

VARIABILITA TEPOVÉ FREKVENCE

Dušan Merta

Jizerky, 2011

OBSAH

1 ÚVOD

- Tepová frekvence

2 ANALÝZA VARIABILITY

- Time domain analýza
- Frequency domain
 - Fourierova transformace
- Nelineární metody
 - Mocninná funkce
 - Analýza entropie

3 KLINICKÉ DŮSLEDKY

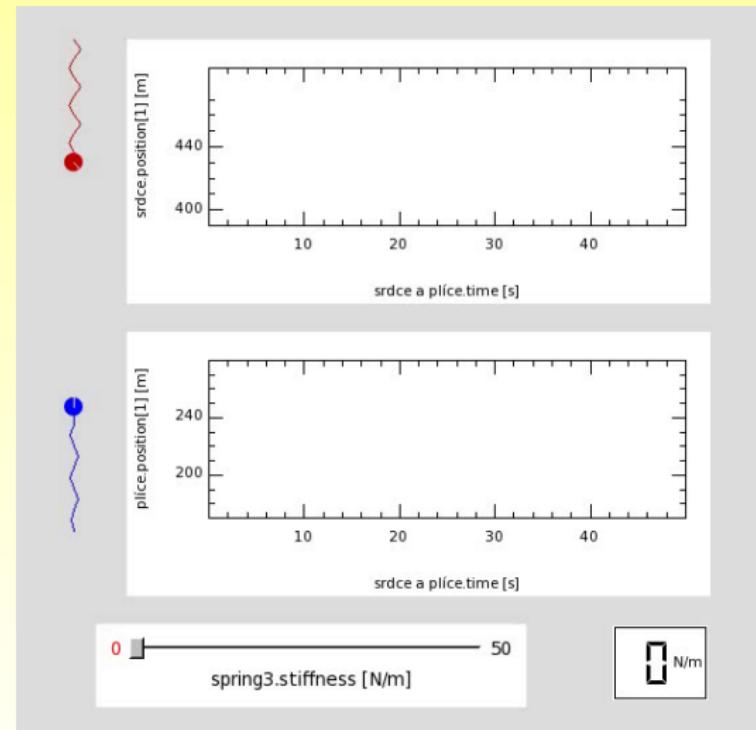
- Studie
- Závěr

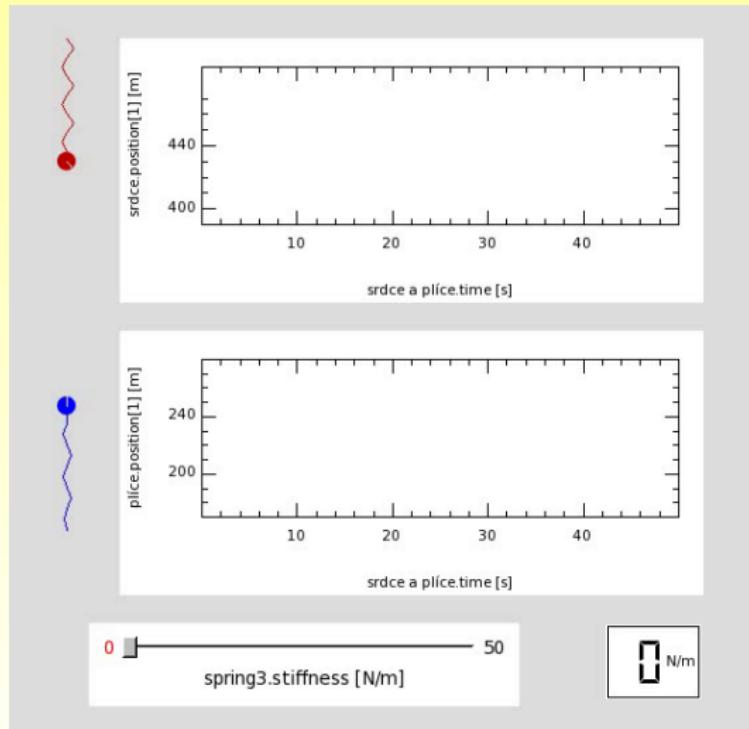
ÚVOD

- komplexní systémy (lidský organizmus) – dynamická síť zpětných vazeb
- Nelze zcela porozumět celku jen pochopením jednotlivých částí!
- homeostáza není statická
 - Život se skládá a je charakterizován cykly, které se ovliňují.
 - MODS – systémové onemocnění
 - dochází k narušení vazeb mezi cykly

ÚVOD

- komplexní systémy (lidský organizmus) – dynamická síť zpětných vazeb
- Nelze zcela porozumět celku jen pochopením jednotlivých částí!
- homeostáza není statická
- Život se skládá a je charakterizován cykly, které se ovliňují.
- MODS – systémové onemocnění
 - dochází k narušení vazeb mezi cykly





TEPOVÁ FREKVENCE

- nejpřístupnější ze všech cyklů
- užitečná informace sama o sobě
 - užitečná je i znalost její variability (zvláště když TF je v normálním rozmezí)

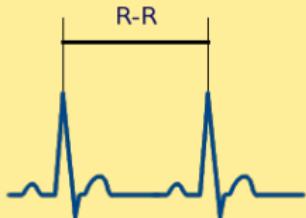
DEFINICE TEPOVÉ FREKVENCE

TEPOVÁ FREKVENCE

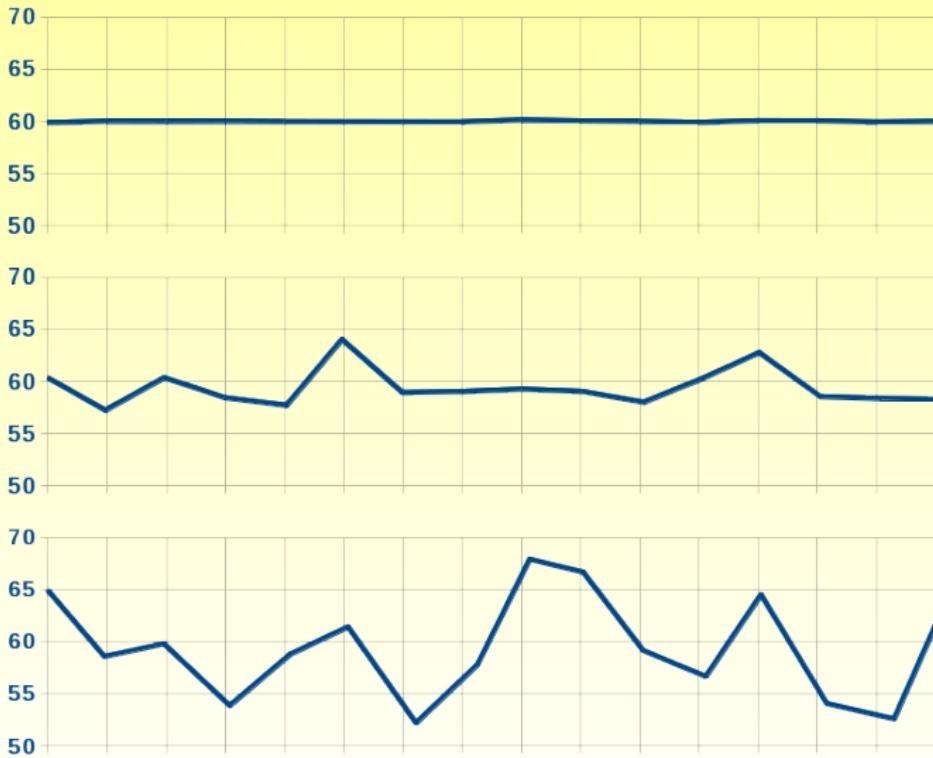


$TF \sim$ počet tepů za minutu

OKAMŽITÁ TEPOVÁ FREKVENCE



$$TF = \frac{1}{R - R [ms]} \cdot 1000 \cdot 60$$



—○—

■●■

■●■

ANALÝZA VARIABILITY

● „vzorkování“ – Shannonův teorém

- „Přesná rekonstrukce spojitého, frekvenčně omezeného, signálu z jeho vzorků je možná tehdy, pokud byl vzorkován frekvencí alespoň dvakrát vyšší, než je maximální frekvence rekonstruovaného signálu.“

● stacionarita

- Statistické charakteristiky (průměr, standardní odchylka, ...) musí být konstantní v celém měřeném intervalu.
- Stacionarita nevylučuje variabilitu!

● artefakty

- Poincarého graf
- ...

● standardizace měření

ANALÝZA VARIABILITY

● „vzorkování“ – Shannonův teorém

- „Přesná rekonstrukce spojitého, frekvenčně omezeného, signálu z jeho vzorků je možná tehdy, pokud byl vzorkován frekvencí alespoň dvakrát vyšší, než je maximální frekvence rekonstruovaného signálu.“

● stacionarita

- Statistické charakteristiky (průměr, standardní odchylka, ...) musí být konstantní v celém měřeném intervalu.
- **Stacionarita nevyulučuje variabilitu!**

● artefakty

- Poincarého graf
- ...

● standardizace měření

ANALÝZA VARIABILITY

• „vzorkování“ – Shannonův teorém

- „Přesná rekonstrukce spojitého, frekvenčně omezeného, signálu z jeho vzorků je možná tehdy, pokud byl vzorkován frekvencí alespoň dvakrát vyšší, než je maximální frekvence rekonstruovaného signálu.“

• stacionarita

- Statistické charakteristiky (průměr, standardní odchylka, ...) musí být konstantní v celém měřeném intervalu.
- Stacionarita nevyulučuje variabilitu!

• artefakty

- Poincarého graf
- ...

• standardizace měření

ANALÝZA VARIABILITY

● „vzorkování“ – Shannonův teorém

- „Přesná rekonstrukce spojitého, frekvenčně omezeného, signálu z jeho vzorků je možná tehdy, pokud byl vzorkován frekvencí alespoň dvakrát vyšší, než je maximální frekvence rekonstruovaného signálu.“

● stacionarita

- Statistické charakteristiky (průměr, standardní odchylka, ...) musí být konstantní v celém měřeném intervalu.
- Stacionarita nevyulučuje variabilitu!

● artefakty

- Poincarého graf
- ...

● standardizace měření

TIME DOMAIN ANALÝZA („časové pásmo“)

- nejjednodušší způsob zpracování
- statistická analýza *beat to beat* záznamu
- standardizované parametry
 - *SDNN* – standardní odchylka délky N-N (R-R) intervalu (standardizace délky intervalu – 5 min, 30 min, 24 hod)
 - *SDANN* – dlouhodobá variabilita, průměrování 5 minut
 - *RMSD*

$$RMSSD = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} \delta_i^2}, \quad \text{kde } \delta_i = [R-R]_{i+1} - [R-R]_i$$

- histogram
- „pohled“ na křivku

TIME DOMAIN ANALÝZA („časové pásmo“)

- nejjednodušší způsob zpracování
- statistická analýza *beat to beat* záznamu
- standardizované parametry
 - *SDNN* – standardní odchylka délky N-N (R-R) intervalu (standardizace délky intervalu – 5 min, 30 min, 24 hod)
 - *SDANN* – dlouhodobá variabilita, průměrování 5 minut
 - *RMSD*

$$RMSSD = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} \delta_i^2}, \quad \text{kde } \delta_i = [R - R]_{i+1} - [R - R]_i$$

- histogram
- „pohled“ na křivku

TIME DOMAIN ANALÝZA („časové pásmo“)

- nejjednodušší způsob zpracování
- statistická analýza *beat to beat* záznamu
- standardizované parametry
 - *SDNN* – standardní odchylka délky N-N (R-R) intervalu (standardizace délky intervalu – 5 min, 30 min, 24 hod)
 - *SDANN* – dlouhodobá variabilita, průměrování 5 minut
 - *RMSD*

$$RMSSD = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} \delta_i^2}, \quad \text{kde } \delta_i = [R - R]_{i+1} - [R - R]_i$$

- histogram
- „pohled“ na křivku

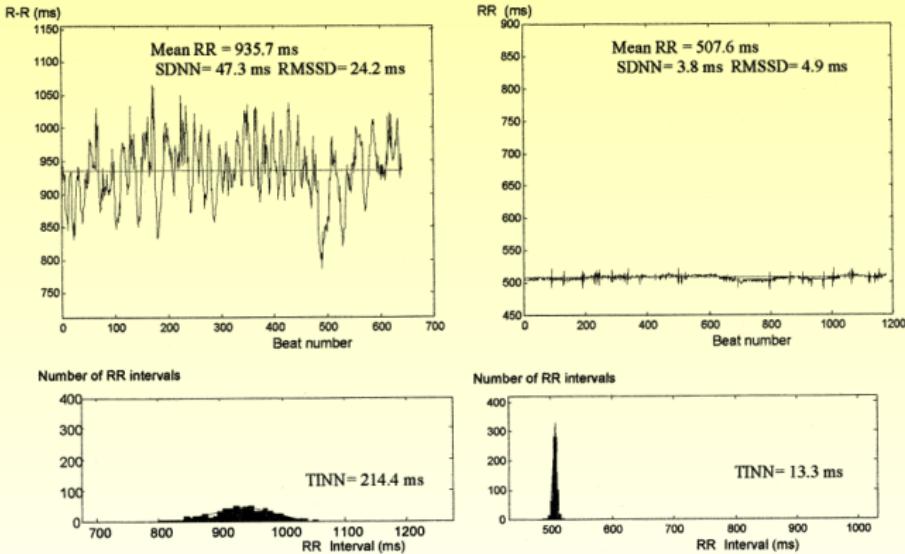
TIME DOMAIN ANALÝZA („časové pásmo“)

- nejjednodušší způsob zpracování
- statistická analýza *beat to beat* záznamu
- standardizované parametry
 - *SDNN* – standardní odchylka délky N-N (R-R) intervalu (standardizace délky intervalu – 5 min, 30 min, 24 hod)
 - *SDANN* – dlouhodobá variabilita, průměrování 5 minut
 - *RMSD*

$$RMSSD = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} \delta_i^2}, \quad \text{kde } \delta_i = [R - R]_{i+1} - [R - R]_i$$

- histogram
- „pohled“ na křivku

TIME DOMAIN ANALÝZA („časové pásmo“)



PONET J., CONTRERAS P., CURBELO A. ET AL.: *Heart Rate Variability as Early Marker of Multiple Organ Dysfunction Syndrome in Septic Patients*

FREQUENCY DOMAIN ANALÝZA („*kmitočtové pásmo*“)

DISKRÉTNÍ FOURIEROVA TRANSFORMACE

DISKRÉTNÍ FOURIEROVA TRANSFORMACE

$$F_k = \sum_{i=-\infty}^{\infty} f_i e^{-i2\pi k_i T_1}$$

- vyjádření funkce pomocí součtu řady periodických funkcí
- ($e^{ix} = \cos x + i \sin x$)

FREQUENCY DOMAIN ANALÝZA („*kmitočtové pásmo*“)

DISKRÉTNÍ FOURIEROVA TRANSFORMACE

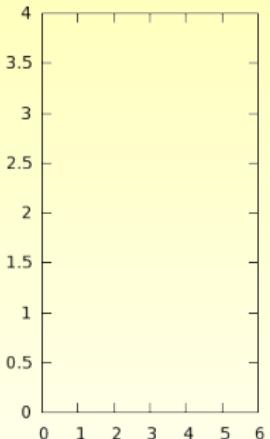
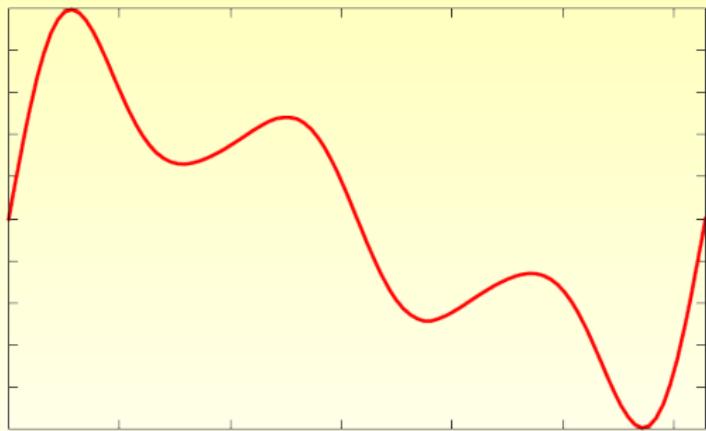
DISKRÉTNÍ FOURIEROVA TRANSFORMACE

$$F_k = \sum_{i=-\infty}^{\infty} f_i e^{-i2\pi k_i T_1}$$

- vyjádření funkce pomocí součtu řady periodických funkcí
- ($e^{ix} = \cos x + i \sin x$)

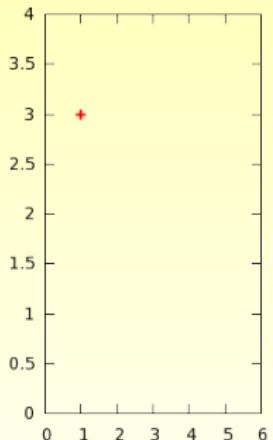
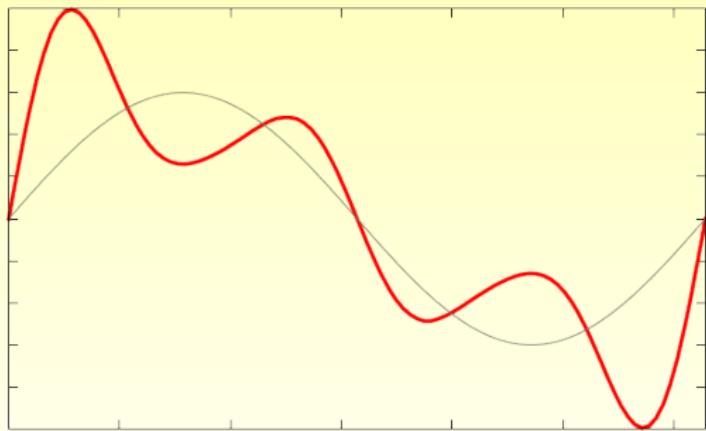
FREQUENCY DOMAIN ANALÝZA („*kmitočtové pásmo*“)

DISKRÉTNÍ FOURIEROVA TRANSFORMACE

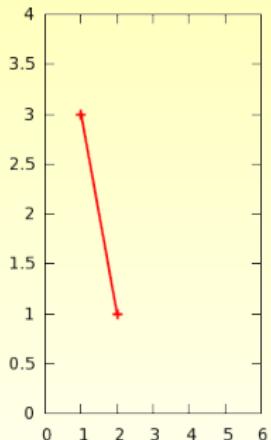
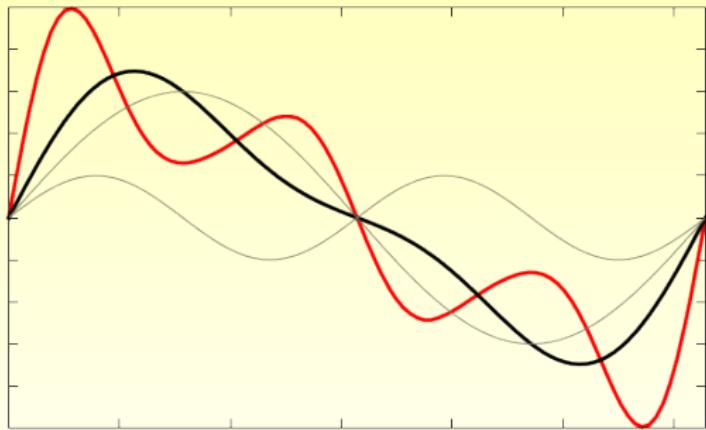


FREQUENCY DOMAIN ANALÝZA („*kmitočtové pásmo*“)

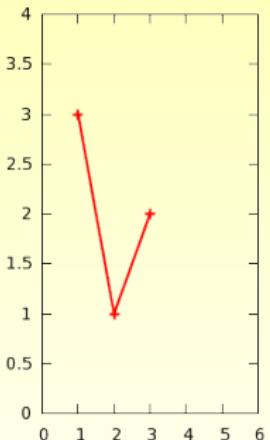
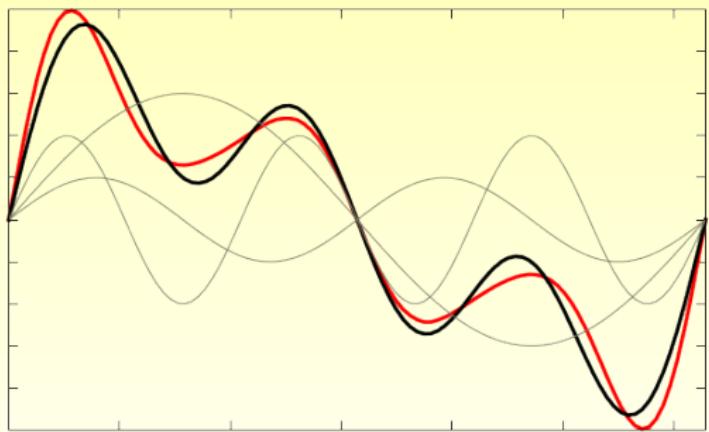
DISKRÉTNÍ FOURIEROVA TRANSFORMACE



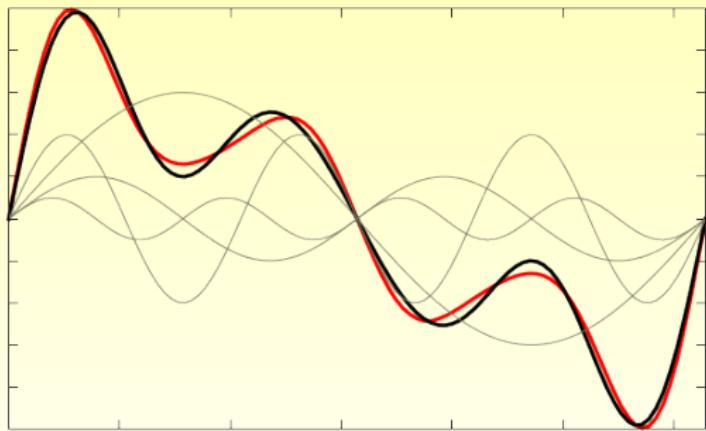
FREQUENCY DOMAIN ANALÝZA („*kmitočtové pásmo*“) DISKRÉTNÍ FOURIEROVA TRANSFORMACE



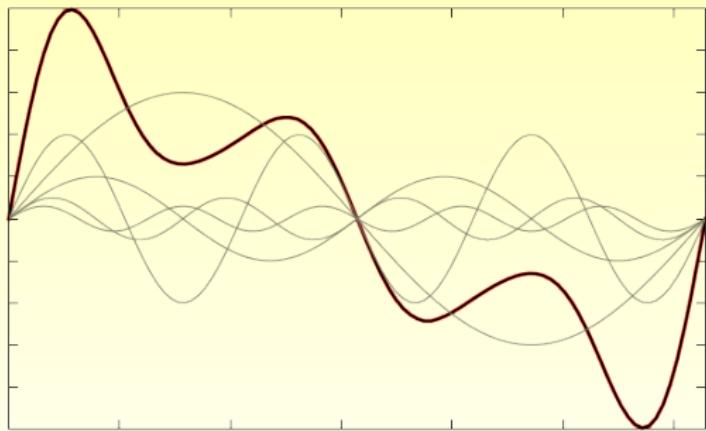
FREQUENCY DOMAIN ANALÝZA („*kmitočtové pásmo*“) DISKRÉTNÍ FOURIEROVA TRANSFORMACE



FREQUENCY DOMAIN ANALÝZA („*kmitočtové pásmo*“) DISKRÉTNÍ FOURIEROVA TRANSFORMACE



FREQUENCY DOMAIN ANALÝZA („*kmitočtové pásmo*“) DISKRÉTNÍ FOURIEROVA TRANSFORMACE

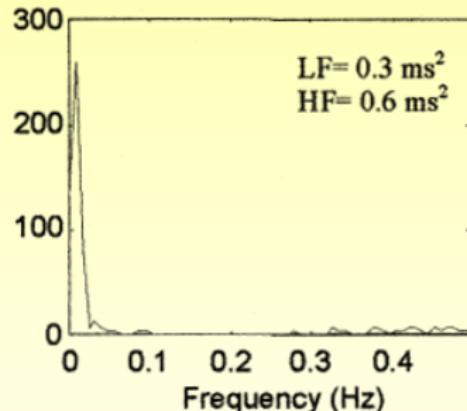
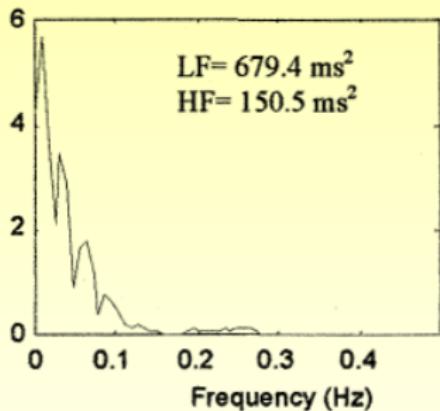


FREQUENCY DOMAIN ANALÝZA („*kmitočtové pásmo*“) DISKRÉTNÍ FOURIEROVA TRANSFORMACE



JEAN BAPTISTE JOSEPH FOURIER
1768 – 1830

FREQUENCY DOMAIN ANALÝZA („kmitočtové pásmo“)



PONTET J., CONTRERAS P., CURBELO A. ET AL.: *Heart Rate Variability as Early Marker of Multiple Organ Dysfunction Syndrome in Septic Patients*

FREQUENCY DOMAIN ANALÝZA („*kmitočtové pásmo*“)

- spektrální analýza

- 3 typické peaky

- *VLF* : $\leq 0,04 \text{ Hz}$ ($\sim 25 \text{ s}$)
- *LF* : $0,04 – 0,15 \text{ Hz}$ ($\sim 6 \text{ s}$)
- *HF* : $0,15 – 0,4 \text{ Hz}$ ($\sim 2,5 \text{ s}$)
- *ULF* : $\leq 0,003 \text{ Hz}$ ($\sim 5 \text{ hod}$) (při 24 h záznamu)

- vliv sympatiku, parasympatiku a ventilace
- zatím ne zcela standardizované intervaly
- možno zkoumat časový vývoj spektra
- *AUC* \sim *SDNN*

FREQUENCY DOMAIN ANALÝZA („*kmitočtové pásmo*“)

- spektrální analýza
- **3 typické peaky**
 - *VLF* : $\leq 0,04 \text{ Hz}$ ($\sim 25 \text{ s}$)
 - *LF* : $0,04 - 0,15 \text{ Hz}$ ($\sim 6 \text{ s}$)
 - *HF* : $0,15 - 0,4 \text{ Hz}$ ($\sim 2,5 \text{ s}$)
 - *ULF* : $\leq 0,003 \text{ Hz}$ ($\sim 5 \text{ hod}$) (při 24 h záznamu)
- vliv sympatiku, parasympatiku a ventilace
- zatím ne zcela standardizované intervaly
- možno zkoumat časový vývoj spektra
- *AUC* \sim *SDNN*

FREQUENCY DOMAIN ANALÝZA („*kmitočtové pásmo*“)

- spektrální analýza
- **3 typické peaky**
 - *VLF* : $\leq 0,04 \text{ Hz}$ ($\sim 25 \text{ s}$)
 - *LF* : $0,04 - 0,15 \text{ Hz}$ ($\sim 6 \text{ s}$)
 - *HF* : $0,15 - 0,4 \text{ Hz}$ ($\sim 2,5 \text{ s}$)
 - *ULF* : $\leq 0,003 \text{ Hz}$ ($\sim 5 \text{ hod}$) (při 24 h záznamu)
- vliv sympatiku, parasympatiku a ventilace
- zatím ne zcela standardizované intervaly
- možno zkoumat časový vývoj spektra
- *AUC* \sim *SDNN*

FREQUENCY DOMAIN ANALÝZA („*kmitočtové pásmo*“)

- spektrální analýza
- **3 typické peaky**
 - *VLF* : $\leq 0,04 \text{ Hz}$ ($\sim 25 \text{ s}$)
 - *LF* : $0,04 - 0,15 \text{ Hz}$ ($\sim 6 \text{ s}$)
 - *HF* : $0,15 - 0,4 \text{ Hz}$ ($\sim 2,5 \text{ s}$)
 - *ULF* : $\leq 0,003 \text{ Hz}$ ($\sim 5 \text{ hod}$) (při 24 h záznamu)
- vliv sympatiku, parasympatiku a ventilace
- zatím ne zcela standardizované intervaly
- možno zkoumat časový vývoj spektra
- *AUC* \sim *SDNN*

FREQUENCY DOMAIN ANALÝZA („*kmitočtové pásmo*“)

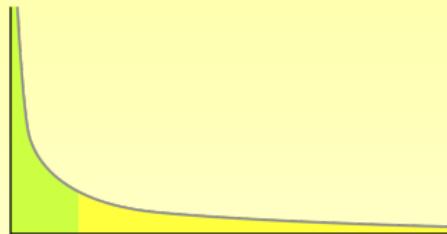
- spektrální analýza
- **3 typické peaky**
 - *VLF* : $\leq 0,04 \text{ Hz}$ ($\sim 25 \text{ s}$)
 - *LF* : $0,04 - 0,15 \text{ Hz}$ ($\sim 6 \text{ s}$)
 - *HF* : $0,15 - 0,4 \text{ Hz}$ ($\sim 2,5 \text{ s}$)
 - *ULF* : $\leq 0,003 \text{ Hz}$ ($\sim 5 \text{ hod}$) (při 24 h záznamu)
- vliv sympatiku, parasympatiku a ventilace
- zatím ne zcela standardizované intervaly
- možno zkoumat časový vývoj spektra
- *AUC* \sim *SDNN*

MOCNINNÁ FUNKCE (*power law*)

$$f(x) = x^a$$



$$\log f(x) = a \cdot \log x$$



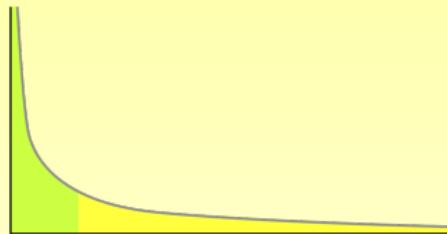
- popisuje dynamiku rozličných systémů
 - laviny
 - sluneční erupce
 - 3. Keplerův zákon
 - zemětřesení
- vychází ze spektrální analýzy
- „mnoho malých variací, méně větších a ještě méně největších“
- zůstává v platnosti při změně měřítka

MOCNINNÁ FUNKCE (*power law*)

$$f(x) = x^a$$



$$\log f(x) = a \cdot \log x$$



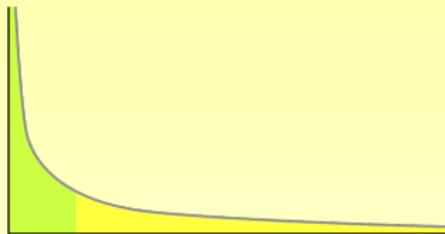
- popisuje dynamiku rozličných systémů
 - laviny
 - sluneční erupce
 - 3. Keplerův zákon
 - zemětřesení
- vychází ze spektrální analýzy
- „mnoho malých variací, méně větších a ještě méně největších“
- zůstává v platnosti při změně měřítka

MOCNINNÁ FUNKCE (*power law*)

$$f(x) = x^a$$



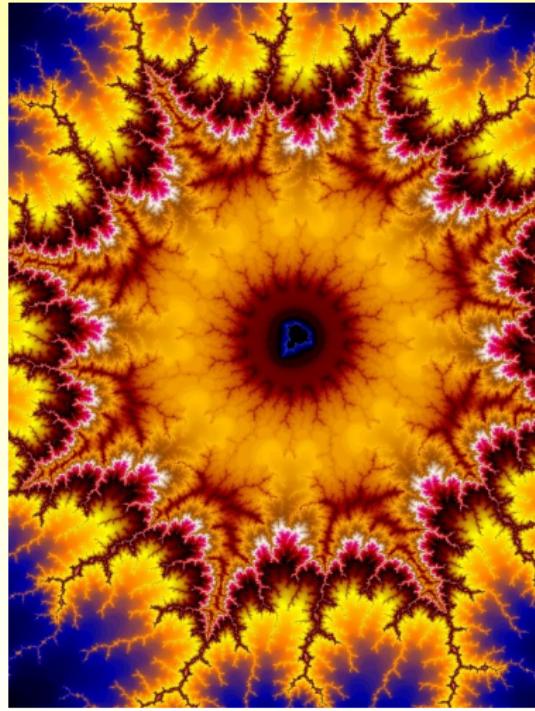
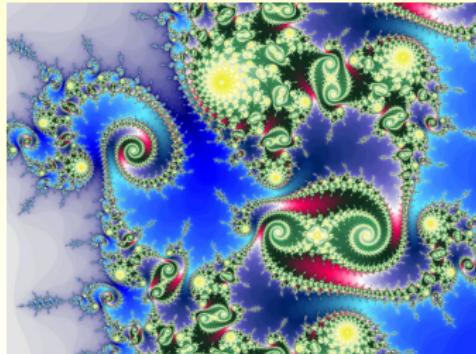
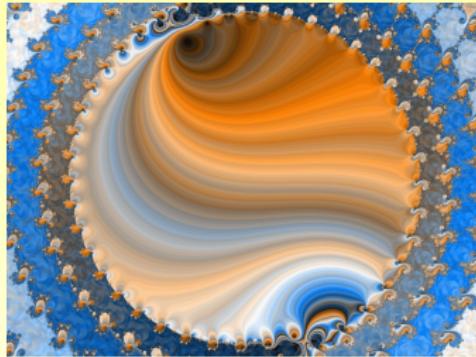
$$\log f(x) = a \cdot \log x$$



- popisuje dynamiku rozličných systémů
 - laviny
 - sluneční erupce
 - 3. Keplerův zákon
 - zemětřesení
- vychází ze spektrální analýzy
- „mnoho malých variací, méně větších a ještě méně největších“
- zůstává v platnosti při změně měřítka

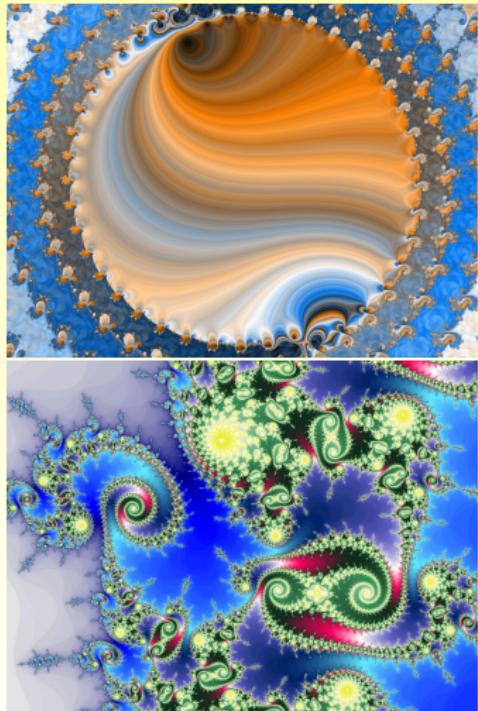
MOCNINNÁ FUNKCE

FRAKTÁLY



MOCNINNÁ FUNKCE

FRAKTÁLY



BENOÎT MANDELBROT
1924 – 2010

ANALÝZA ENTROPIE

ENTROPIE

Míra neuspořádanosti systému.

- podle **2. termodynamické věty** v uzavřeném systému vždy roste („*Teplo nemůže při styku dvou těles různých teplot samovolně přecházet z tělesa chladnějšího na těleso teplejší.*“)
- systém přechází ze statisticky nepravděpodobných stavů do statisticky pravděpodobnějších
- „přibližná“ entropie – *ApEn*
 - hledání pravděpodobnosti výskytu opakujících se vzorců v datové řadě
 - *ApEn* je rozdíl logaritmů pravděpodobnosti opakování vzorku délky m a $m + 1$
 - náhodnost (\sim komplexita) klesá při patologických stavech

ANALÝZA ENTROPIE

ENTROPIE

Míra neuspořádanosti neurčitosti (náhodnosti) systému.

- podle **2. termodynamické věty** v uzavřeném systému vždy roste („*Teplo nemůže při styku dvou těles různých teplot samovolně přecházet z tělesa chladnějšího na těleso teplejší.*“)
- systém přechází ze statisticky nepravděpodobných stavů do statisticky pravděpodobnějších
- „přibližná“ entropie – *ApEn*
 - hledání pravděpodobnosti výskytu opakujících se vzorců v datové řadě
 - *ApEn* je rozdíl logaritmů pravděpodobnosti opakování vzorku délky m a $m + 1$
 - náhodnost (\sim komplexita) klesá při patologických stavech

ANALÝZA ENTROPIE

ENTROPIE

Míra neuspořádanosti neurčitosti (náhodnosti) systému.

- podle **2. termodynamické věty** v uzavřeném systému vždy roste („*Teplo nemůže při styku dvou těles různých teplot samovolně přecházet z tělesa chladnějšího na těleso teplejší.*“)
- systém přechází ze statisticky nepravděpodobných stavů do statisticky pravděpodobnějších
- „přibližná“ entropie – *ApEn*
 - hledání pravděpodobnosti výskytu opakujících se vzorců v datové řadě
 - *ApEn* je rozdíl logaritmů pravděpodobnosti opakování vzorku délky m a $m + 1$
 - náhodnost (\sim komplexita) klesá při patologických stavech

KLINICKÉ SOUVISLOSTI

Heart Rate Variability as Early Marker of Multiple Organ Dysfunction Syndrome in Septic Patients

Julio Pontet, Paola Contreras, Andrea Curbelo, Julio Medina, Sylvia Noveri, Solveig Bentancourt,
and Eduardo R. Migliaro

Am J Physiol Gastrointest Liver Physiol 296: G330–G338, 2009.
First published November 20, 2008; doi:10.1152/ajpgi.90488.2008.

Decreased heart rate variability in patients with cirrhosis relates
to the presence and degree of hepatic encephalopathy

Ali R. Mani,^{1*} Sara Montagnese,^{1*} Clive D. Jackson,² Christopher W. Jenkins,¹ Ian M. Head,¹
Robert C. Stephens,³ Kevin P. Moore,¹ and Marsha Y. Morgan¹

¹Centre for Hepatology, Royal Free Campus, University College London Medical School, University College London;

²Department of Neurophysiology, Royal Free Hospital, Royal Free Hampstead National Health Service Trust, Hampstead, London; and ³Critical Care Group, Portex Unit, Institute of Child Health, University College London Medical School, University College London, London, United Kingdom

Submitted 10 August 2008; accepted in final form 18 November 2008

ZÁVĚR

Tepová frekvence má kromě absolutní hodnoty i **variabilitu.**

Variabilita je dobrá!!!

ZÁVĚR

Tepová frekvence má kromě absolutní hodnoty i **variabilitu**.

Variabilita je dobrá!!!



LUKA 10

LITERATURA

-  Seely A. J. E., Macklem P. T.
Complex systems and the technology of variability analysis
Critical Care 2004, 8:R367-R384 (DOI 10.1186/cc2948)
-  Pontet J., Contreras P., Curbelo A. et al.
Heart Rate Variability as Early Marker of Multiple Organ Dysfunction Syndrome in Septic Patients
Journal of Critical Care, Vol 18, No 3 (September), 2003: pp 156-163
-  Godin P. J., Buchman T. G.
Uncoupling of biological oscillators: A complementary hypothesis concerning the pathogenesis of multiple organ dysfunction syndrome
Critical Care Medicine Vol 24(7), July 1996, pp 1107-1116
-  Rektorys K.
Přehled užité matematiky



Thanks, Wikipedia.

LATEX 2_E