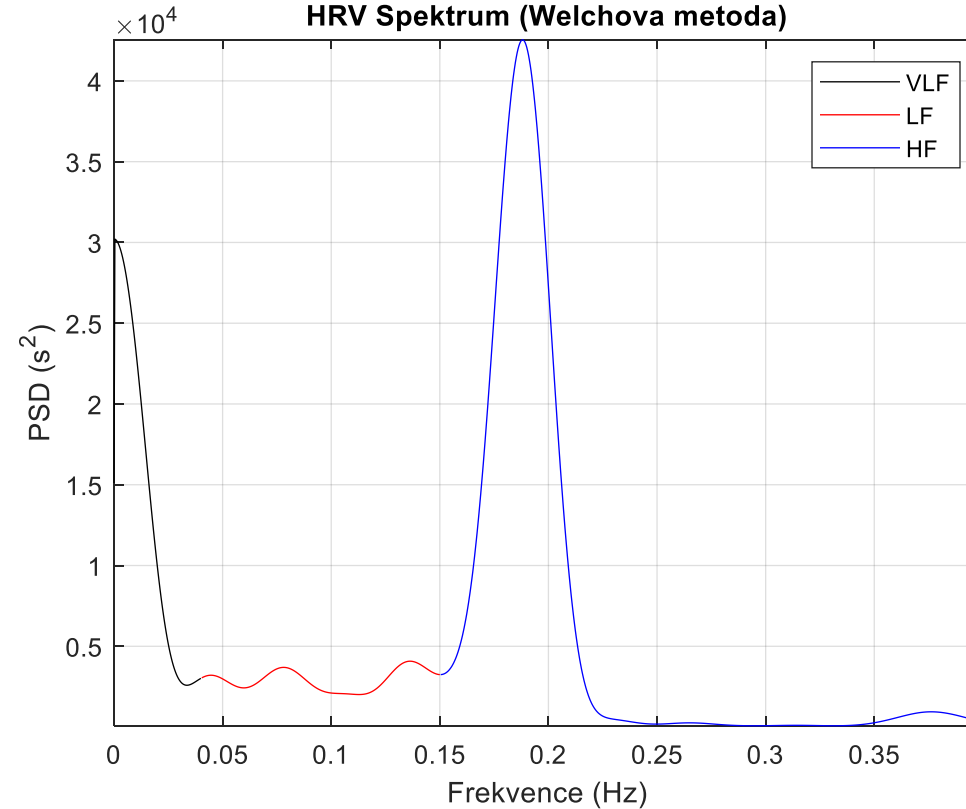
| Frequency Band | Peak (Hz) | Power (ms ²) | Power (%) | Power (n.u.) |
|----------------|-----------|--------------------------|-----------|--------------|
| VLF | 0.0000 | 59 | 3.8 | |
| LF | 0.0918 | 1480 | 95.4 | 99.0 |
| HF | 0.1953 | 13 | 0.8 | 0.9 |
| LF/HF | | | 116.261 | |

- **Interpolace RR na rovnoměrnou osu**
 - RR intervaly jsou nepravidelné – interpolujeme
 - Lineární interpolace na 4 Hz (standard)
 - Příprava pro spektrální analýzu



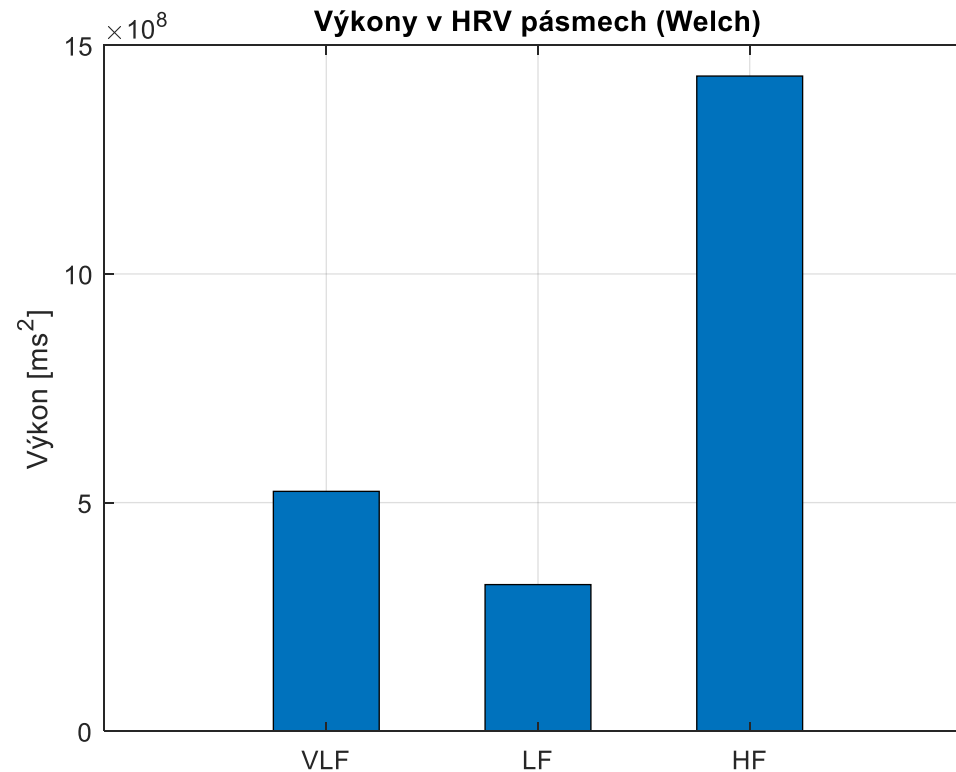
• Welchova spektrální analýza

- Aplikace pwelch na RR signál (po odečtení průměru)
- Získání spektra výkonové hustoty (PSD)
- Oddělení pásem: VLF, LF, HF



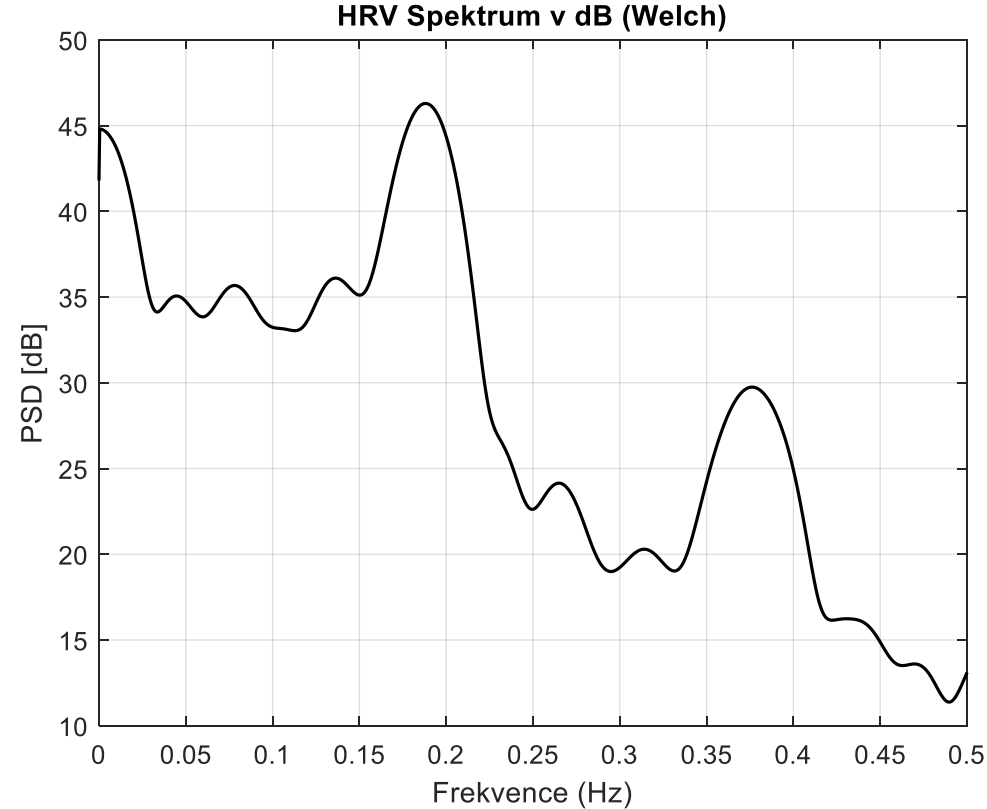
- **Výpočty výkonů a LF/HF poměru**

- Integrace PSD v jednotlivých pásmech
- Výpočet poměru LF/HF
- Vykreslení bar grafu výkonů



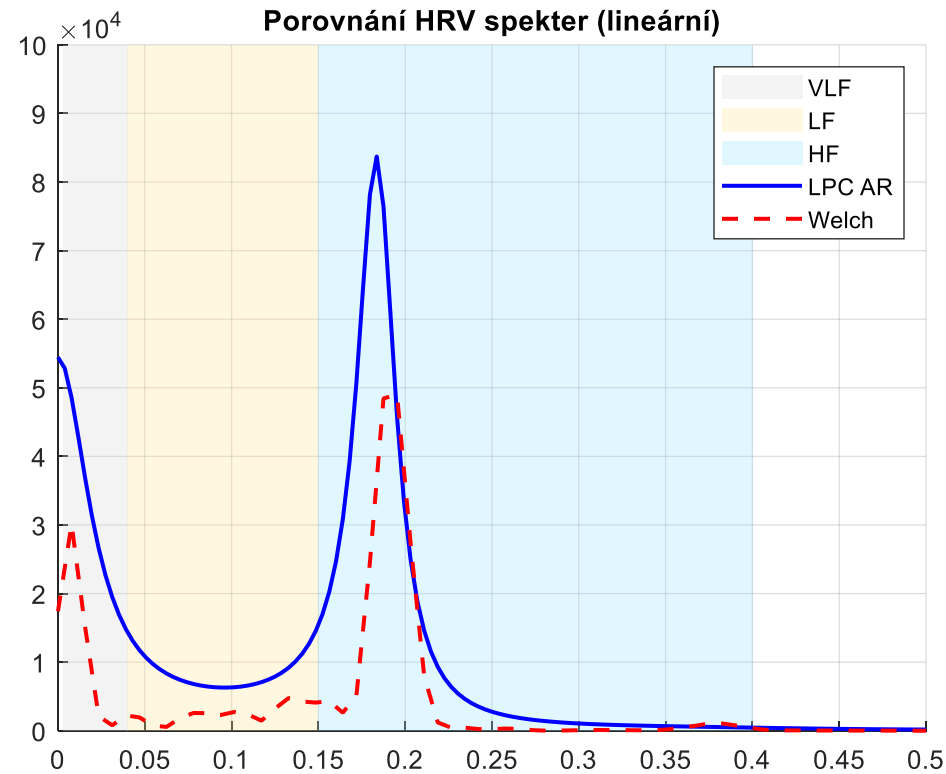
• HRV spektrum v dB

- Logaritmické zobrazení výkonového spektra
- Lepší viditelnost i malých složek
- Vhodné pro interpretaci v dB



• Parametrické spektrum (LPC AR)

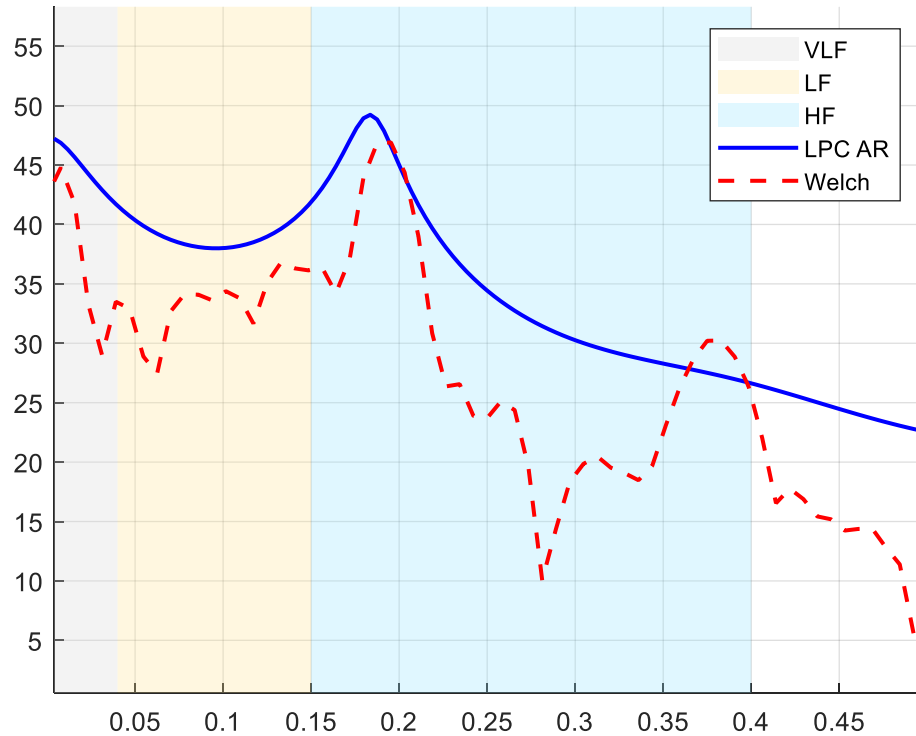
- Využití autoregresního modelu řádu 16
- Výpočet spektra pomocí freqz
- Vhodné pro krátké úseky nebo hladší spektrum



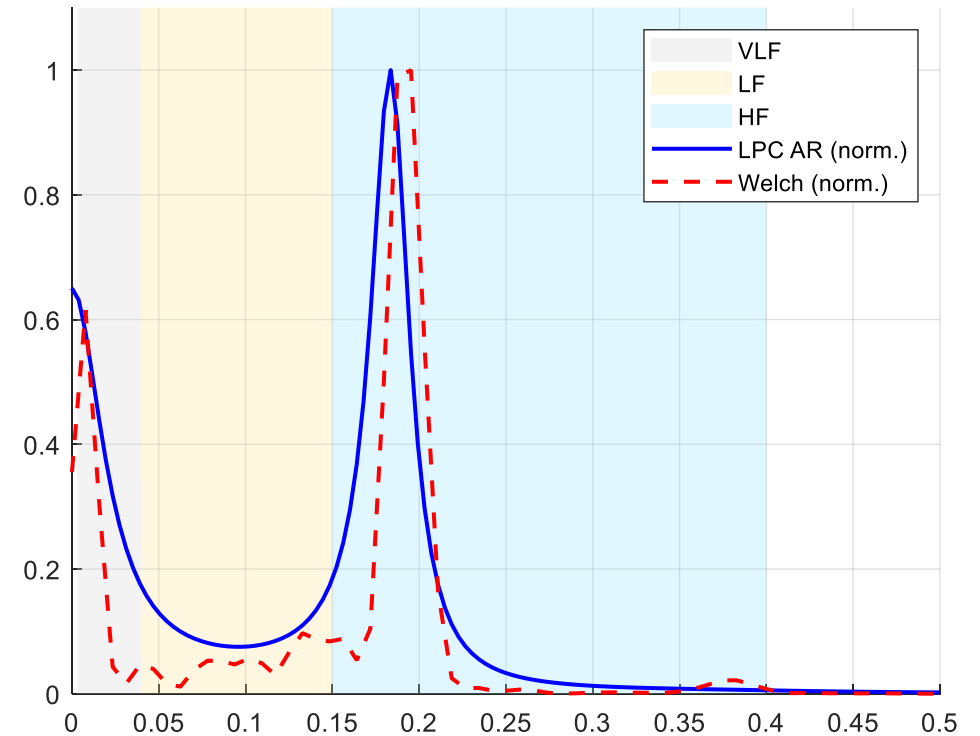
• Porovnání Welch vs. LPC AR

- Tři způsoby vizualizace: lineární, dB, relativní
- Welch = empirický přístup, LPC = modelový přístup
- Rozdíly ve spektrálním tvaru

Porovnání HRV spekter (dB)

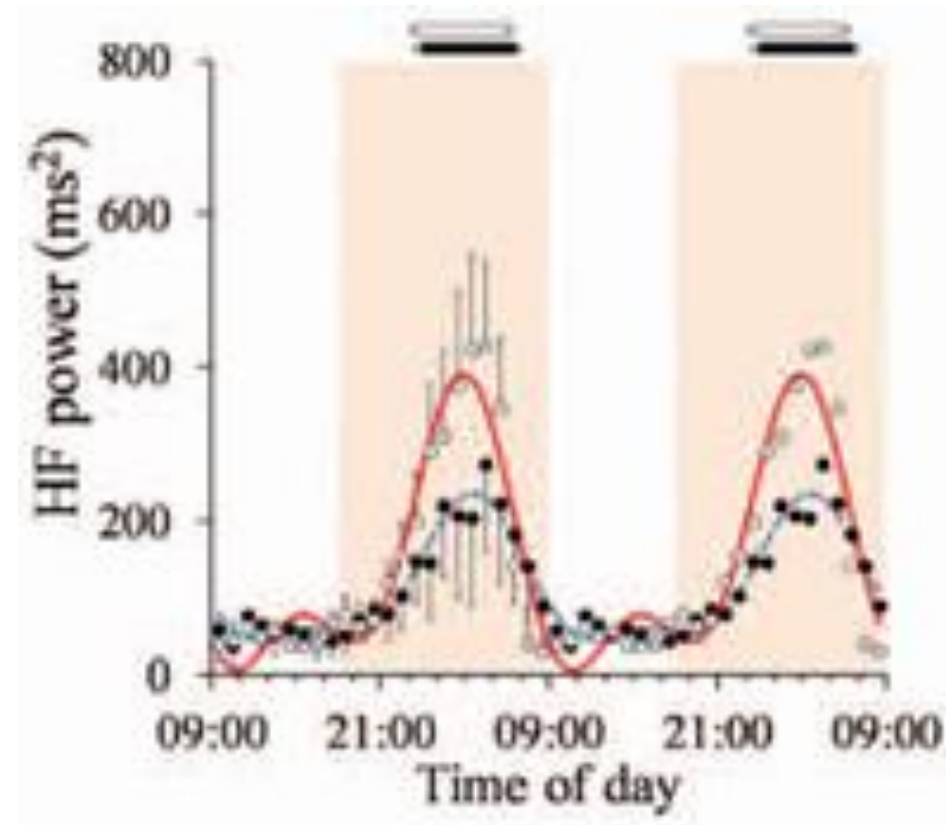
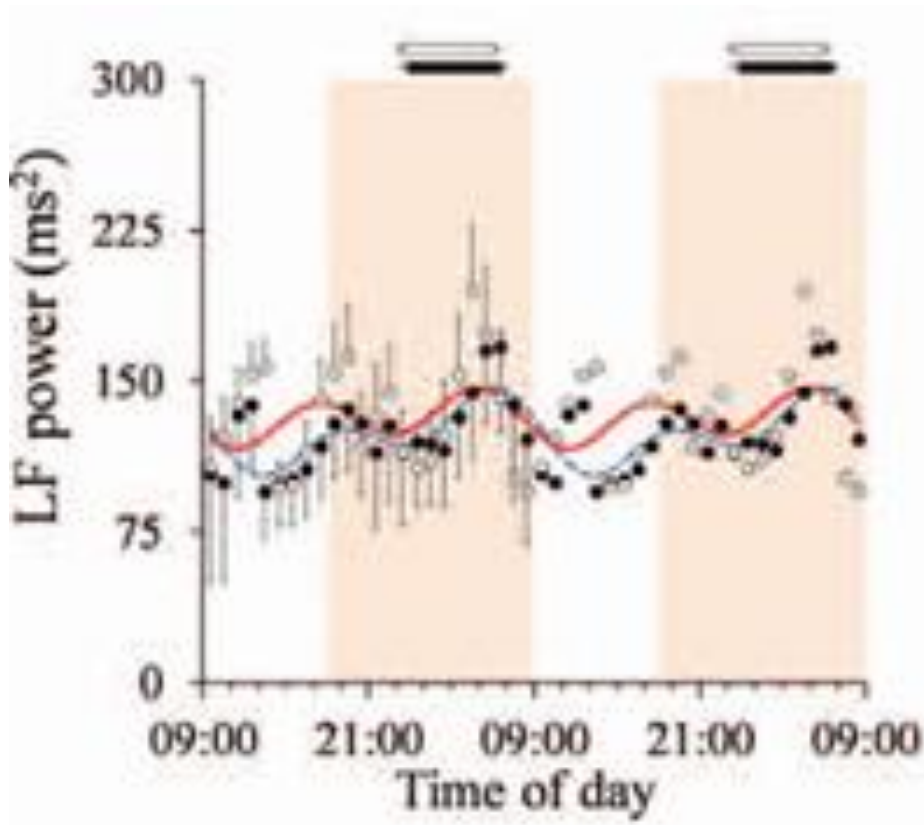


Porovnání tvaru HRV spekter (relativně)



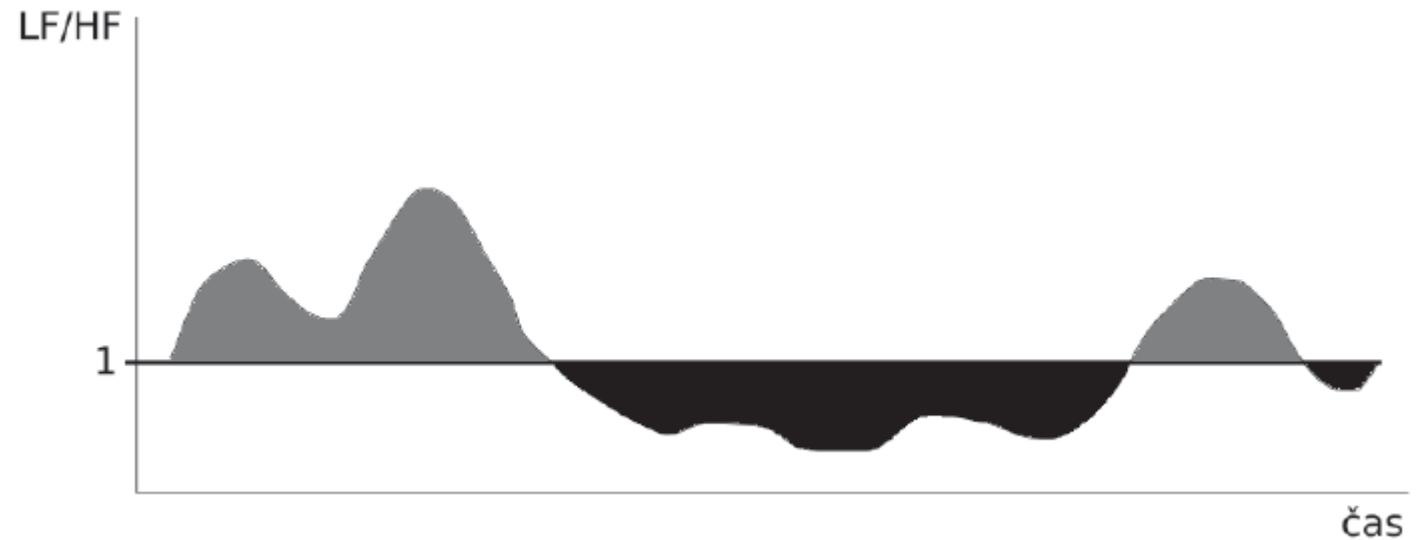
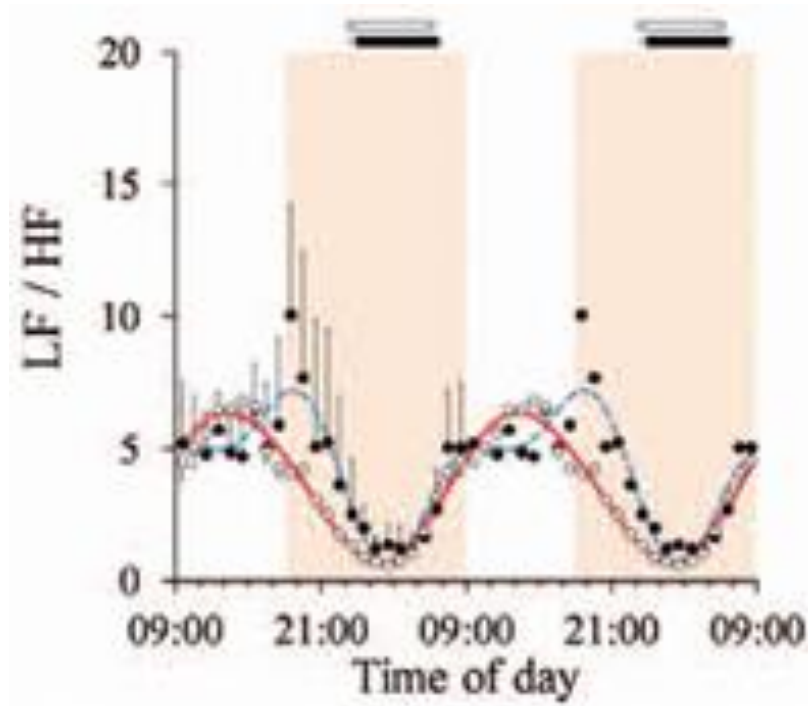
Metody analýzy HRV – frekvenční oblast

- Analýzy HRV ve spektrální oblasti



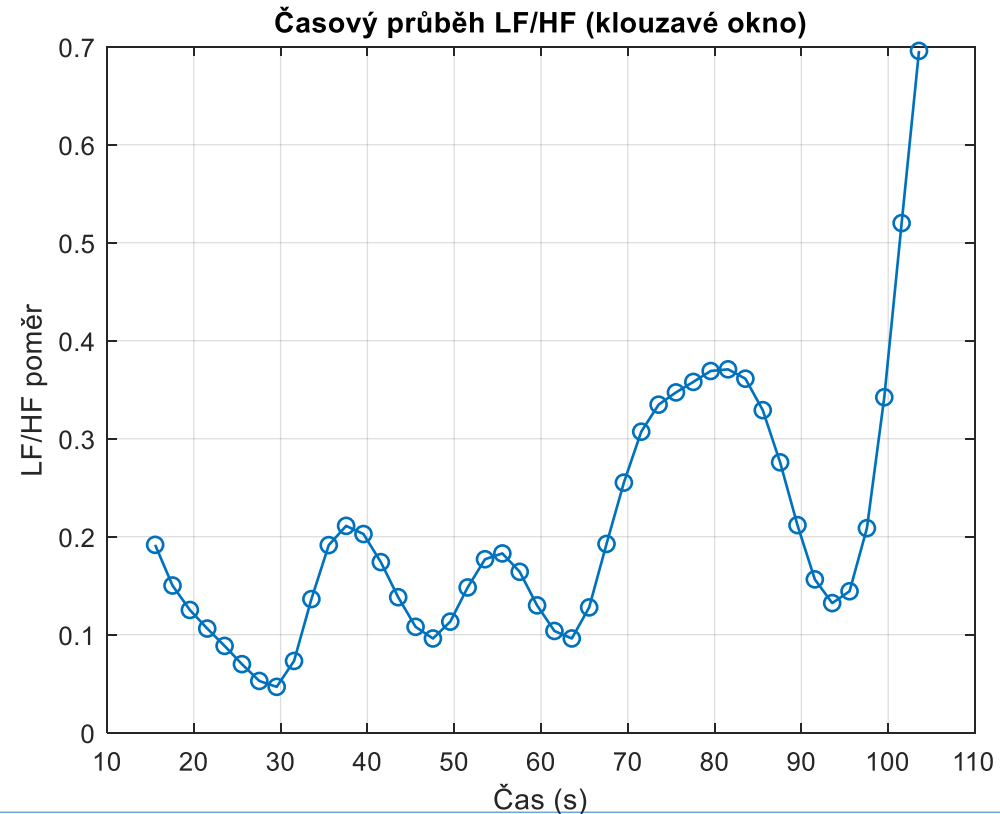
Metody analýzy HRV – frekvenční oblast

- Analýzy HRV ve spektrální oblasti



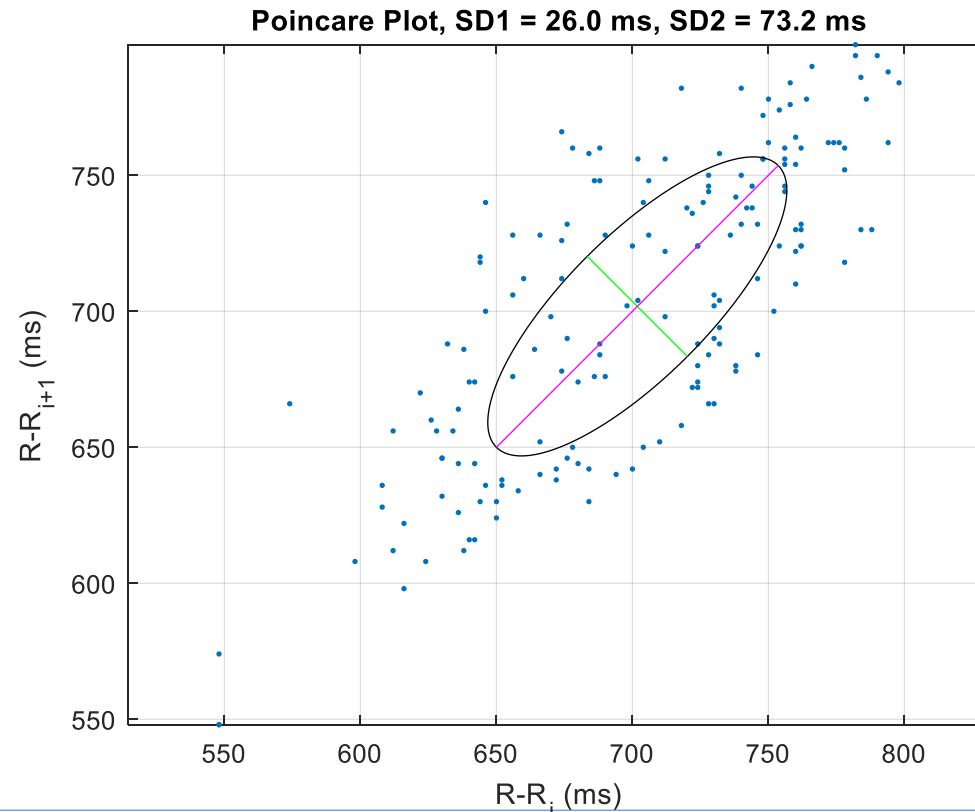
• Časový vývoj LF/HF

- Výpočet v klouzavém okně (např. 30s, krok 2s)
- Trendy v autonomní rovnováze (LF/HF)
- Vhodné pro sledování stresu, relaxace



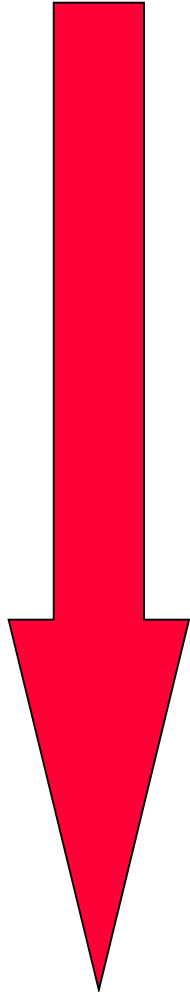
• Poincarého diagram

- Zobrazení každého RR proti následujícímu (RR_{n+1} vs RR_n)
- SD1 = krátkodobá, SD2 = dlouhodobá variabilita
- Výrazný graf pro nelineární HRV hodnocení

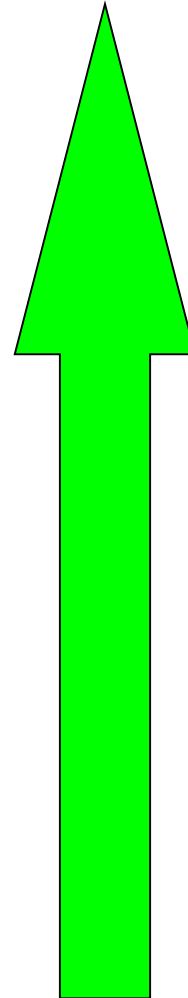


Faktory ovlivňující HRV

• Autonomní nervový systém



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

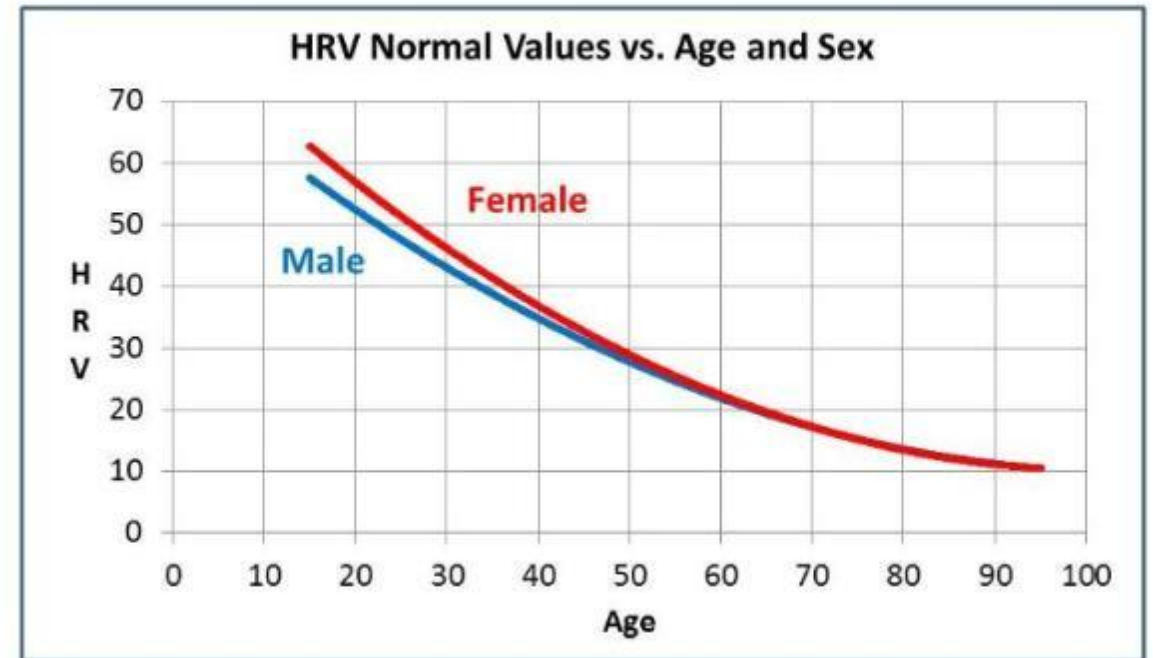
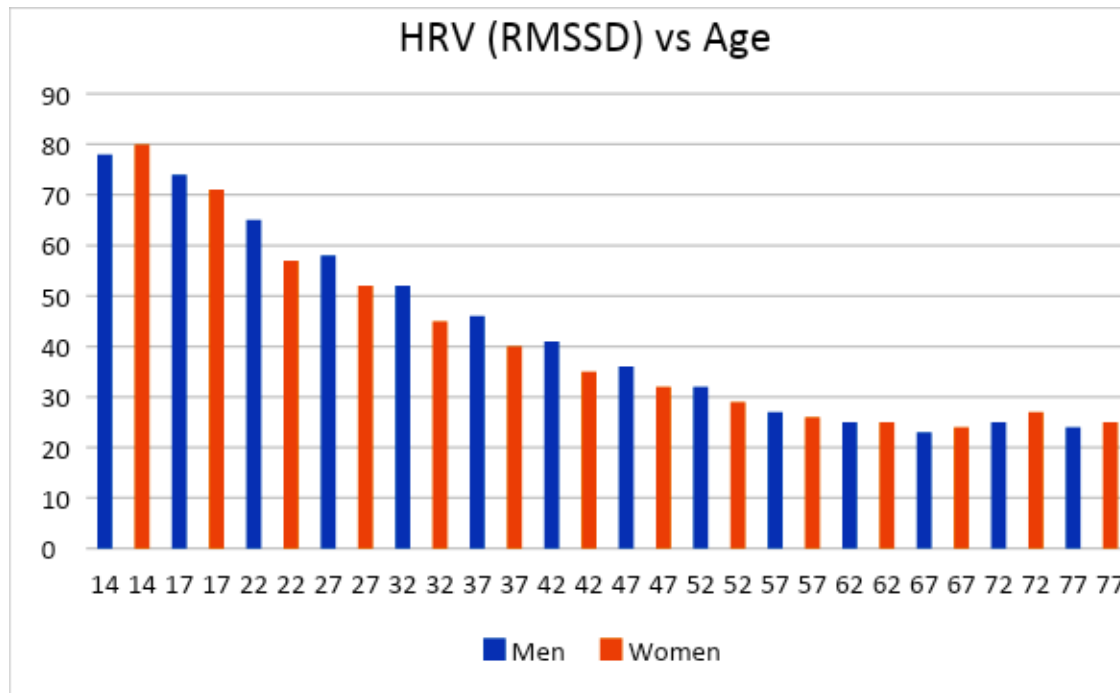


- ✓ obecně regenerace
- ✓ zdravý životní styl

**FAKTORY
OVLIVŇUJÍCÍ
ÚROVEŇ
AKTIVITY ANS**

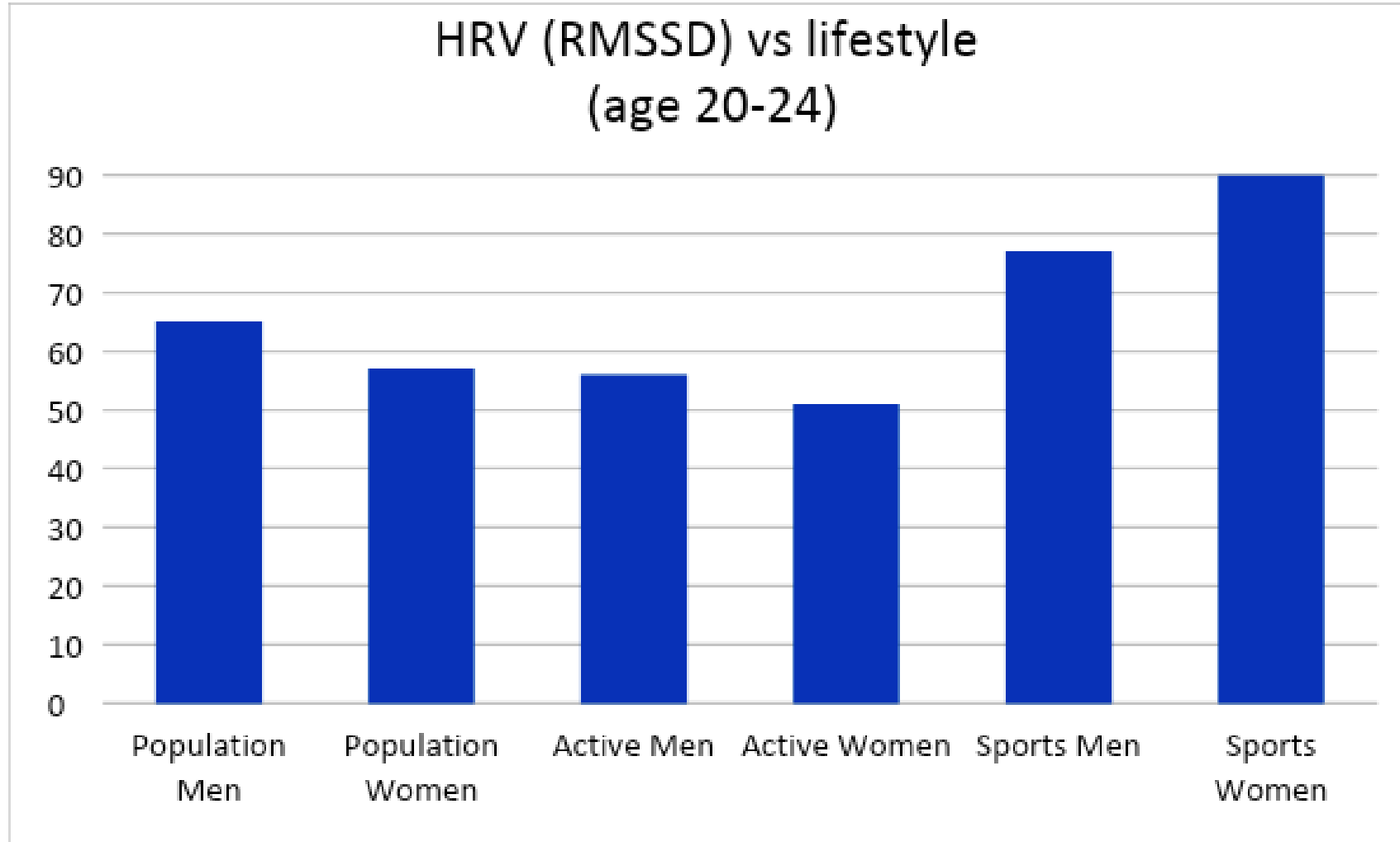
Faktory ovlivňující HRV

- Stárnutí, pohlaví



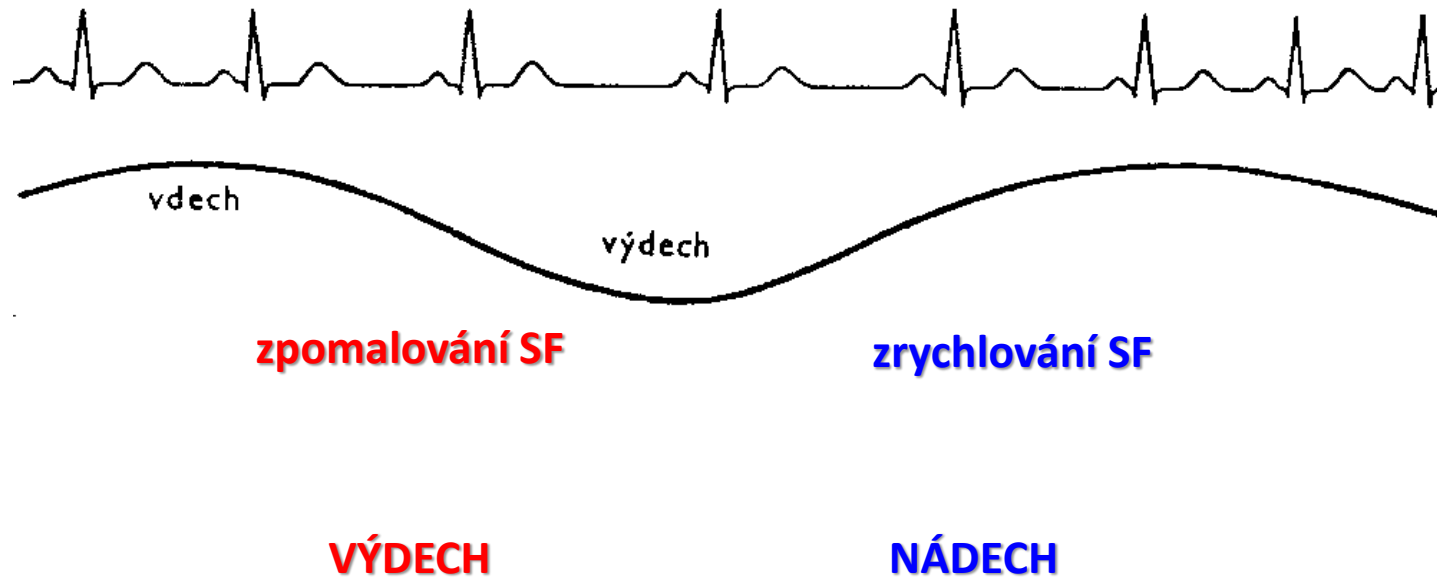
Faktory ovlivňující HRV

- **životní styl**



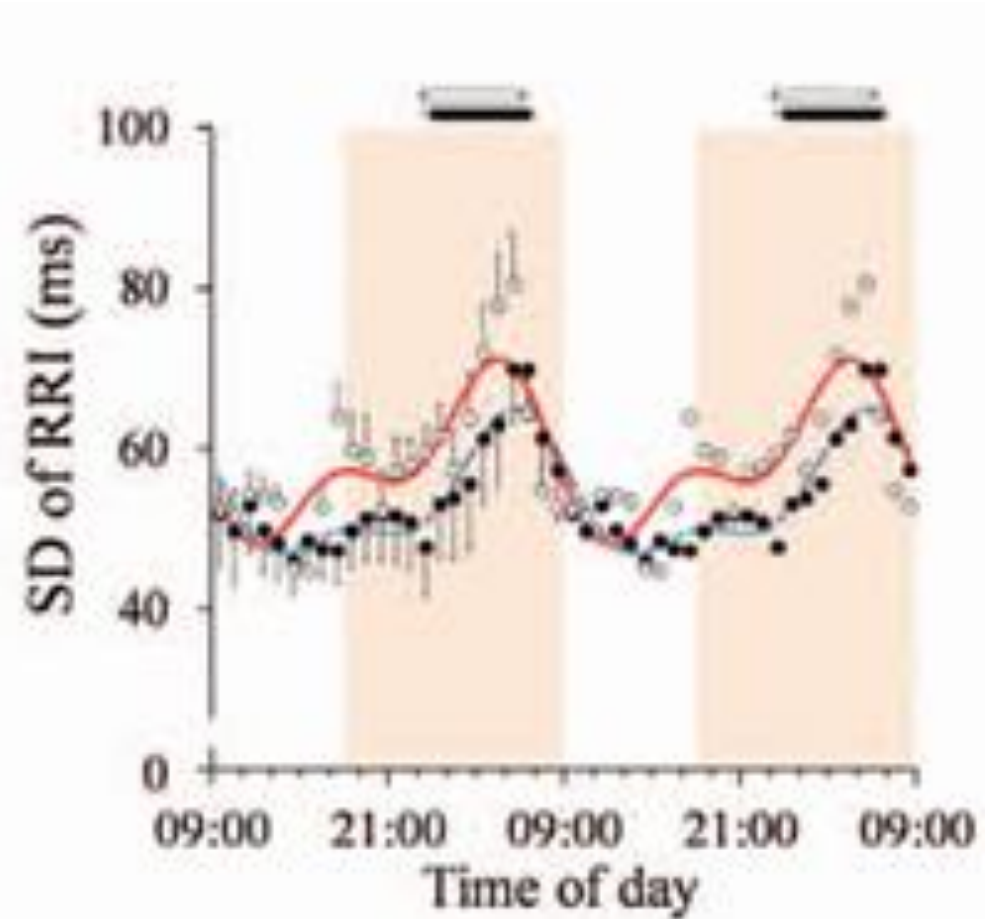
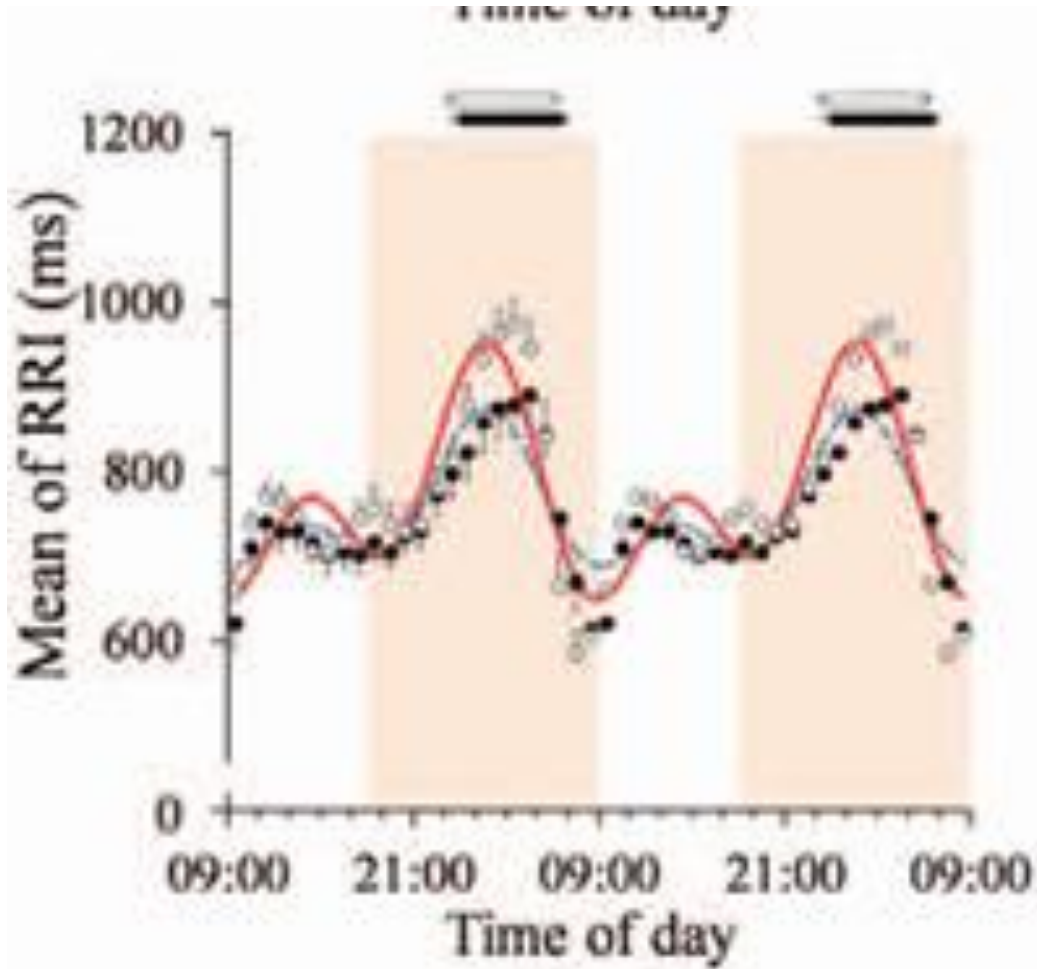
Faktory ovlivňující HRV

- **respirace**



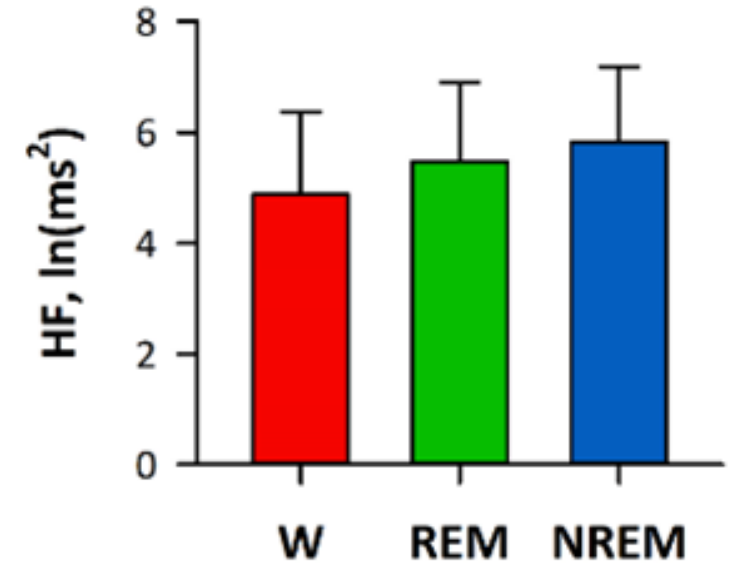
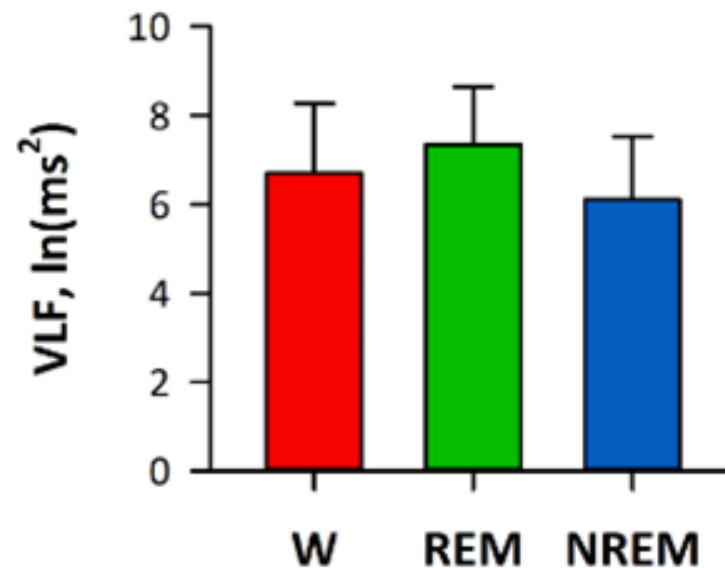
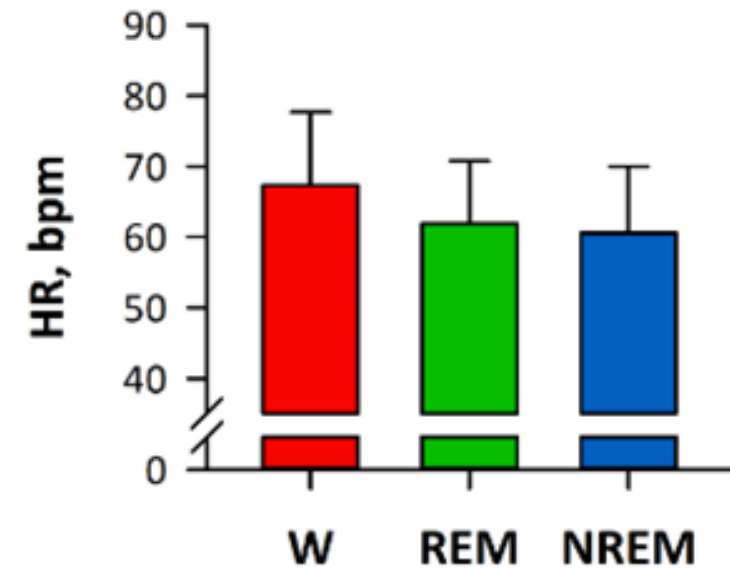
Faktory ovlivňující HRV

- den/noc



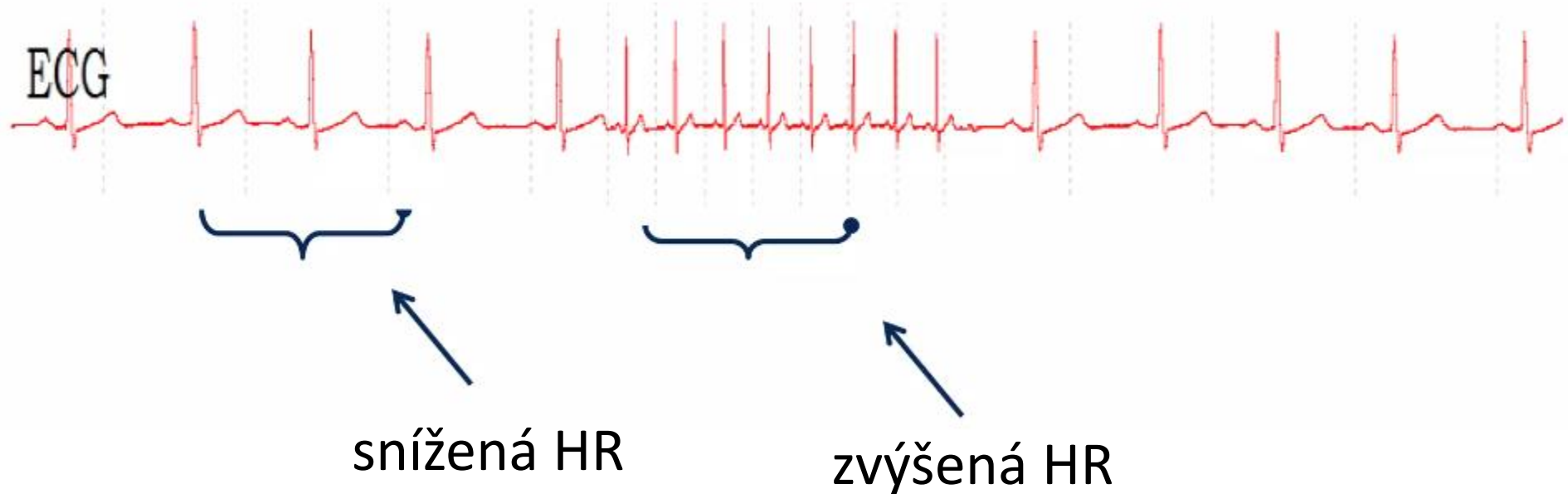
Faktory ovlivňující HRV

- spánek



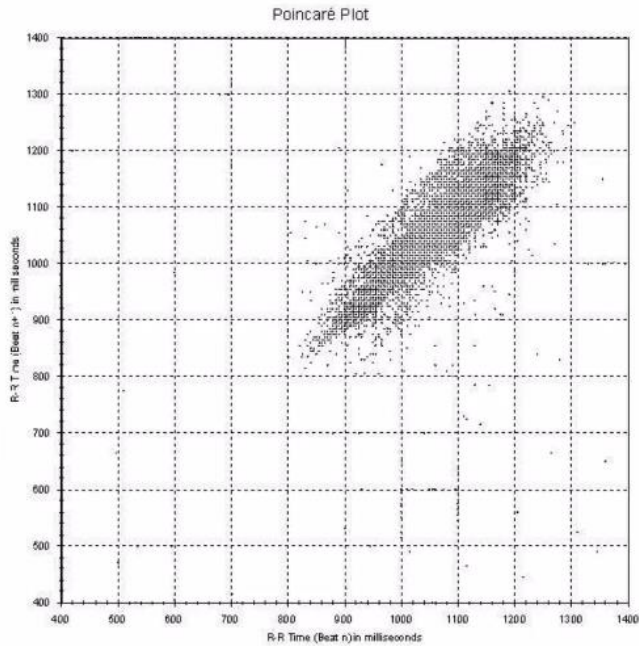
Faktory ovlivňující HRV

- **spánková apnoe**
- **typický vzor pro pacienta s OSA**
 - HR se **snižuje** během apnoické příhody
 - HR se **zvyšuje** po apnoické příhodě

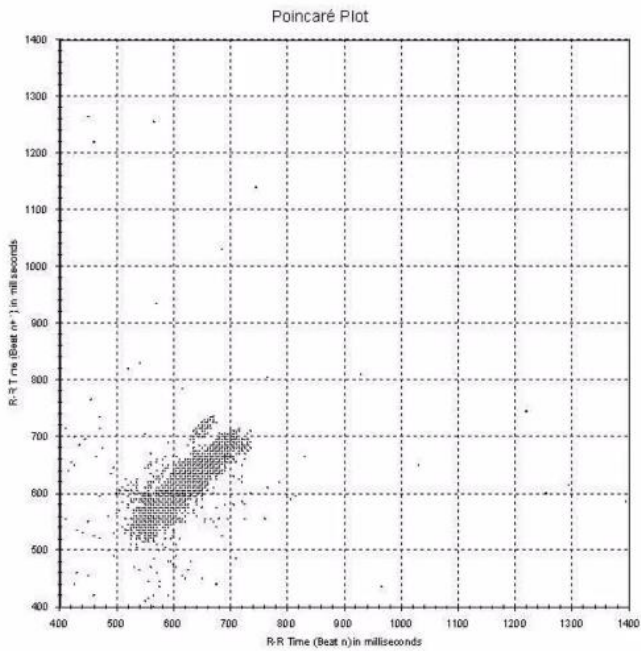


Faktory ovlivňující HRV

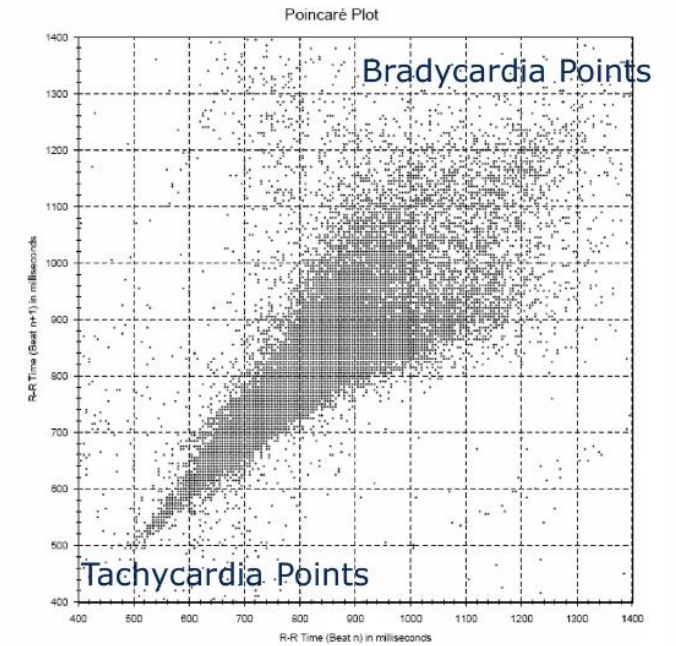
- bradykardie



- tachykardie

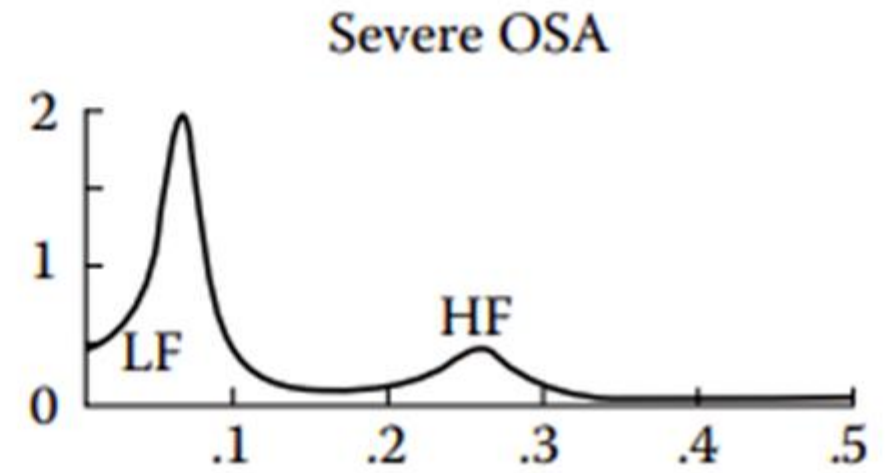
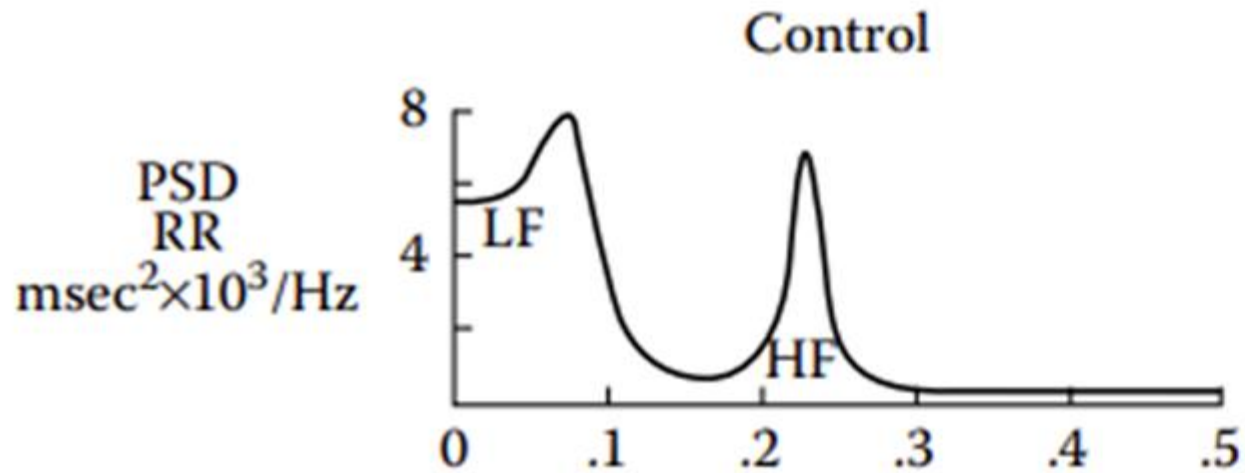


- OSA



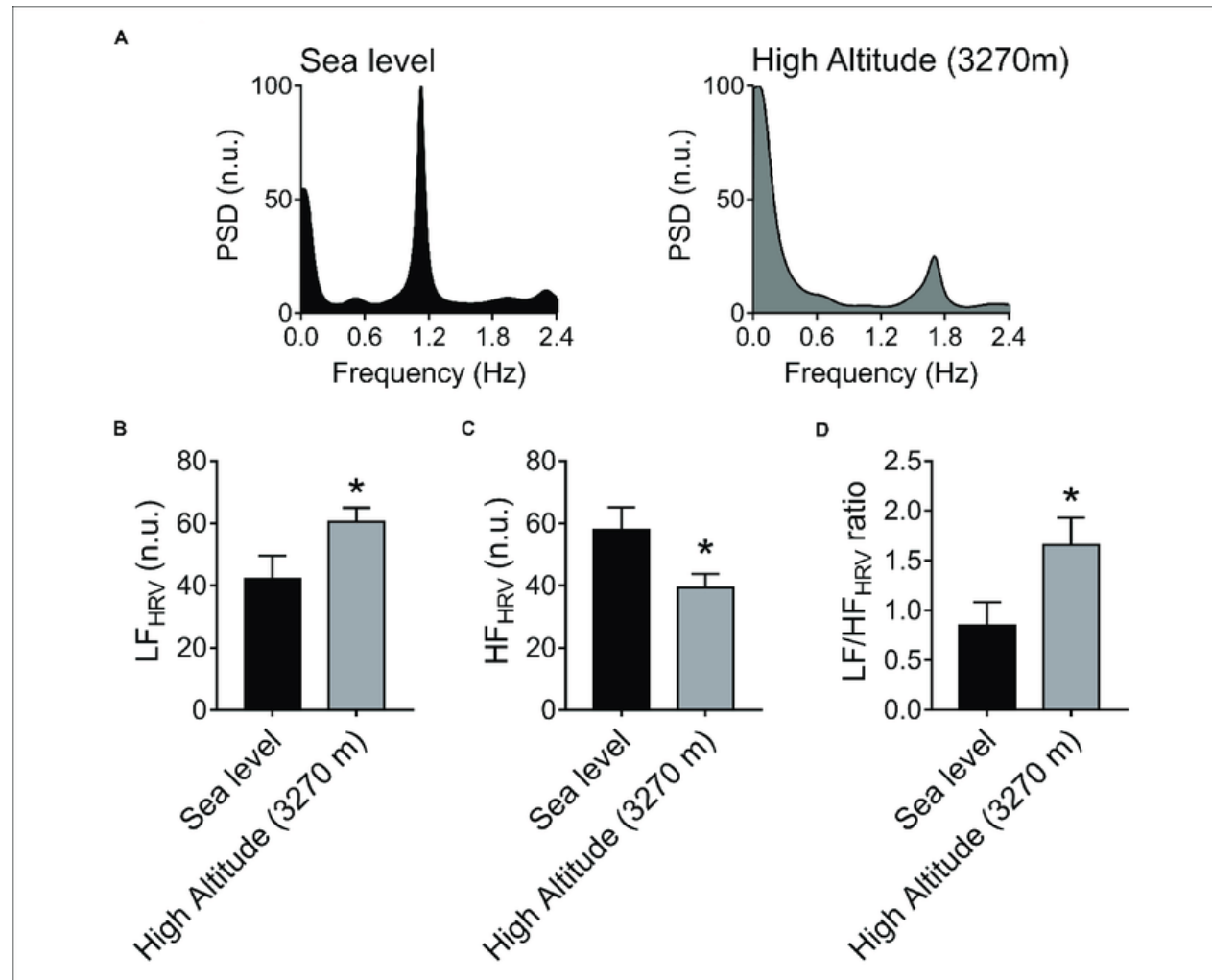
Faktory ovlivňující HRV

- spánková apnoe



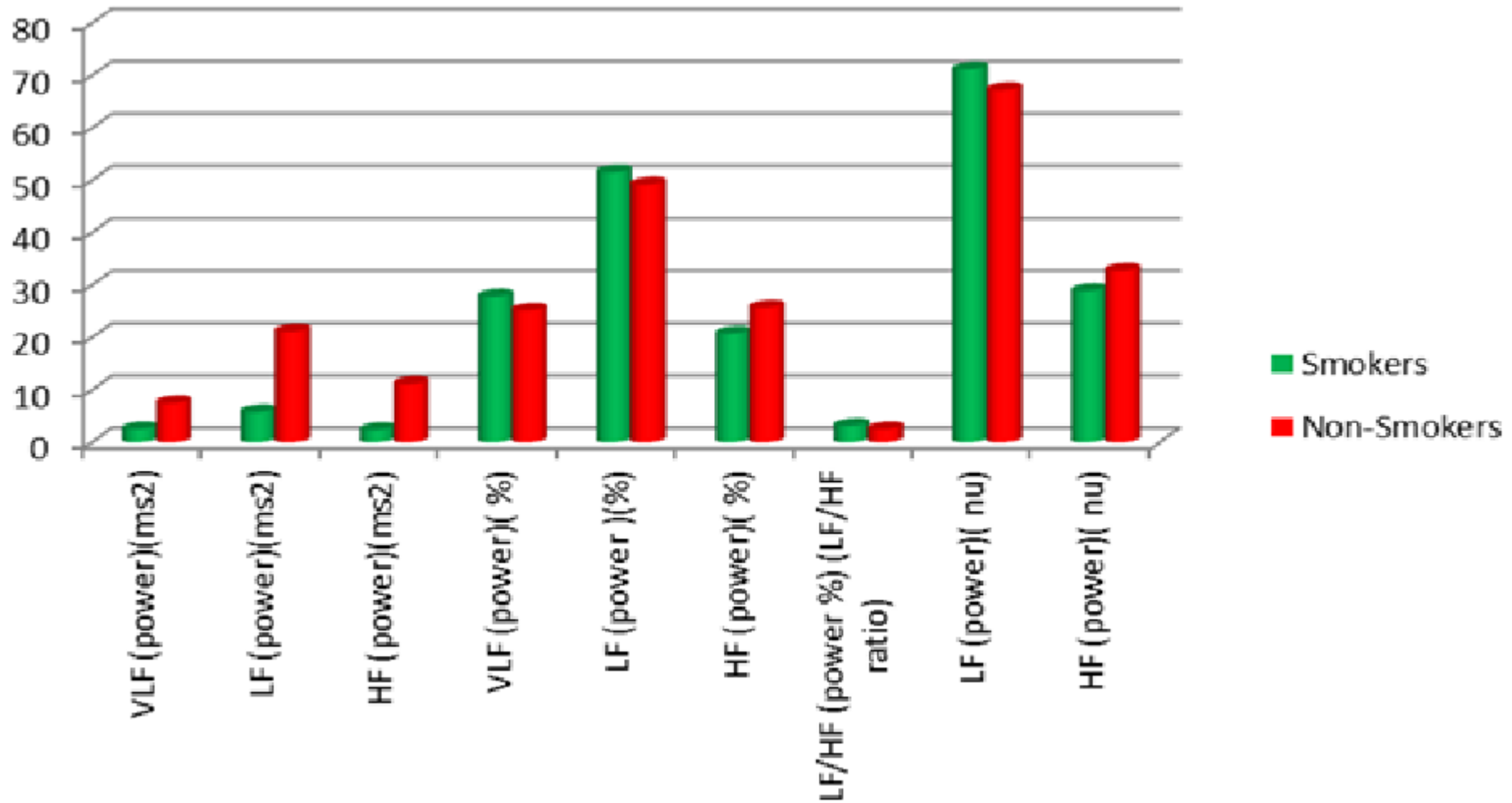
Faktory ovlivňující HRV

- nadmořská výška



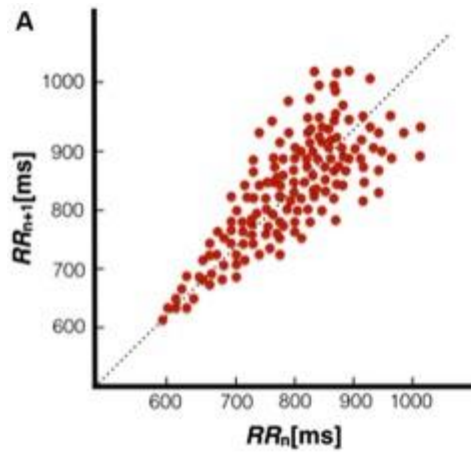
Faktory ovlivňující HRV

- kouření

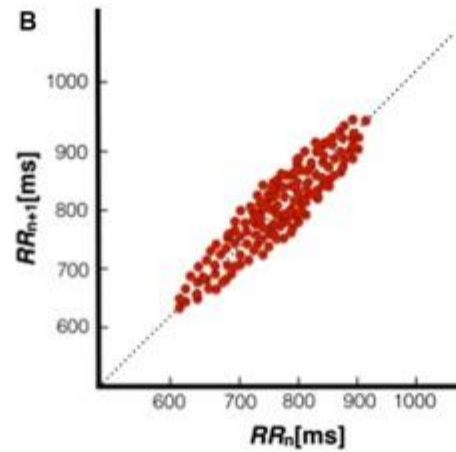


Faktory ovlivňující HRV

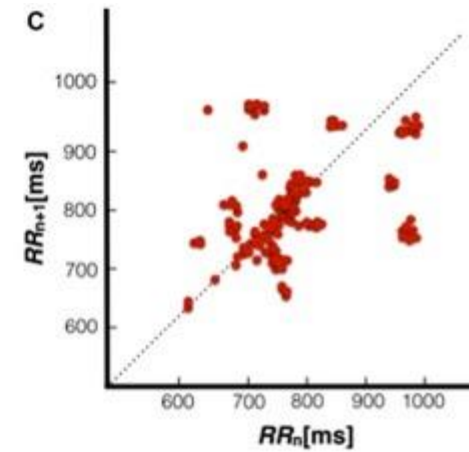
- srdeční onemocnění



zdravý jedinec

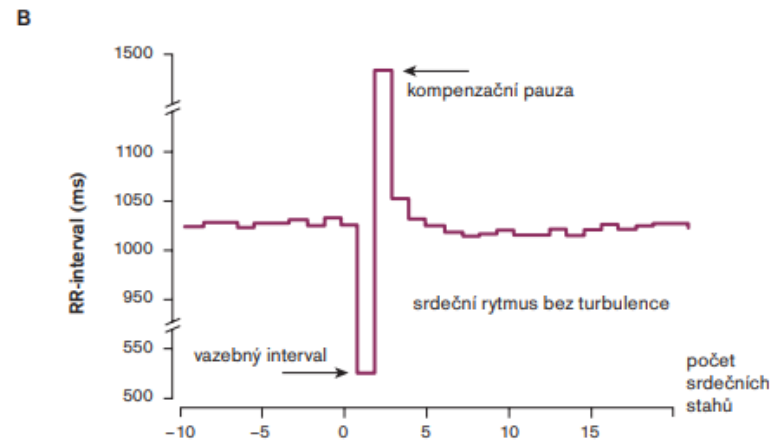
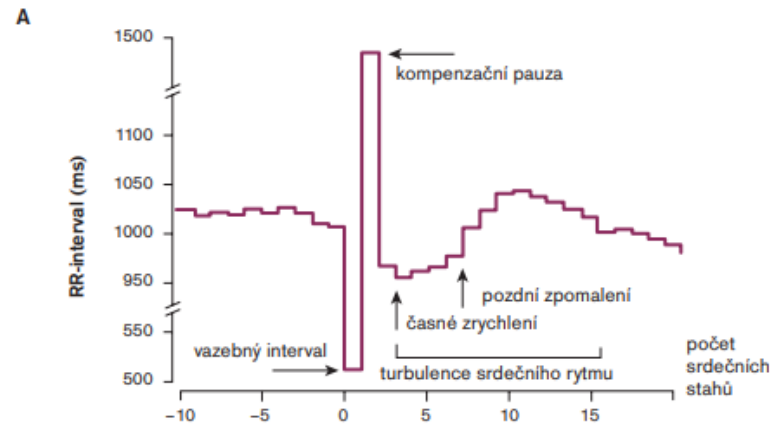


pacienti se srdečním selháním



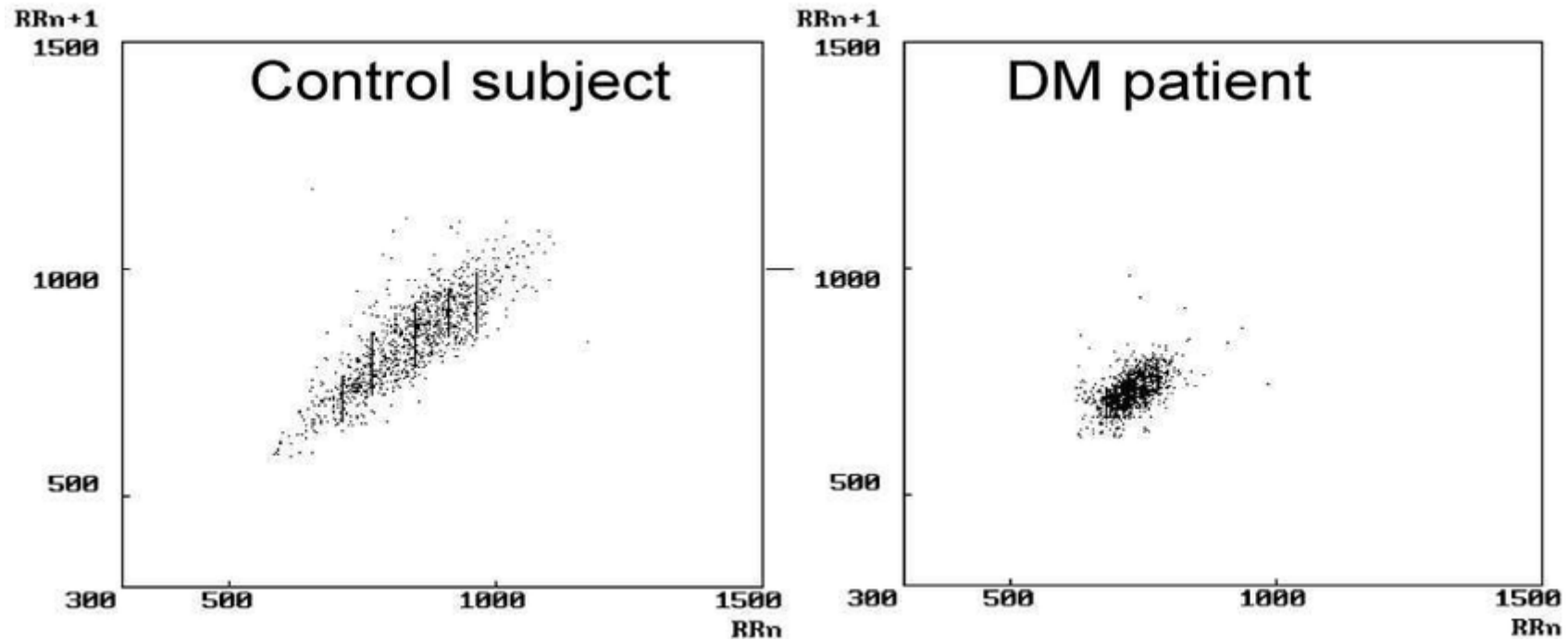
Faktory ovlivňující HRV

- srdeční onemocnění

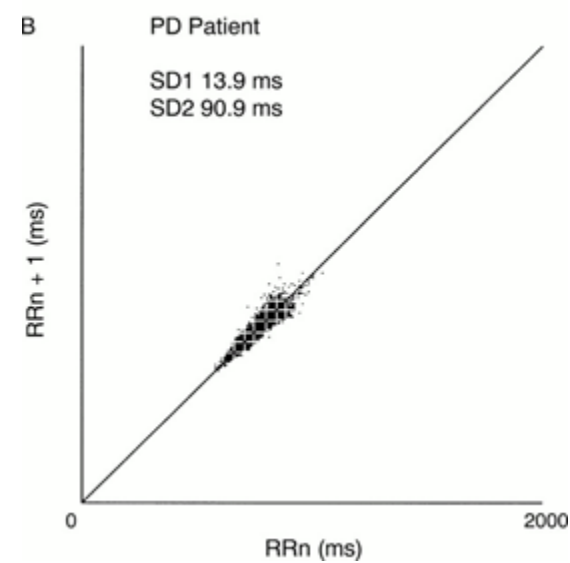
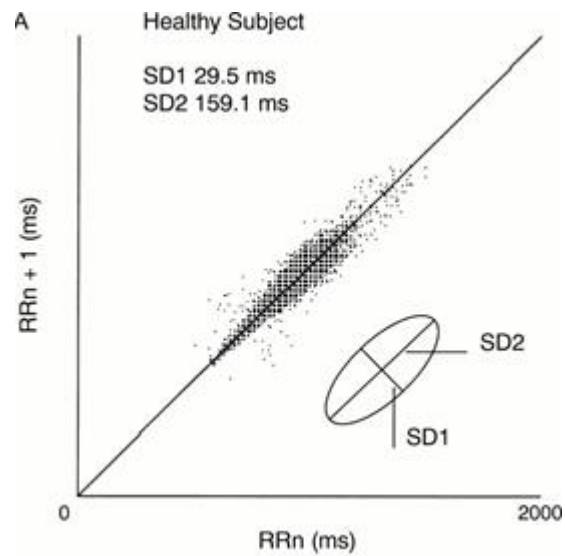


Faktory ovlivňující HRV

- Diabetes mellitus

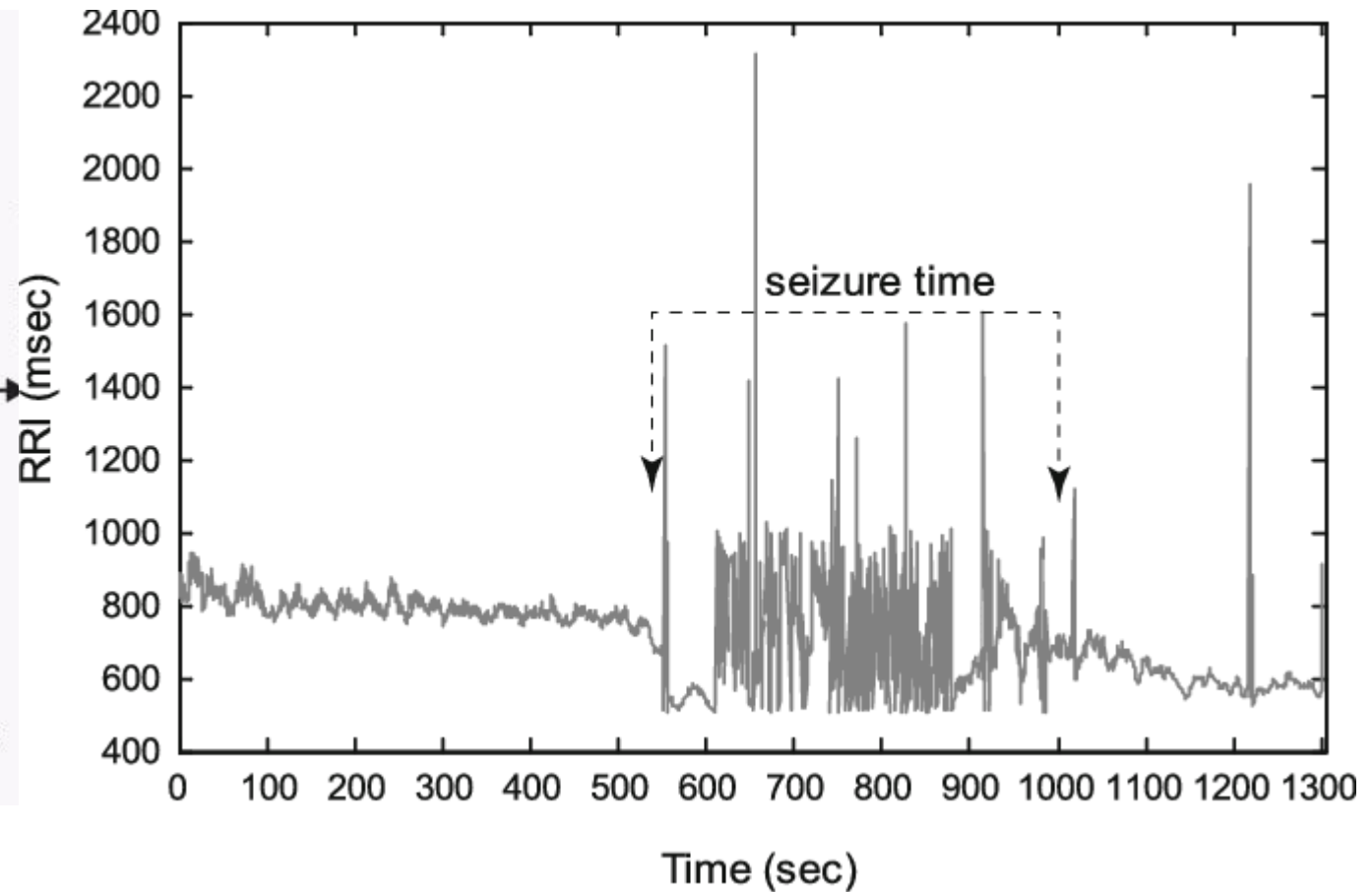
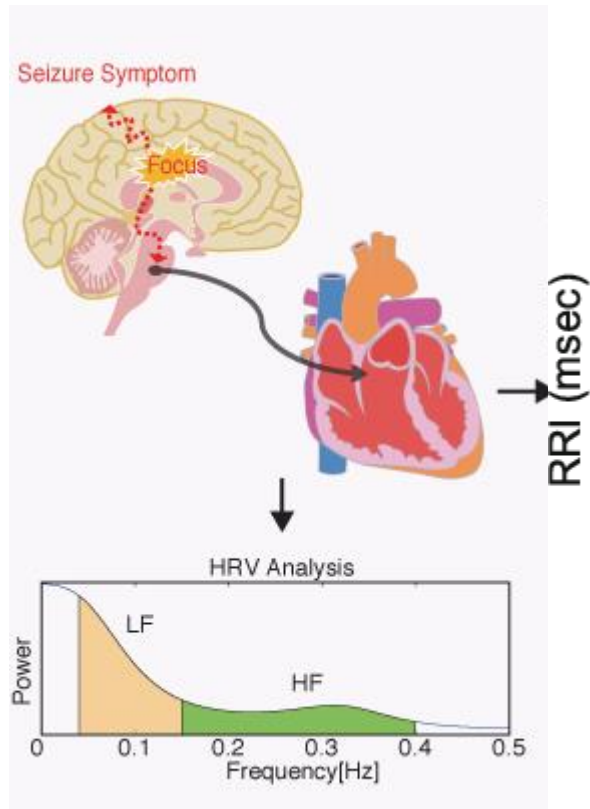


- Parkinsonova choroba



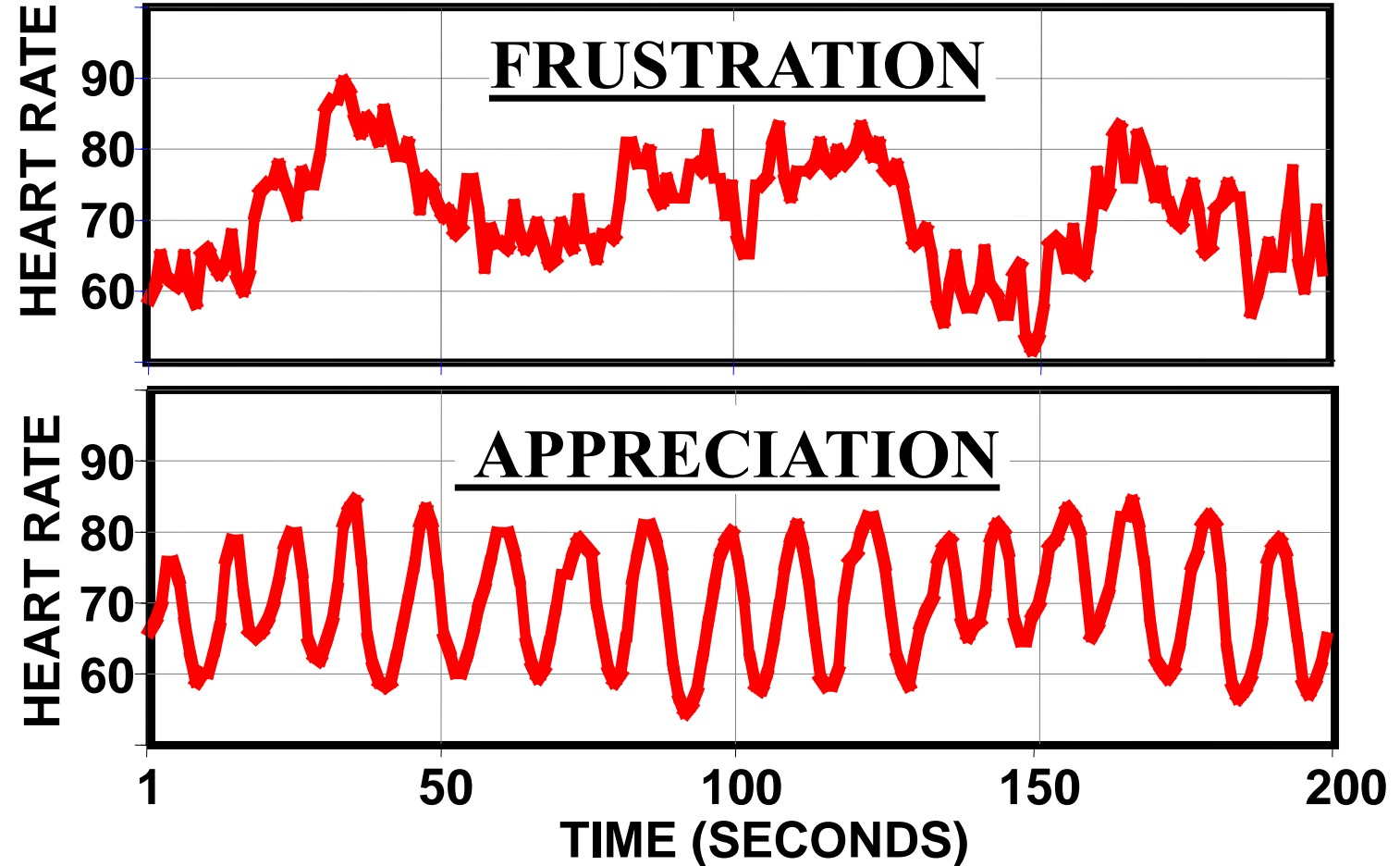
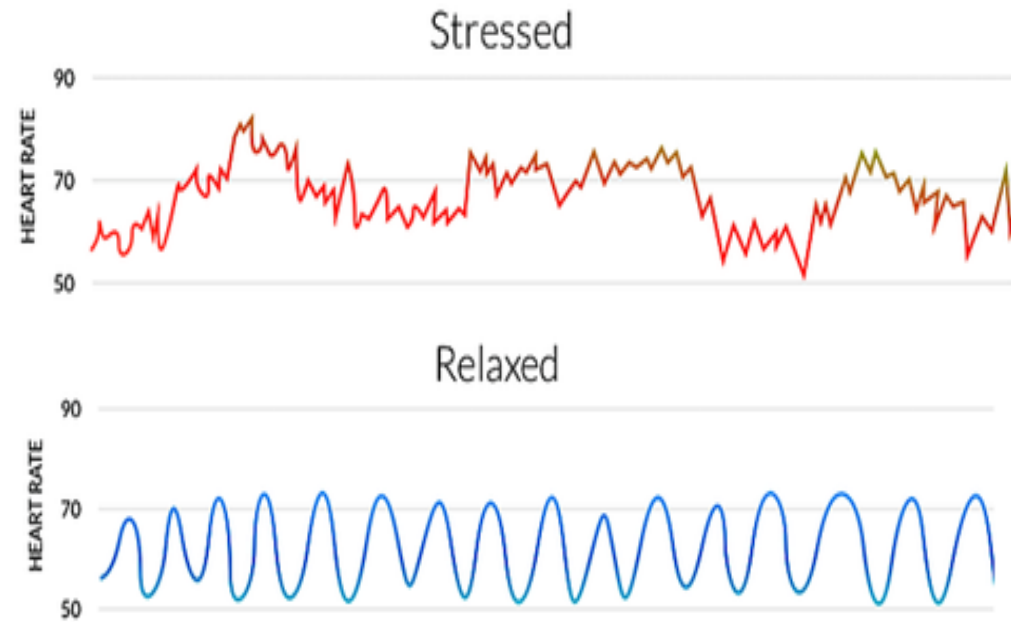
Faktory ovlivňující HRV

- Epilepsie



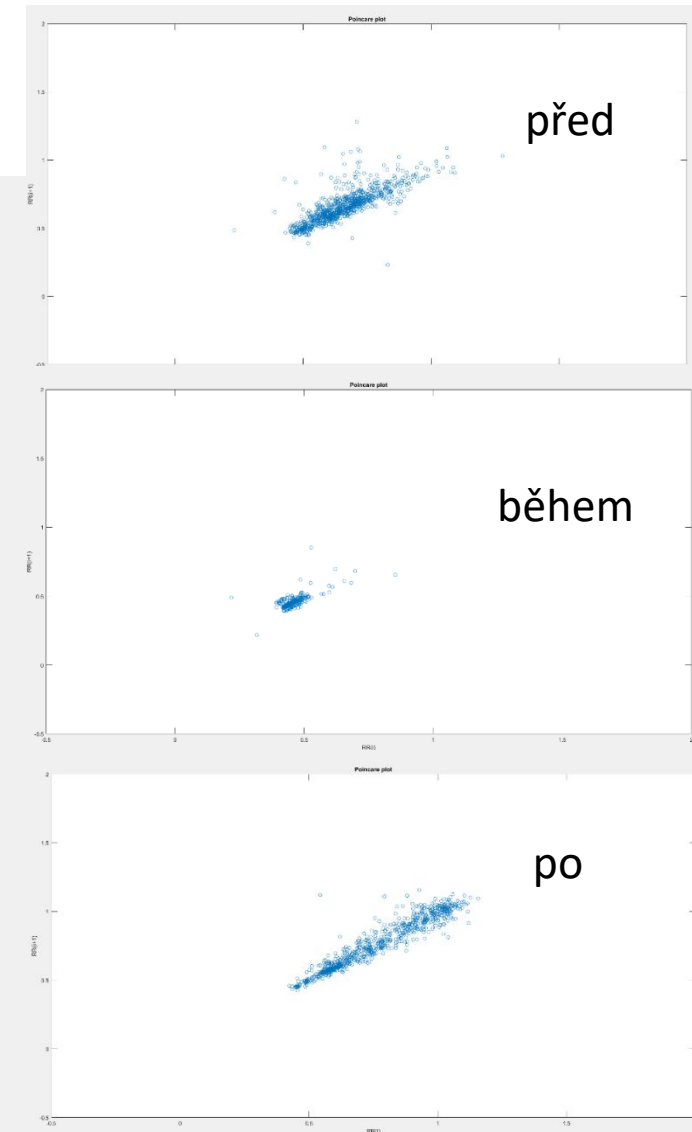
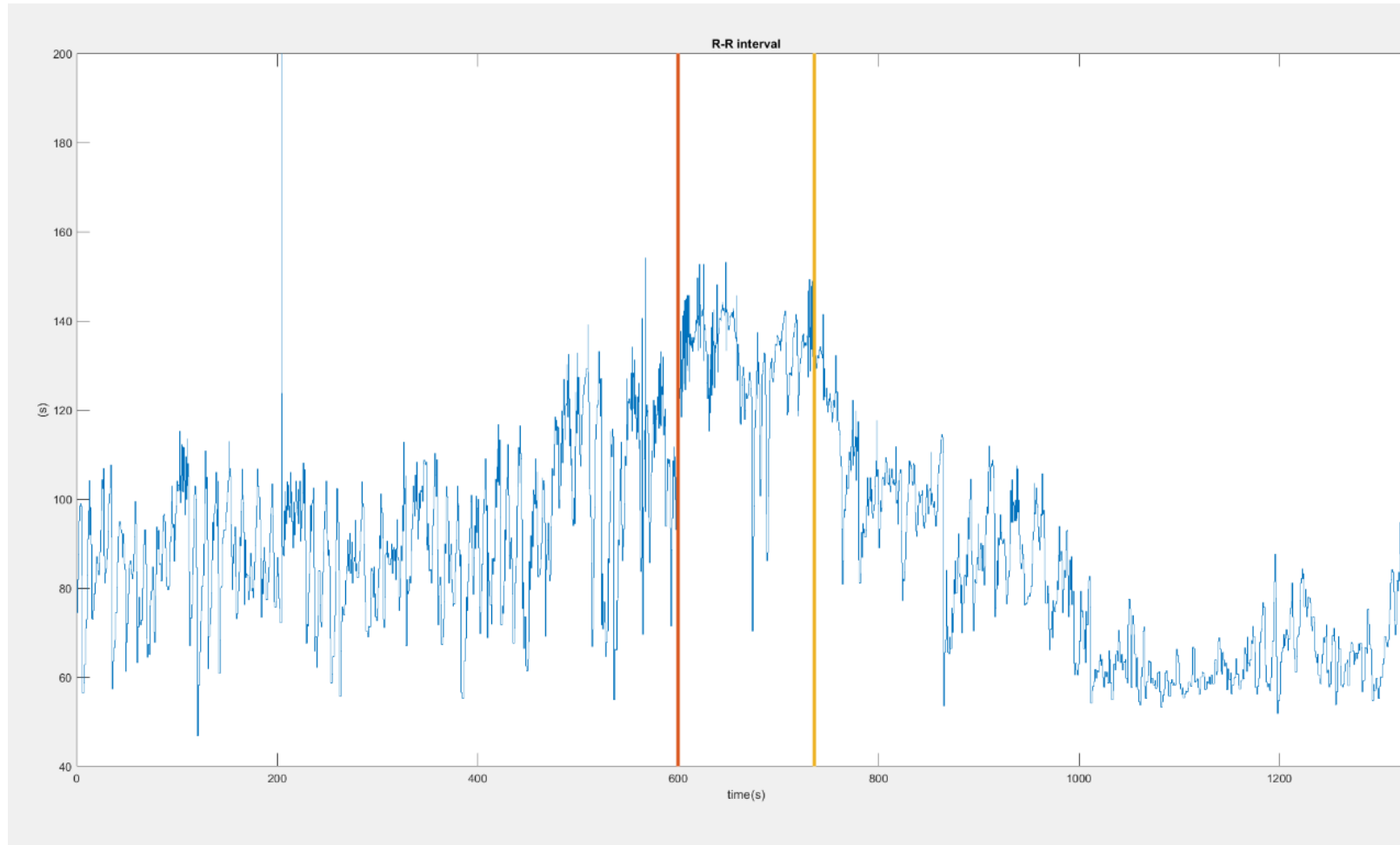
Faktory ovlivňující HRV

- psychologický stres, emoce



Faktory ovlivňující HRV

- **stres** (HRV před-během-po seskoku padákem)



- Marcus Vollmer

<https://marcusvollmer.github.io/HRV/>

