



ÚSTAV BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ  
ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE



# BIOLOGICKÉ A LÉKAŘSKÉ SIGNÁLY

---

VI.

## VARIABILITA SRDEČNÍHO RYTMU



# VARIABILITA SRDEČNÍHO RYTMU

- **VARIABILITA SRDEČNÍHO RYTMU**, tj. fluktuace jak dob trvání po sobě jdoucích srdečních cyklů, tak hodnot okamžité srdeční frekvence (**HRV** – Heart Rate Variability) je jev, který reprezentuje stav autonomního nervového systému řídicího srdeční činnosti.



# VARIABILITA SRDEČNÍHO RYTMU



American Heart  
Association®



*Learn and Live™*



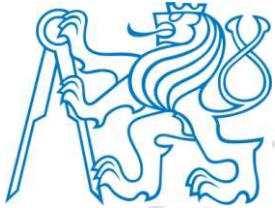
Heart Rhythm Society  
Restoring the Rhythm of Life

Heart Rate Variability: Standards of Measurement, physiological interpretation, and clinical use. Task Force of The European Society of Cardiology and The North American Society of Pacing and Electrophysiology. *European Heart Journal*, vol. 17 (1996), p.354-381.

North American Society of Pacing and Electrophysiology. Standards of Professional Practice for the Allied Professional in Pacing and Electrophysiology (Policy Statement). *PACE*, vol. 26 (2003), p.127-131

Didier C. Combatalade, D. C.: Basics of Heart Rate Variability. Applied to Psychophysiology. Thought Technology Ltd., Feb. 2010,  
<http://www.emfandhealth.com/HRVThoughtTechnology.pdf>





# SOUVISLOSTI

- 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);



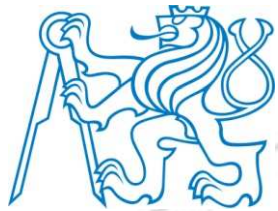
# VNITŘNÍ FAKTORY

- **dýchání**
  - (respirační arytmie x sinová arytmie)
  - frekvence  $10 \div 30$  vdechů/min, tj.  $0,15 \div 0,5$  Hz
- **krevní tlak** – spontánní oscilace o frekvenci  $\sim 0,1$  Hz
- **termoregulace** – oscilace do  $0,08$  Hz



# MĚŘENÍ VARIABILITY SRDEČNÍHO RYTMU

- odvození od signálu EKG ... referenční bod počátek vlny P (?) – začátek QRS
- změny PR intervalů  $< 5$  ms (při zátěži i bez ní) x přesnost měření



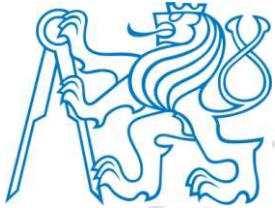
# HRV

## ZÁKLADNÍ METODY POPISU

---

- popis naměřených intervalů RR pomocí statistických parametrů
- popis průběhu posloupnosti intervalů RR v časové nebo frekvenční oblasti

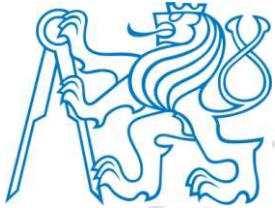




# STACIONARITA

- časová stálost vybraných sledovaných parametrů (závisí na charakteru podmínek vyšetření)
  - minimálně 100 ÷ 200 intervalů RR  
(prokazatelně stanovuje složky o periodě 10 až 60 s (90 ÷ 120 s))
  - maximálně - ?
  - praxe – 200 s, 256 intervalů, 2 ÷ 5 minut





# POPIS POMOCÍ STATISTICKÝCH PARAMETRŮ

## RR<sub>i</sub>

- střední hodnota
- standardní odchylka
- frekvence lokálních extrémů

$$F[(RR_{i+1} < RR_i > RR_{i-1}) \vee (RR_{i+1} > RR_i < RR_{i-1})]$$

- střední hodnota absolutních hodnot rozdílů mezi dvěma sousedními intervaly

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n-1} |RR_i - RR_{i+1}|$$



# POPIS POMOCÍ STATISTICKÝCH PARAMETRŮ

## RR<sub>i</sub>

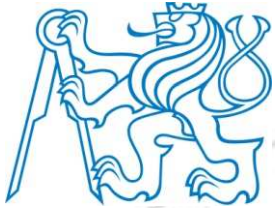
- střední hodnota kladných, resp. záporných hodnot rozdílů mezi dvěma sousedními intervaly

$$\begin{array}{l} \oplus: \\ : \\ : \end{array} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n-1} (RR_i - RR_{i+1}) \left| \begin{array}{l} \\ \\ RR_{i+1} < RR_i \end{array} \right.$$

- histogramy

:

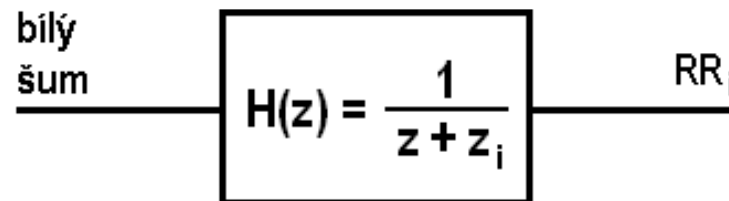
- počet relativních maxim přesahujících stanovené prahy



# POPIS POMOCÍ STATISTICKÝCH PARAMETRŮ

## parametry vyšších řádů

- parametry lineárních autoregresivních systémů 1. a 2. řádu modelujících změřenou posloupnost



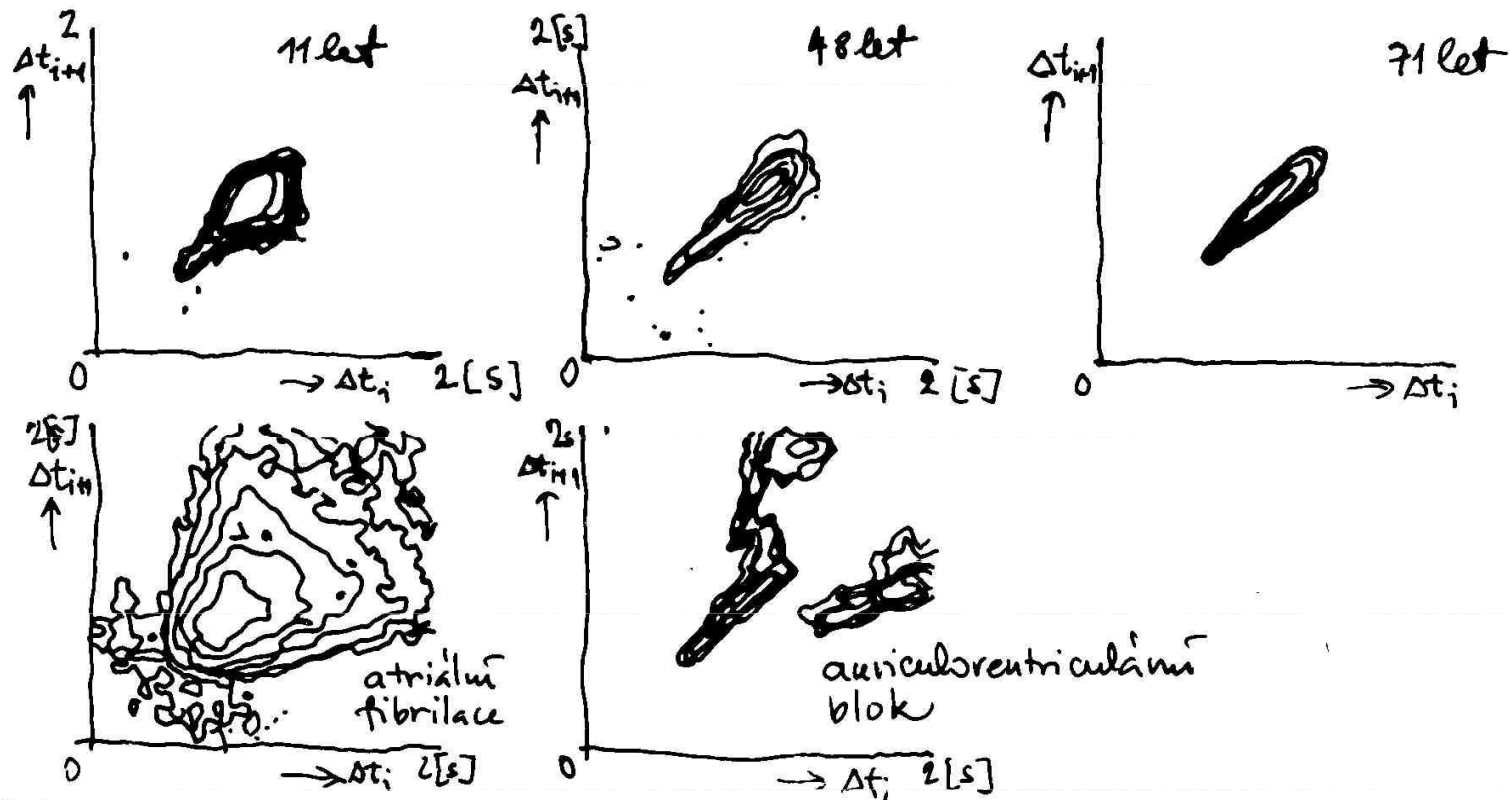
(komplementární spektrální metodám)





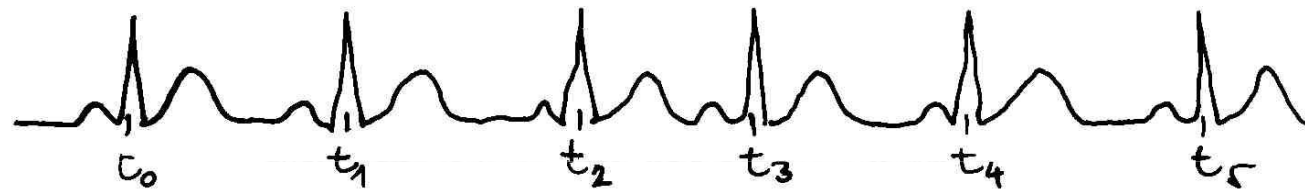
# POPIS V ČASOVÉ OBLASTI

## stavový popis

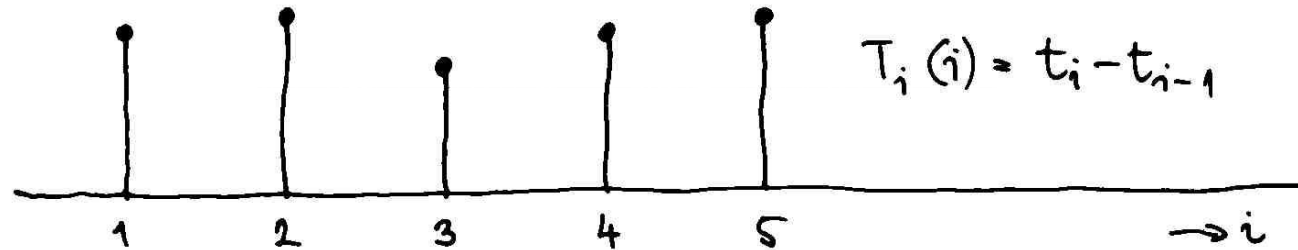




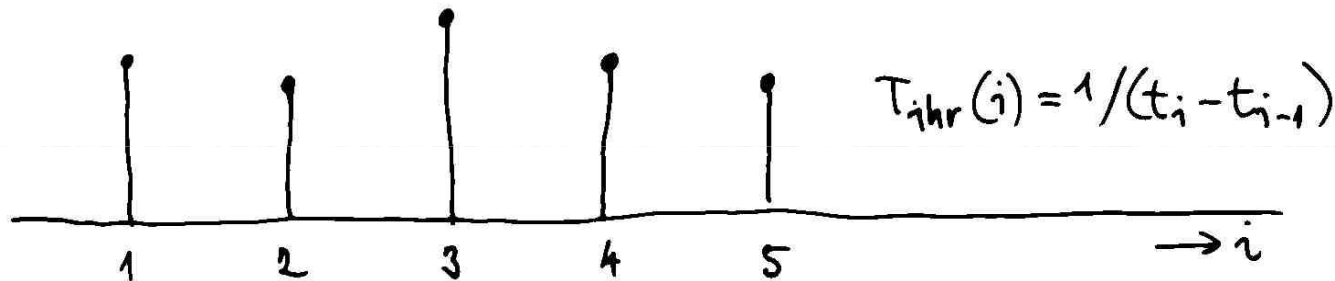
# POPIS V ČASOVÉ OBLASTI

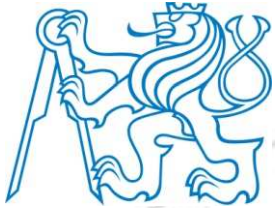


intervalový  
tachogram

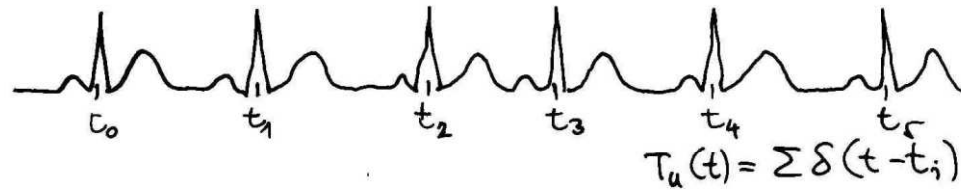


tachogram  
okamžité srdeční  
frekvence

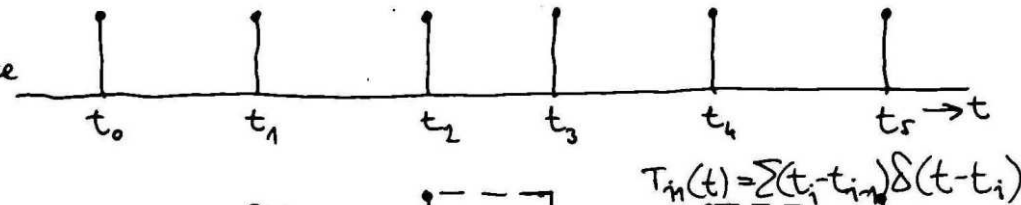




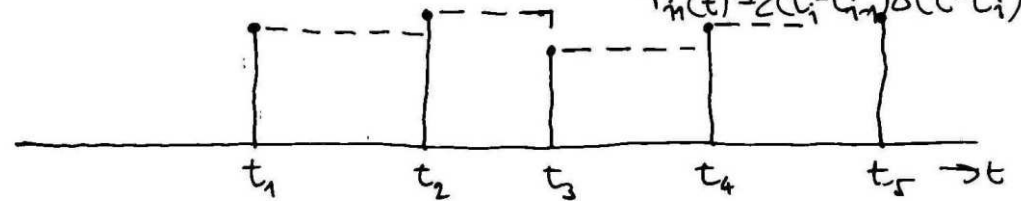
# POPIS V ČASOVÉ OBLASTI



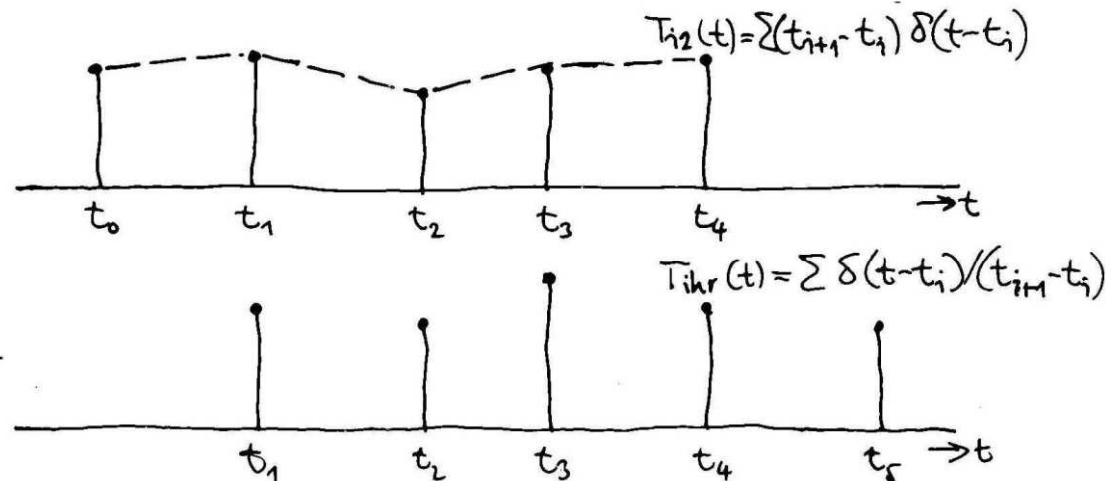
jednotkové  
intervaldové funkce



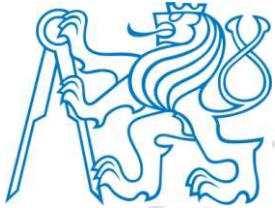
intervalová  
funkce



funkce  
okamžité srdeční  
frekvence

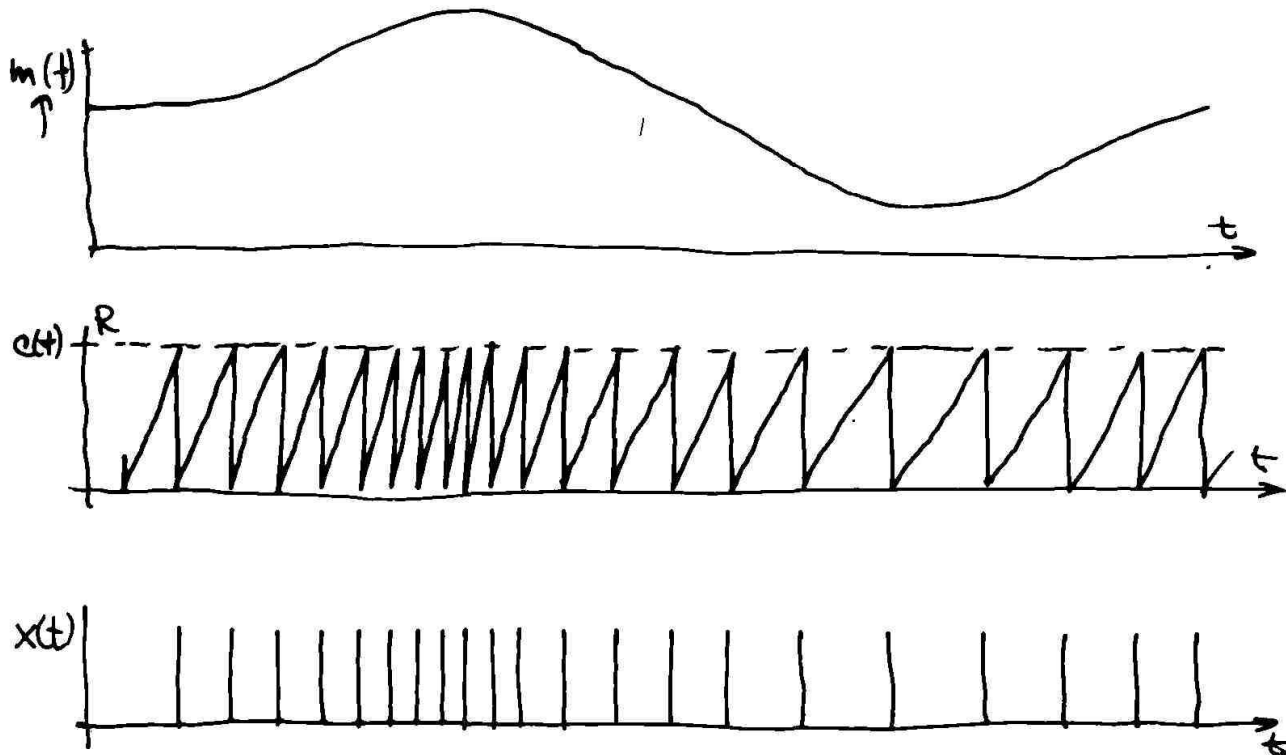
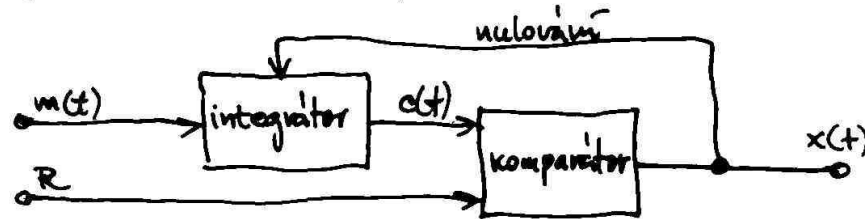


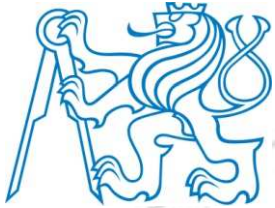




# MODEL VARIABILITY ♥ RYTMU

integrační impulsová frekvenční modulace



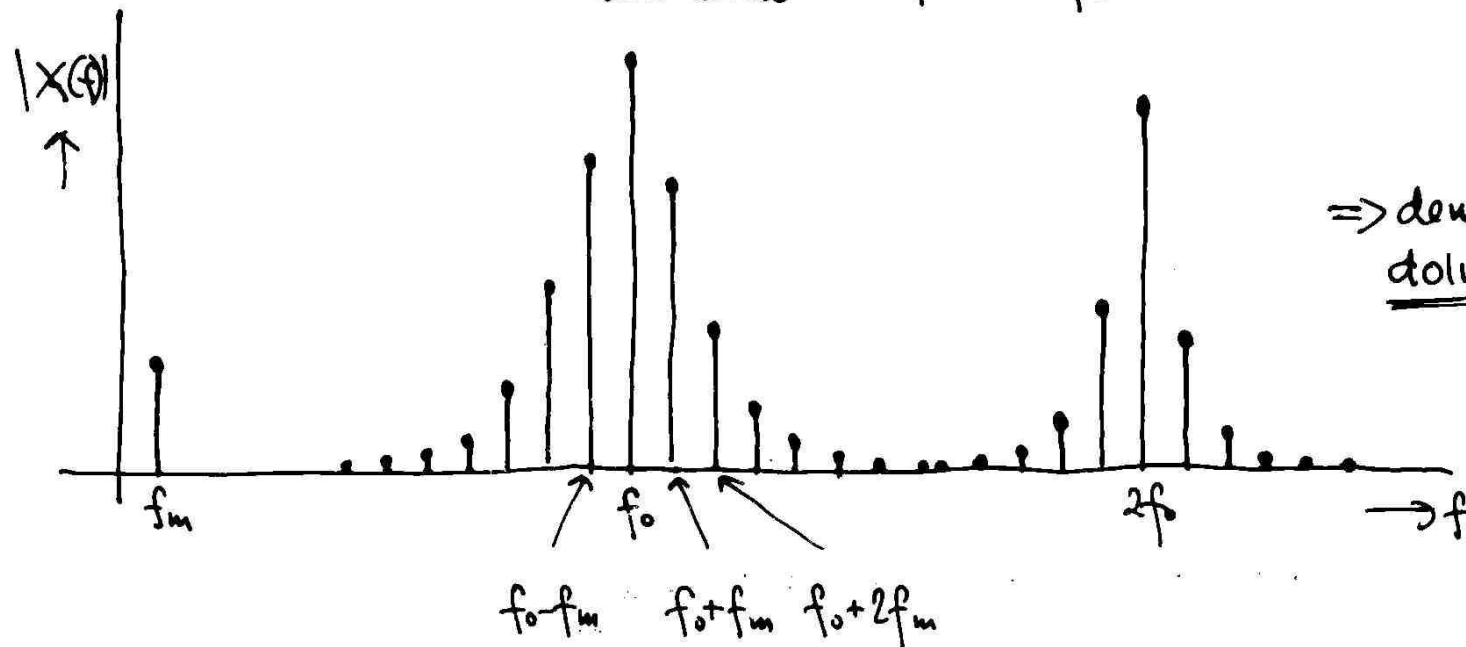


# MODEL VARIABILITY ♥ RYTMU

$$\text{je-li } m(t) = m_0 + m_1 \cos(2\pi f_m t + \nu) \quad f_0 = m_0/R \gg f_m$$

$$x(t) = I f_0 \left( 1 + \frac{m_1}{m_0} \cos(2\pi f_m t + \nu) \right) + 2 \sum_{k=1}^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \left( 1 + \frac{n f_m}{k f_0} \right) J_n \left( k \frac{f_0 m_1}{f_m m_0} \right) \cdot \cos[2\pi(k f_0 + n f_m)t + \dots]$$

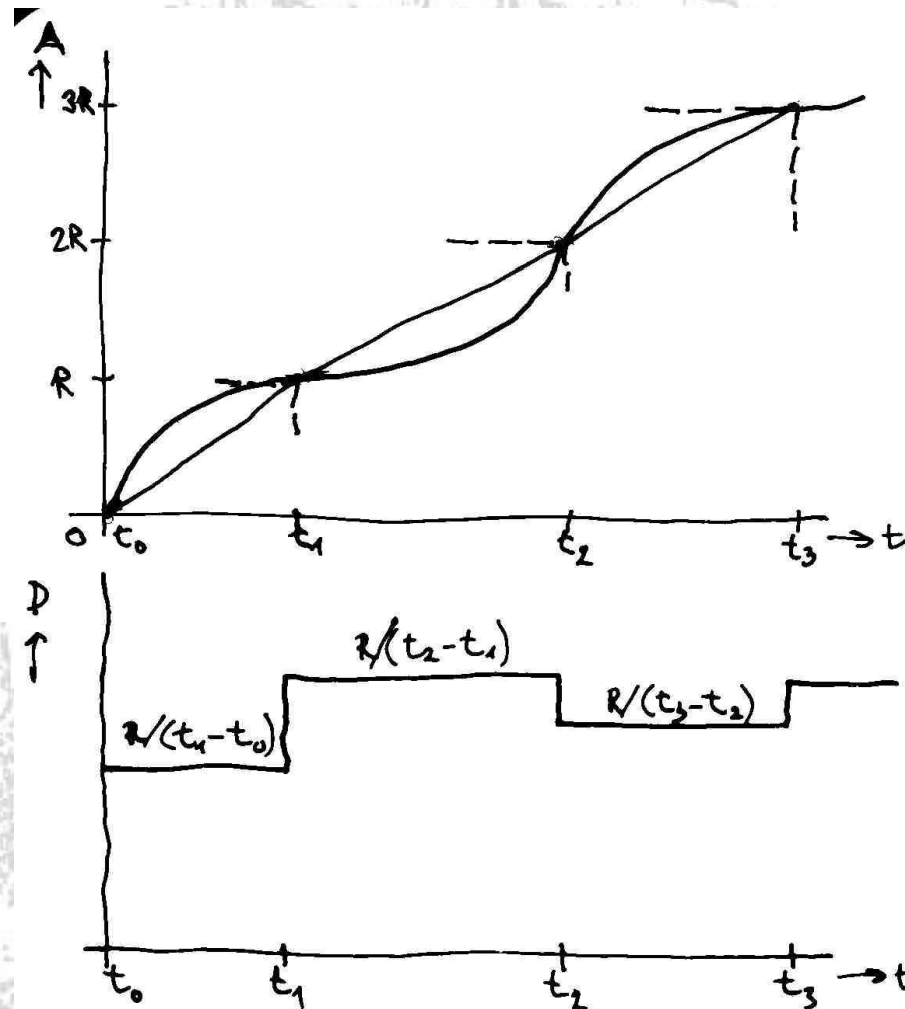
$$|X(f)| = I f_0 \left( 1 + \frac{m_1}{m_0} \delta(f - f_m) \right) + 2 \sum_{k=1}^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \left( 1 + \frac{n f_m}{k f_0} \right) J_n \left( k \frac{f_0 m_1}{f_m m_0} \right) \cdot \delta[f - (k f_0 + n f_m)] = I f_0 + S(f) + C(f)$$



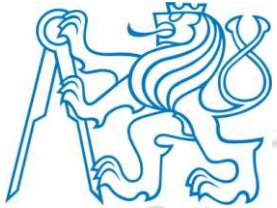
$\Rightarrow$  demodulace  
dolní propusti



# MODEL VARIABILITY ♥ RYTMU

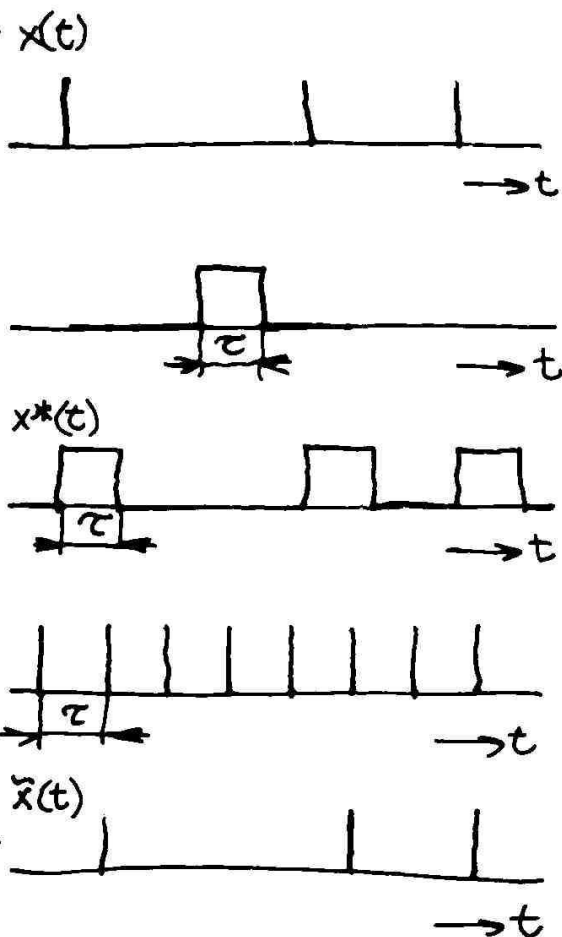




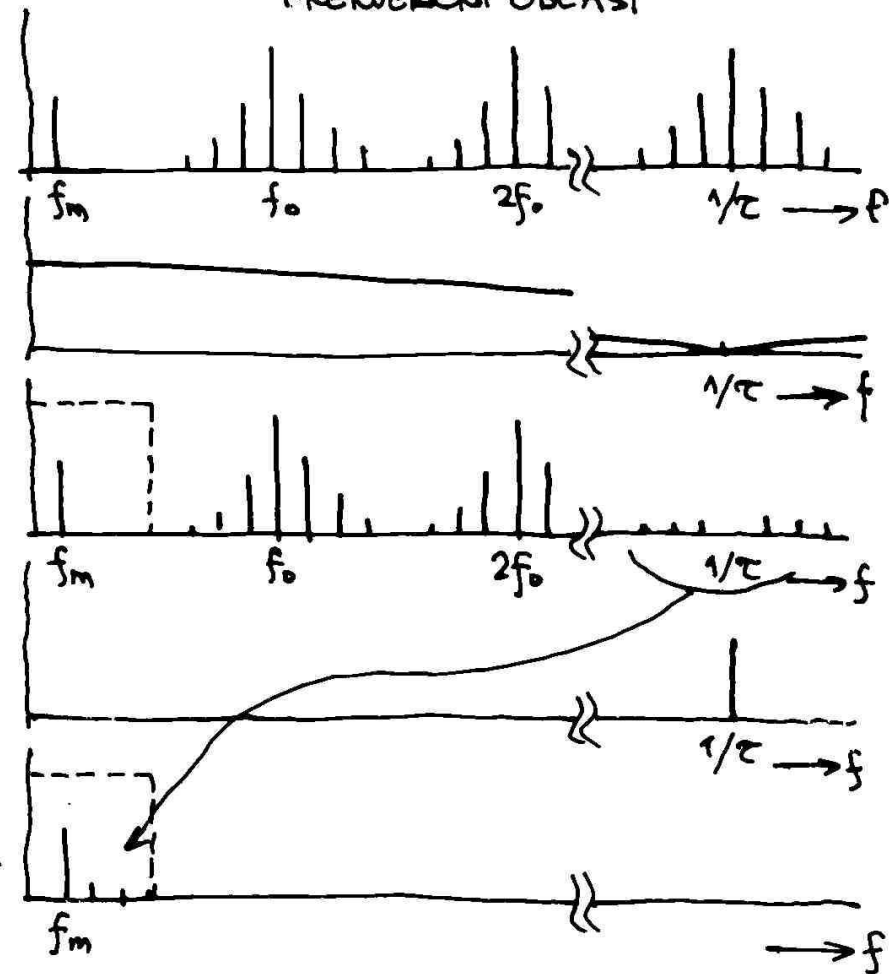


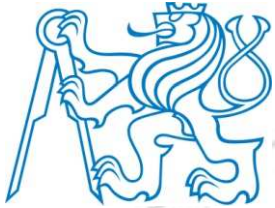
# VZORKOVÁNÍ INTERVALOVÉ FUNKCE

ČASOVÁ OBLAST

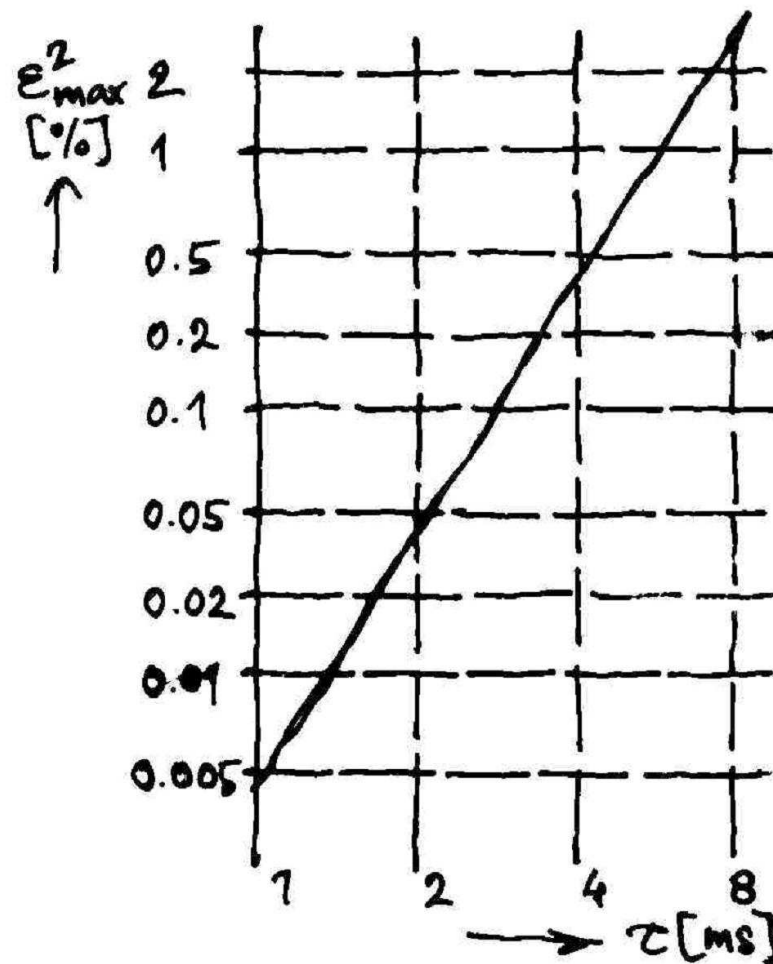


FREKVENČNÍ OBLAST



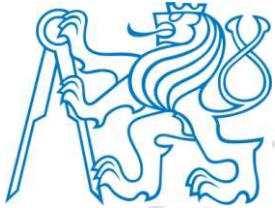


# VZORKOVÁNÍ INTERVALOVÉ FUNKCE





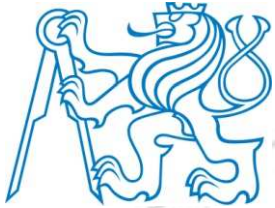




# VÝPOČET SPEKTRA

## řídká diskrétní Fourierova transformace

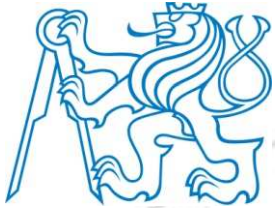
- hodnoty jednotkové intervalové funkce jsou většinou rovny nule;
- není třeba počítat hodnoty všech spektrálních čar, nýbrž pouze v rozsahu zajímavém z hlediska analyzované úlohy;
- protože hodnoty jednotkové intervalové funkce nabývají pouze hodnot 1, nepoužívá se při výpočtu spektra operace násobení;
- hodnoty goniometrických funkcí potřebných pro výpočet lze tabelizovat (?)



# VÝPOČET SPEKTRA

## řídká diskrétní Fourierova transformace

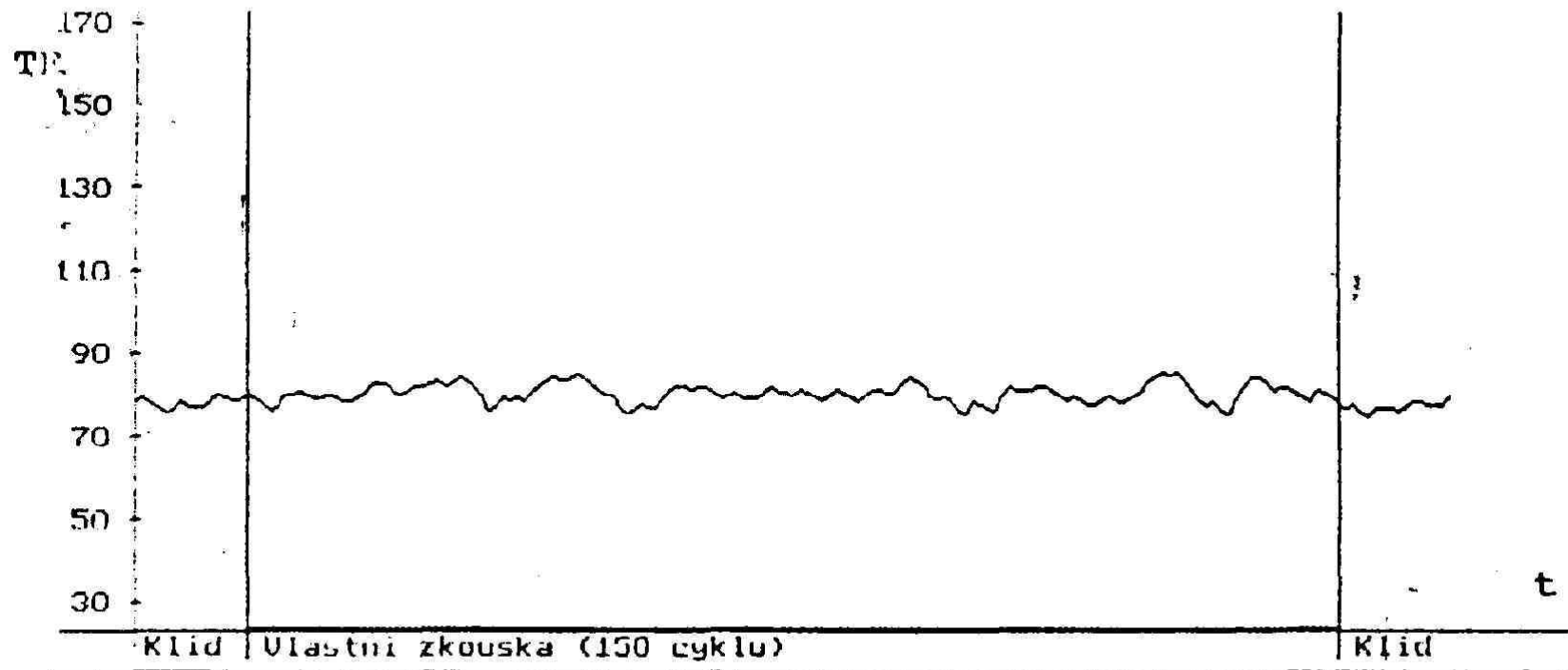
- pracnost 200 s, 1 kHz
  - ŘDFT:  $6,4 \cdot 10^4 \oplus$  a  $6,4 \cdot 10^4$  hledání v tabulkách
  - DFT:  $4 \cdot 10^6$  komplexních  $\oplus$  a  $\otimes$
  - FFT (pro nízký počet vzorků):  $1,76 \cdot 10^6$  komplexních  $\oplus$  a  $\otimes$
  - FFT (tachogram):



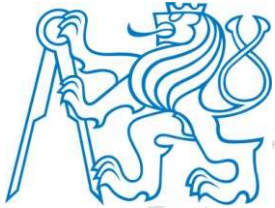
# HRV - experimenty

## KLIDNÉ DÝCHANÍ

Ident. číslo : 1  
Jméno : NOVOTNY Jiri  
Datum mereni : 5.3.1993



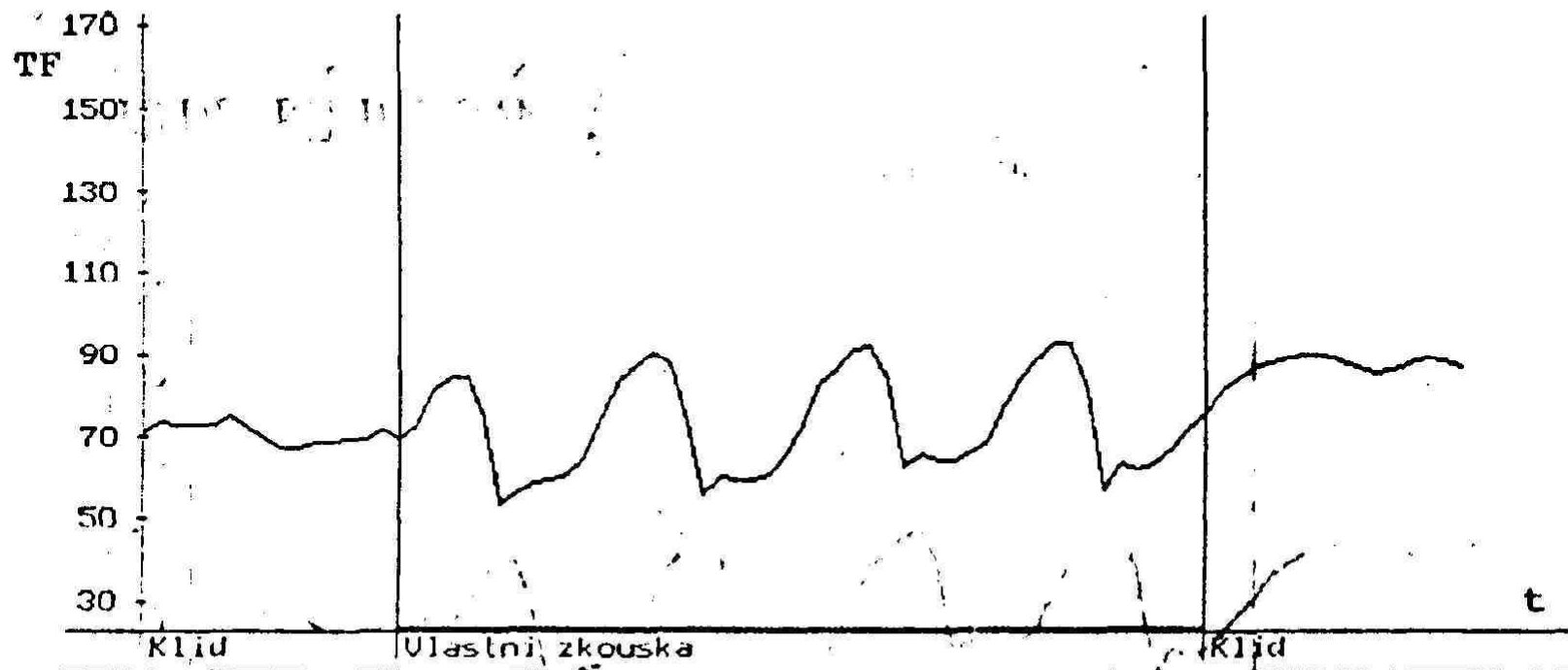
TF <sub>prum</sub> = 80.81	CV <sub>r-r</sub> = 2.74 %	TK pred = nedef.
HU = 742.52 msec	HSSD = 159.73 msec <sup>2</sup>	TK po = nedef.
SD = 20.33 msec		



# HRV - experimenty

SD.  
HLUBOKE BYCHANI (40 s)

Ident. cislo : 1  
Jmeno : NOVOTNY Jiri  
Datum mereni : 5.3.1993



TF<sub>klid</sub> = 71.09

CV<sub>r-r</sub> = 16.11 %

TK pred = nedef.

MU = 844.38 msec

I-E = 32.70 tepu/min

TK po = nedef.

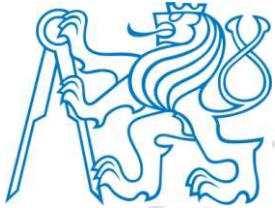
SD = 136.07 msec

I/E = 1.57

MSSD = 9716.16 msec<sup>2</sup>

- I/E: poměr průměrné hodnoty tepové frekvence





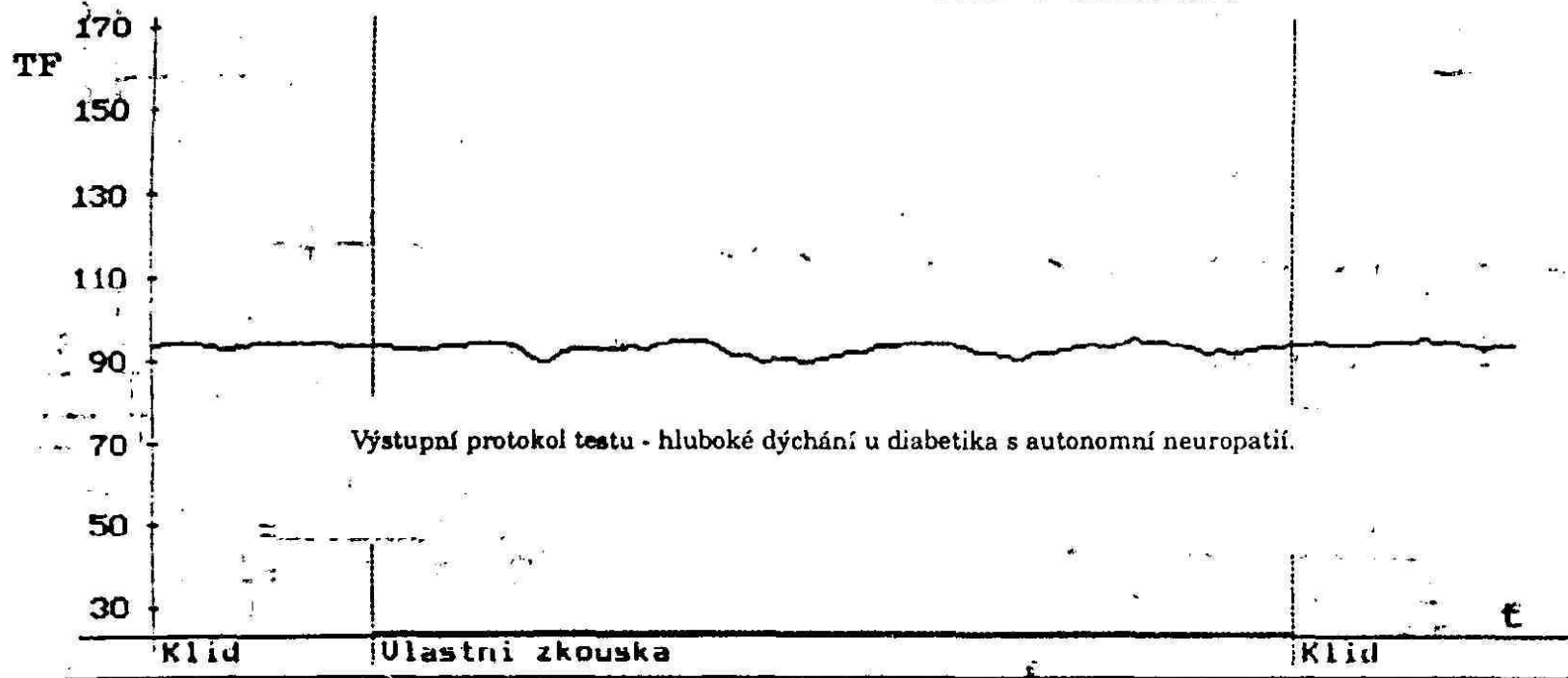
# HRV - experimenty

HLUBOKÉ DYCHANÍ (40 s)

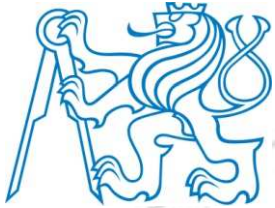
Ident. číslo : 16

Jméno :

Datum měření : 24.3.1993



TF <sub>klid</sub> =	94.37	CU <sub>r-r</sub> =	1.47 %	TK před =	nedef.
MA <sub>T</sub> =	643.05 msec	1-E =	3.89 tepu/min	TK po =	nedef.
SD =	9.45 msec	1/E =	1.04		
MSSD =	37.38 msec <sup>2</sup>				



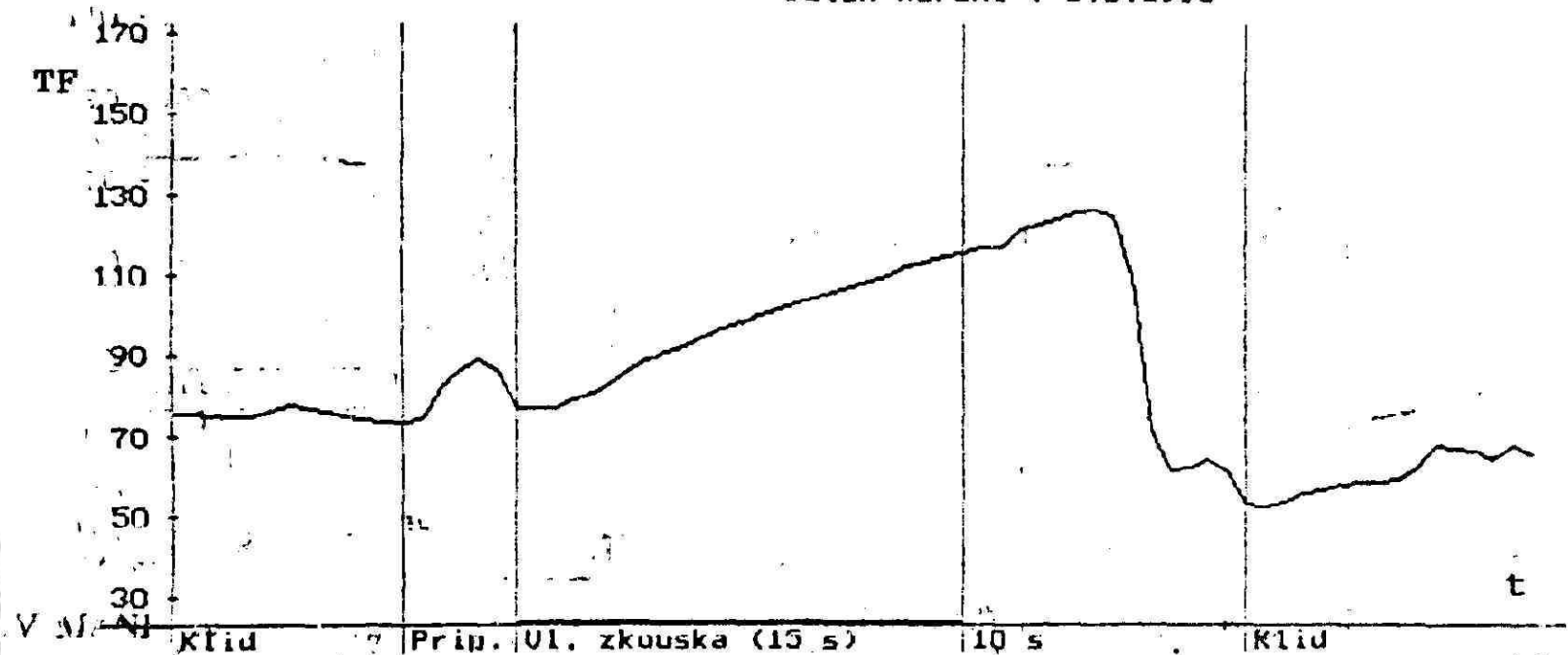
# HRV - experimenty

## VALSALVUV MANEVR

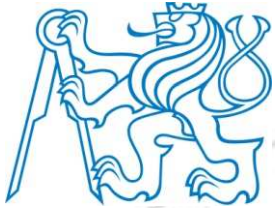
Ident. cislo : 1

Jmeno : NOUDNY Jiri

Datum mereni : 5.3.1993



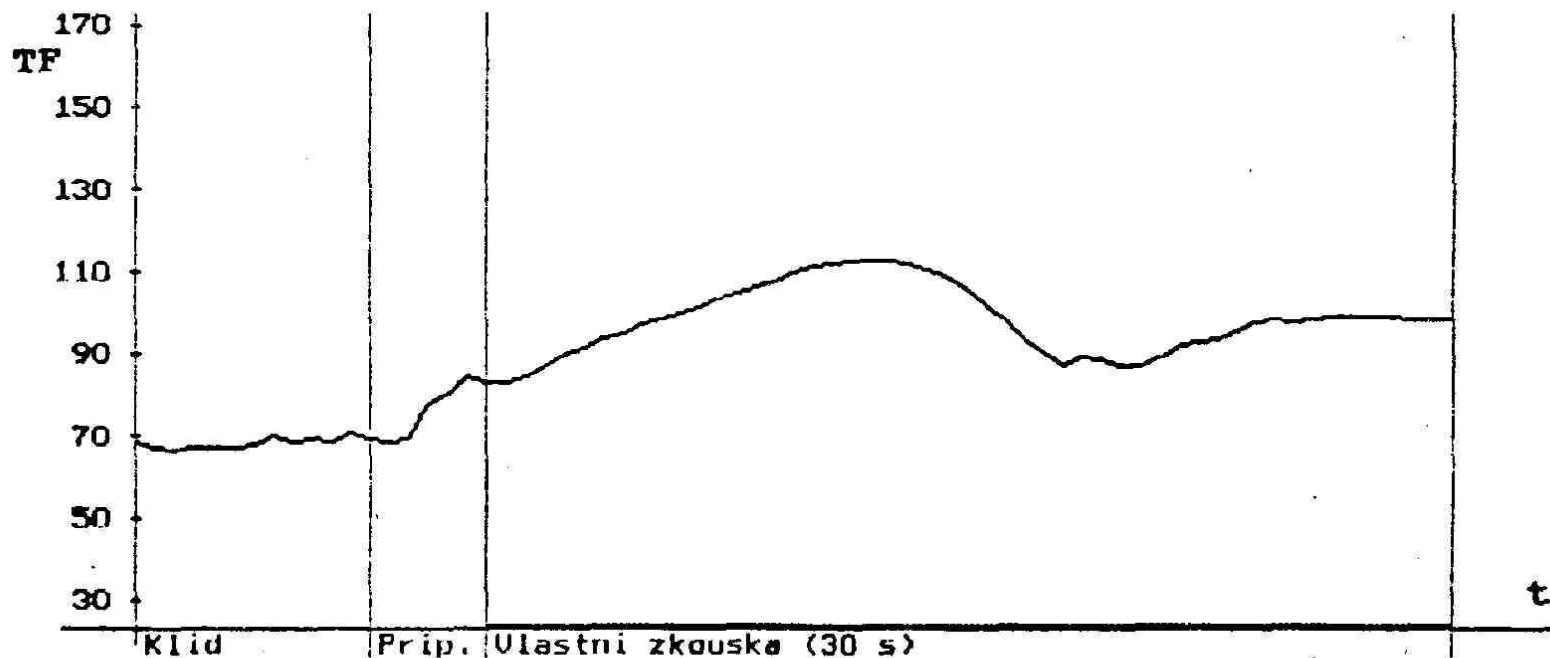
UR	= 2.43	TFklid	= 75.98	TFmax / TFklid	= 1.67
tmax	= 18.75 sec	TFmax	= 126.60	TFmax - TFklid	= 50.62
tmin	= 26.72 sec	TFmin	= 52.15	TFmin / TFklid	= 0.69
TK pred	= nedef.	TK po	= nedef.		p



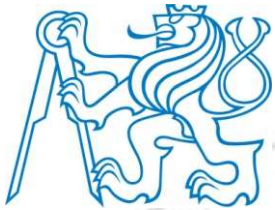
# HRV - experimenty

## ORTOSTATICKÁ ZKOUSKA

Ident. číslo : 1  
Jméno : NOVOTNÝ Jirí  
Datum měření : 5.3.1993



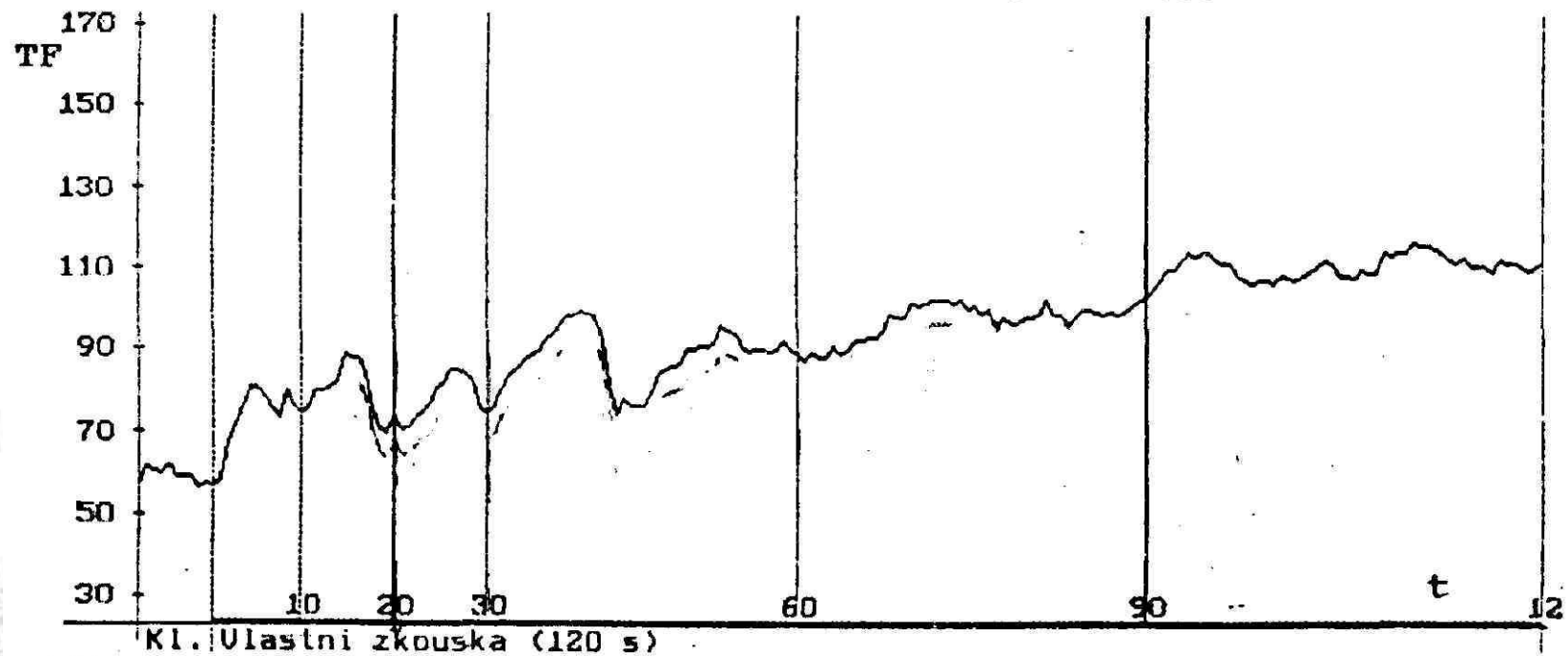
30:15 ratio =	1.24	RR <sub>max</sub> / RR <sub>min</sub> =	1.36	t <sub>max</sub> =	12.61 sec
TF <sub>klid</sub> =	68.65	TF <sub>max</sub> - TF <sub>klid</sub> =	44.38	t <sub>min</sub> =	0.02 sec
TF <sub>max</sub> =	113.04	TF <sub>max</sub> / TF <sub>klid</sub> =	1.65	BI =	23.98 %
TF <sub>min</sub> =	82.98	TF <sub>min</sub> / TF <sub>klid</sub> =	1.21		
		TK pred =	nedef.	TK po =	nedef.



# HRV - experimenty

## STISK RUKY

Ident. cislo : 1  
Jmeno : NOVOHY Jiri  
Datum mereni : 11.3.1993



TF<sub>klid</sub> = 59.81

P<sub>10</sub> = 1.251

P<sub>60</sub> = 1.491

TK pred = nedef.

P<sub>20</sub> = 1.247

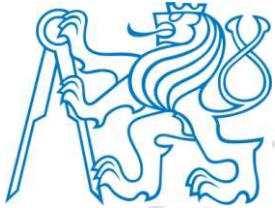
P<sub>90</sub> = 1.728

TK po = nedef.

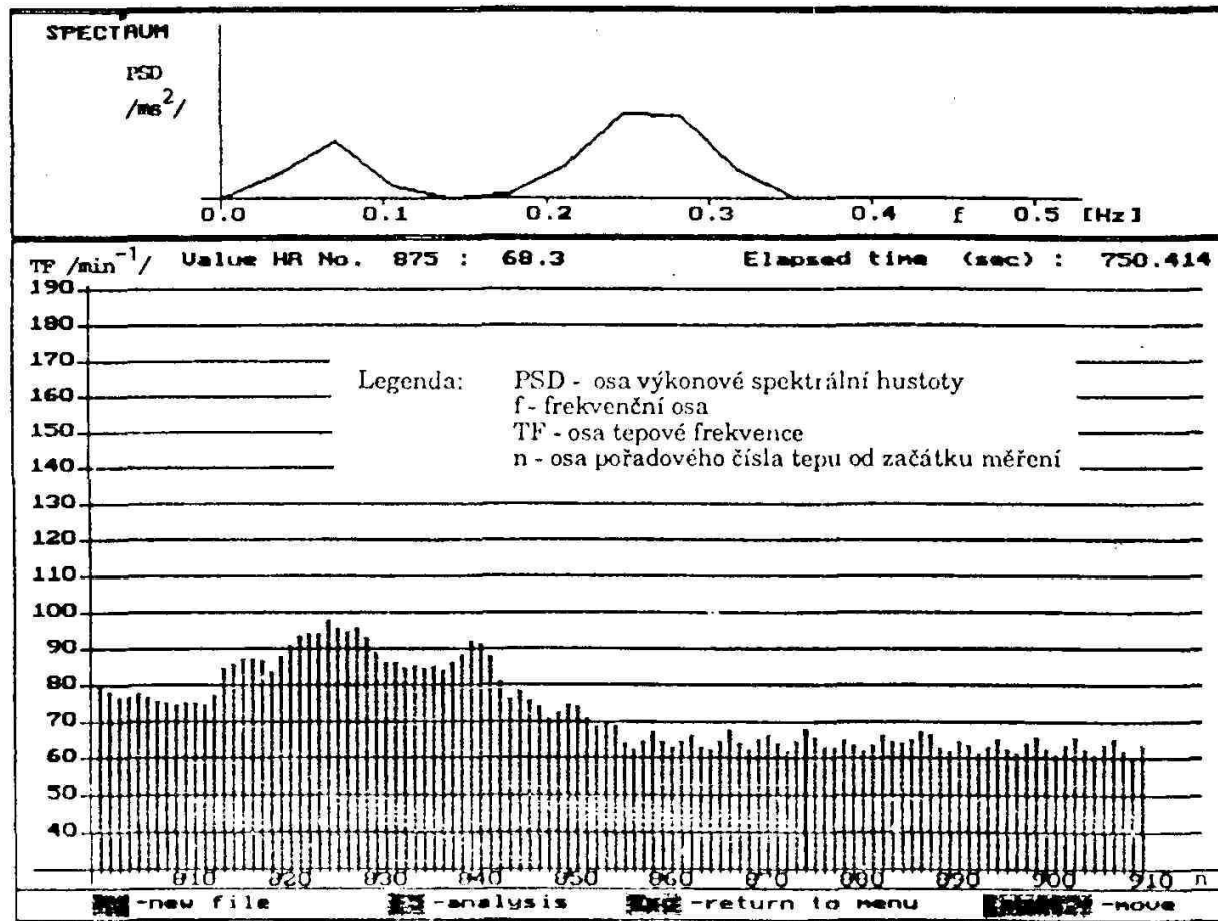
P<sub>30</sub> = 1.253

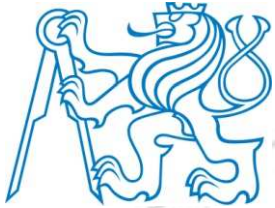
P<sub>120</sub> = 1.864



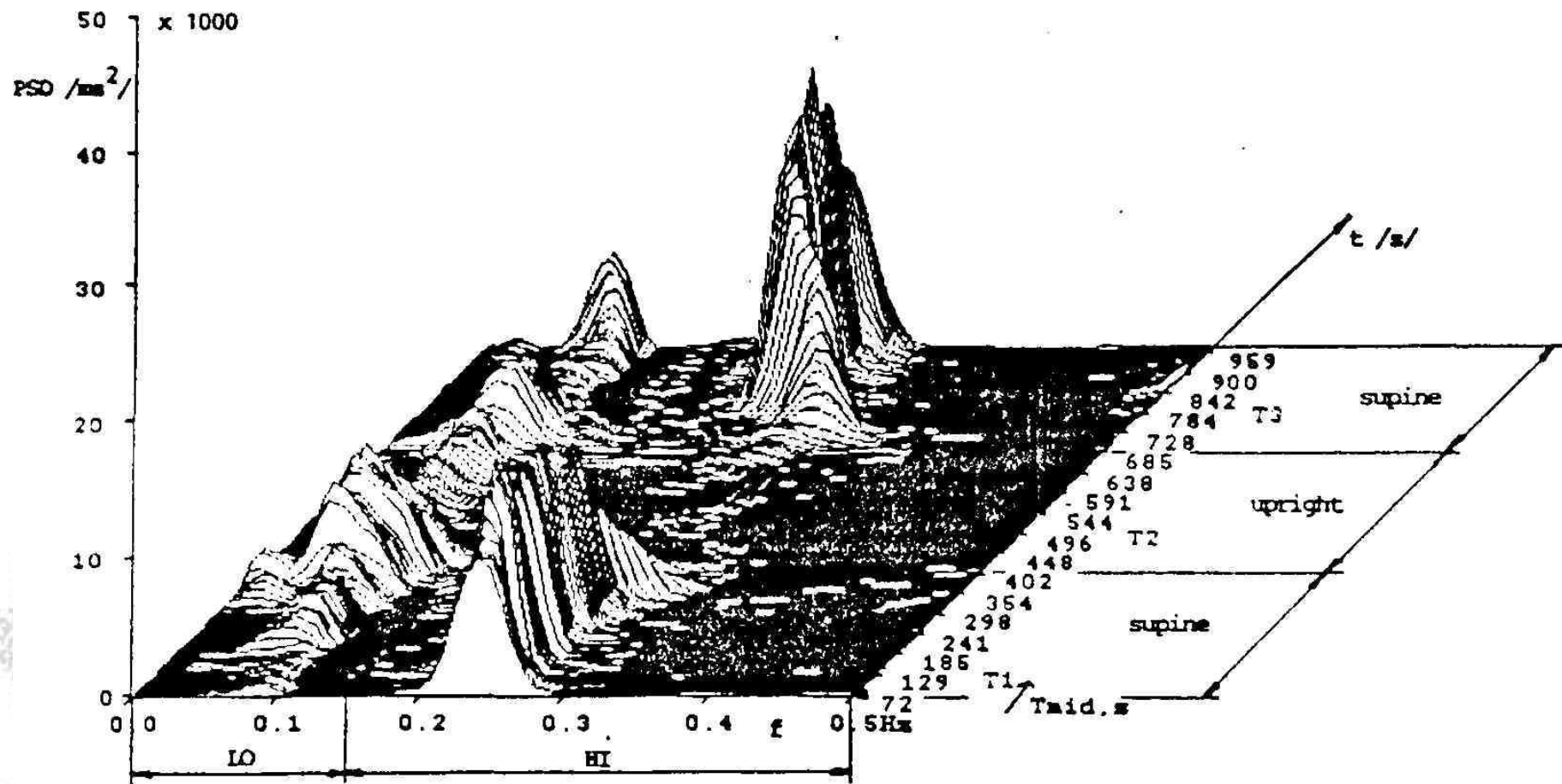


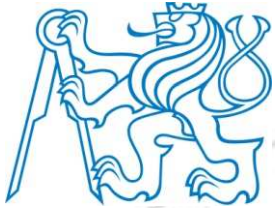
# HRV - experimenty





# HRV - experimenty





# HRV - experimenty

$$\text{AREA LO} = \int_{0,05}^{0,15} \text{PSD } df$$

$$\text{AREA HI} = \int_{0,015}^{0,5} \text{PSD } df$$

AMPLIT LO = maximální hodnota PSD v intervalu LO

AMPLIT HI = maximální hodnota PSD v intervalu HI

FREQ LO = frekvence odpovídající hodnotě AMPLIT LO

FREQ HI = frekvence odpovídající hodnotě AMPLIT HI

$$\text{RAT. LO/HI} = \frac{\text{AREA LO}}{\text{AREA HI}}$$

$$\text{MSSD} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\text{RR}_{i+1} - \text{RR}_i)^2 \quad (3),$$

kde  $n$  je počet R-R intervalů v průběhu měřeného časového úseku a  $\text{RR}_i$  je časový interval odpovídající  $i$ -té tepové periodě.



---

**Za týden nashledanou**

**ÚSTAV BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ • ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**