

Testowanie modeli matematycznych i generatorów szeregów RR przy pomocy rozkładu serii

Jarosław Piskorski  
Instytut Fizyki, Uniwersytet Zielonogórski

Gdańsk 27.09.2013

Podstawy Serce

1 / 78

Układ elektryczny serca

www.blaufuss.org

Podstawy Serce

2 / 78

EKG

Podstawy Serce

3 / 78

EKG

Podstawy Serce

4 / 78

Szereg odstępów RR

Podstawy Odstęp RR

5 / 78

PVC

Podstawy Odstęp RR

6 / 78

HRV

HRV - Heart Rate Variability: znaczenie jest intuicyjne

Wysoka zmienność

Niska zmienność

VARIABILITY: jak bardzo indywidualne dane różnią się od średniej

Podstawy Odstęp RR

7 / 78

HRV

House MD, season 7, episode 23

... we're testing a theory, it's based on some stuff you can't understand, like RR variability, and some stuff you can, like the fact she shaved her head in an art piece four months ago ...

Podstawy Odstęp RR

8 / 78

Podstawy Odstęp RR

Metody oparte na zmienności

- wariancja szeregu ( $SDNN^2$ )
- analiza wykresu Poincaré ( $SD1^2, SD2^2$ )
- metody spektralne HF, LF, VLF, ULF
- falki itd.

Metody oparte na złożoności

- entropia przybliżona i entropia z próby
- dynamika symboliczna
- metody fraktalne

Metody specjalistyczne: HRT, PRSA, DFA oraz metody badania struktury asymetrii rytmu serca (HRA Heart Rate Asymmetry -  $SD1_a^2, SD2_a^2, SD1_a^2, SD2_a^2$ ).

Jarosław Piśkorski (Gdańsk 27.09.2013) Testowanie modeli matematycznych i generat. 9 / 78

Wykres Poincaré Definicja

### Wykres Poincaré

Zdefiniujmy szereg odstępów  $RR$  jako wektor

$$RR = (RR_1, RR_2, \dots, RR_n).$$

i zdefiniujmy następujące wektory pomocnicze:

$$RR_{n-1} = \{RR_1, RR_2, \dots, RR_{n-1}\}$$

$$RR_n = \{RR_2, RR_3, \dots, RR_n\},$$

Jarosław Piśkorski (Gdańsk 27.09.2013) Testowanie modeli matematycznych i generat. 10 / 78

Wykres Poincaré Filtrowanie

### Wykres Poincaré – filtrowanie

Jarosław Piśkorski (Gdańsk 27.09.2013) Testowanie modeli matematycznych i generat. 11 / 78

Wykres Poincaré Filtrowanie

### Wykres Poincaré – filtrowanie

Jarosław Piśkorski (Gdańsk 27.09.2013) Testowanie modeli matematycznych i generat. 12 / 78

Wykres Poincaré Filtrowanie

### Wykres Poincaré – filtrowanie

Jarosław Piśkorski (Gdańsk 27.09.2013) Testowanie modeli matematycznych i generat. 13 / 78

Wykres Poincaré Wykres Poincaré – deskrytory

### Wykres Poincaré – konstrukcja

Jarosław Piśkorski (Gdańsk 27.09.2013) Testowanie modeli matematycznych i generat. 14 / 78

Wykres Poincaré Wykres Poincaré – deskrytory

### Wykres Poincaré – konstrukcja

Jarosław Piśkorski (Gdańsk 27.09.2013) Testowanie modeli matematycznych i generat. 15 / 78

Wykres Poincaré Wykres Poincaré – deskrytory

### Wykres Poincaré – deskrytory

$$\overline{RR} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n RR_i$$

$$SDNN^2 \equiv Var(RR)$$

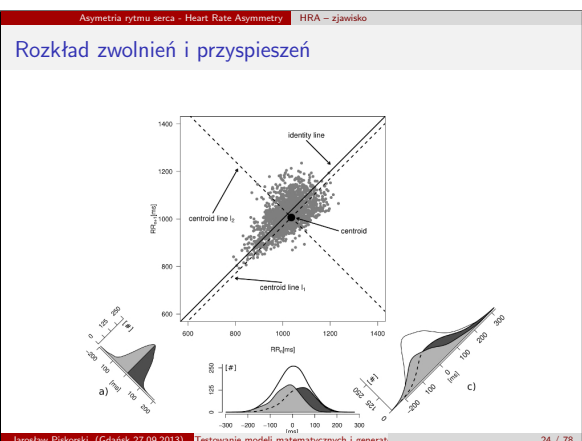
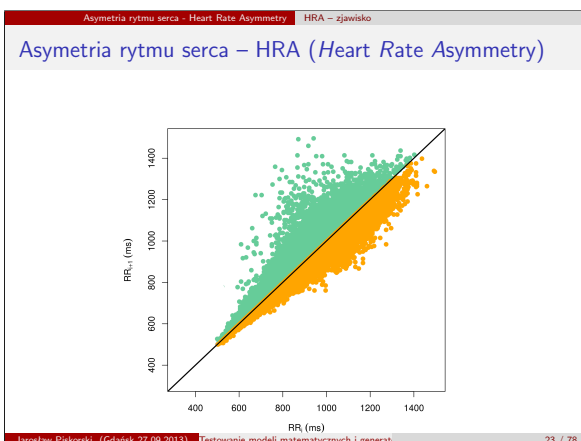
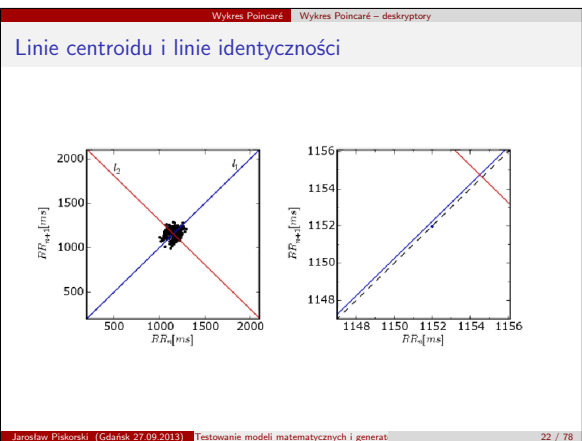
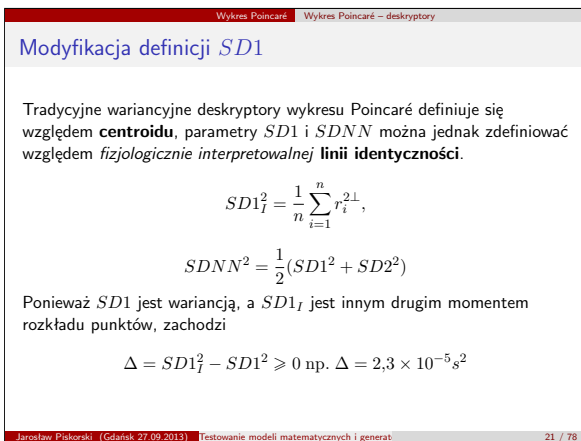
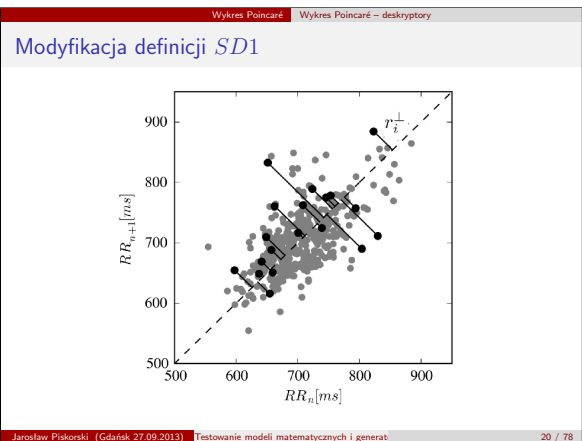
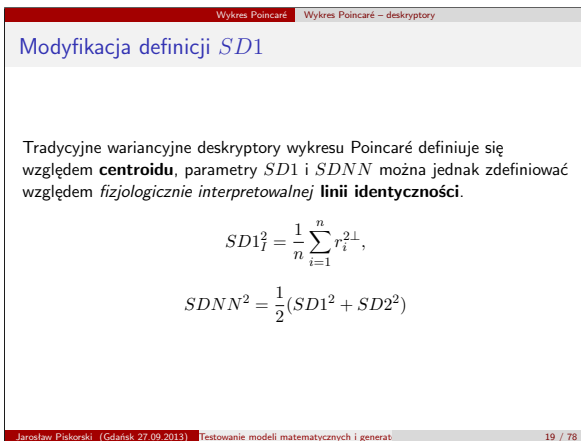
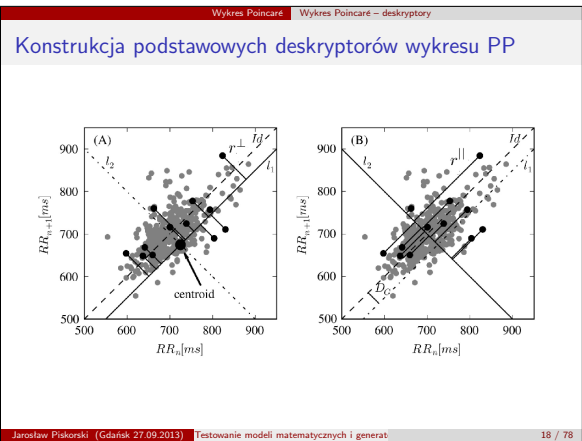
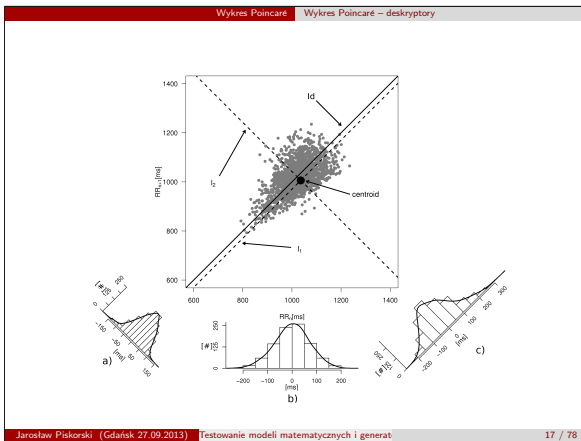
$$SDNN^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (RR_i - \overline{RR})^2$$

$$SD1^2 = Var\left(\frac{RR_n - RR_{n-1}}{\sqrt{2}}\right)$$

$$SD2^2 = Var\left(\frac{RR_n + RR_{n-1}}{\sqrt{2}}\right)$$

$$SDNN^2 = \frac{1}{2}(SD1^2 + SD2^2)$$

Jarosław Piśkorski (Gdańsk 27.09.2013) Testowanie modeli matematycznych i generat. 16 / 78



Asymetria rytmu serca - Heart Rate Asymmetry Podział wariancji krótkoterminowej

### Podział wariancji krótkoterminowej

Aby opisać widoczną na wykresach asymetrię, dzielimy wariancję krótkoterminową na części zależne oddzielnie od zwolnień i przyspieszeń

$$SD1^2 = \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^{n_d} [r_i^\perp d_i]^2 + \sum_{j=1}^{n_a} [r_j^\perp a_j]^2 \right), \quad n = n_d + n_a + n_{on}$$

$$SD1_d^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n_d} [r_i^\perp d_i]^2, \quad SD1_a^2 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^{n_a} [r_j^\perp a_j]^2$$

$$SD1^2 = SD1_d^2 + SD1_a^2$$

$$n = n_d + n_a + n_{on}$$

Jarosław Piśkorski (Gdańsk 27.09.2013) Testowanie modeli matematycznych i generat. 25 / 78

Asymetria rytmu serca - Heart Rate Asymmetry Podział wariancji krótkoterminowej

### Uniezależnienie od zmienności międzyosobniczej



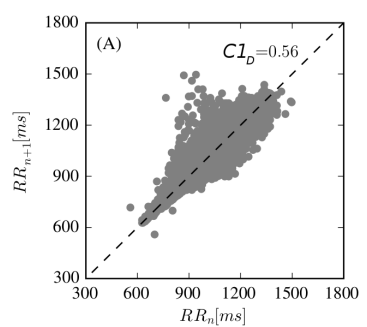
$$C1_d = \frac{SD1_d^2}{SD1^2}, \quad C1_a = \frac{SD1_a^2}{SD1^2}$$

$$C1_d + C1_a = 1$$

Jarosław Piśkorski (Gdańsk 27.09.2013) Testowanie modeli matematycznych i generat. 26 / 78

Asymetria rytmu serca - Heart Rate Asymmetry Podział wariancji krótkoterminowej

### Rozmiar asymetrii



Jarosław Piśkorski (Gdańsk 27.09.2013) Testowanie modeli matematycznych i generat. 27 / 78

Asymetria rytmu serca - Heart Rate Asymmetry Podział wariancji długoterminowej

### Podział wariancji długoterminowej

Aby opisać zachowanie długoterminowe dzielimy wariancję długoterminową ( $SD2^2$ ) na części zależne od zwolnień i przyspieszeń

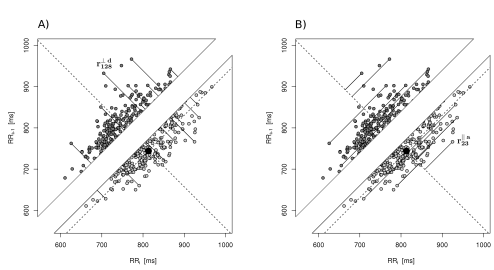
$$SD2^2 = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^N r_k^{\parallel 2} = \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^{n_d} [r_i^{\parallel} d_i]^2 + \sum_{j=1}^{n_a} [r_j^{\parallel} a_j]^2 + \sum_{k=1}^{n_{on}} [r_k^{\parallel} on_k]^2 \right)$$

$$n = n_d + n_a + n_{on}$$

Jarosław Piśkorski (Gdańsk 27.09.2013) Testowanie modeli matematycznych i generat. 28 / 78

Asymetria rytmu serca - Heart Rate Asymmetry Podział wariancji długoterminowej

### Podział wariancji długoterminowej



Jarosław Piśkorski (Gdańsk 27.09.2013) Testowanie modeli matematycznych i generat. 29 / 78

Asymetria rytmu serca - Heart Rate Asymmetry Podział wariancji długoterminowej

### Definicja deskryptorów długoterminowych

- Pomiedzy podziałem wariancji krótko- i długoterminowej jest oczywista różnica, polegająca na obecności części  $\sum_{k=1}^{n_{on}} [r_k^{\parallel} on_k]^2$ .
- Wielkość tej części zależy w bardzo dużym stopniu od rozdzielczości urządzenia pomiarowego.
- Część związana z linią identyczności jest dzielona równo pomiędzy części związane z przyspieszeniami i zwolnieniami.

$$SD2^2 = SD2_d^2 + SD2_a^2$$

$$SD2_d^2 = \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^{n_d} [r_i^{\parallel} d_i]^2 + \frac{1}{2} \sum_{j=1}^{n_{on}} [r_j^{\parallel} on_j]^2 \right)$$


$$SD2_a^2 = \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^{n_a} [r_i^{\parallel} a_i]^2 + \frac{1}{2} \sum_{j=1}^{n_{on}} [r_j^{\parallel} on_j]^2 \right)$$

Jarosław Piśkorski (Gdańsk 27.09.2013) Testowanie modeli matematycznych i generat. 30 / 78

Asymetria rytmu serca - Heart Rate Asymmetry Podział wariancji długoterminowej

### Wartości względne

Podobnie jak poprzednio, dla usunięcia zmienności międzyosobniczej wprowadzamy wartości względne



$$C2_d = \frac{SD2_d^2}{SD2^2}, \quad C2_a = \frac{SD2_a^2}{SD2^2}$$

$$C2_d + C2_a = 1.$$

Jarosław Piśkorski (Gdańsk 27.09.2013) Testowanie modeli matematycznych i generat. 31 / 78

Asymetria rytmu serca - Heart Rate Asymmetry Formalny podział wariancji całkowitej

### Formalny podział $SDNN^2$

$$SDNN^2 = \frac{1}{2} (SD1^2 + SD2^2)$$

$$SDNN^2 = \frac{1}{2} \left( \frac{(SD1_d^2 + SD1_a^2)}{SD1^2} + \frac{(SD2_d^2 + SD2_a^2)}{SD2^2} \right)$$

$$= \frac{1}{2} \left( \frac{(SD1_d^2 + SD2_d^2)}{2SDNN_d^2} + \frac{(SD1_a^2 + SD2_a^2)}{2SDNN_a^2} \right)$$

Jarosław Piśkorski (Gdańsk 27.09.2013) Testowanie modeli matematycznych i generat. 32 / 78

Asymetria rytmu serca - Heart Rate Asymmetry Formalny podział wariancji całkowitej

### Formalny podział $SDNN^2$

$$SDNN^2 = SDNN_d^2 + SDNN_a^2$$

$$SDNN_d^2 = \frac{1}{2} (SD1_d^2 + SD2_d^2), \quad SDNN_a^2 = \frac{1}{2} (SD1_a^2 + SD2_a^2)$$

$$C_d + C_a = 1,$$

$$C_d = \frac{SDNN_d^2}{SDNN^2}, \quad C_a = \frac{SDNN_a^2}{SDNN^2}.$$

Jarosław Piśkorski (Gdańsk 27.09.2013) Testowanie modeli matematycznych i generat. 33 / 78

Asymetria rytmu serca - Heart Rate Asymmetry Formalny podział wariancji całkowitej

### Stwierdzenie istnienia asymetrii

Odpowiednie typy asymetrii istnieją gdy w zbiorze  $N$  analizowanych nagrań:

- Dla asymetrii krótkoterminowej:
 
$$C1_d > C1_a,$$
 w stopniu istotnym statystycznie.
- Dla asymetrii długoterminowej
 
$$C2_d < C2_a,$$
 w stopniu istotnym statystycznie.
- Dla asymetrii całkowitej
 
$$C_d < C_a,$$
 w stopniu, który jest istotny statystycznie.

Jarosław Piśkorski (Gdańsk 27.09.2013) Testowanie modeli matematycznych i generat. 34 / 78

Asymetria rytmu serca - Heart Rate Asymmetry Formalny podział wariancji całkowitej

### HRA – obserwacje

420 zdrowych ochotników, 30-minutowe nagrania EKG

$p < 0.0001$

$p < 0.0001$

$p < 0.0001$

Jarosław Piśkorski (Gdańsk 27.09.2013) Testowanie modeli matematycznych i generat. 35 / 78

Asymetria rytmu serca - Heart Rate Asymmetry Przykładowe wyniki

### Przykładowe wyniki

30-minutowe szeregi odstępów RR, 241 młodych (22-25 lat) zdrowych ochotników, 105 kobiet, warunki spoczynkowe

Test dwumianowy dla sprawdzenia, czy proporcja osób z odpowiednią symetrią jest większa niż 50%, test Wilcoxon dla bezpośrednich porównań odpowiednich wkładów.

Sprawdzono również czas „wyodrębnienia” asymetrii

JP, Przemysław Guzik, *Asymmetric properties of long-term and total heart rate variability, Medical and Biological Engineering and Computing, 1-9, 2011*

Jarosław Piśkorski (Gdańsk 27.09.2013) Testowanie modeli matematycznych i generat. 36 / 78

Asymetria rytmu serca - Heart Rate Asymmetry Przykładowe wyniki

### Przykładowe wyniki – cd.

- Asymetria krótkoterminowa – zaobserwowano w 199 przypadkach, co stanowi 82.6% grupy,  $p < 0.0001$ . Średnia  $C1_d=0.54$ ; test Wilcoxon  $p < 0.0001$ .
- Asymetria długoterminowa – zaobserwowano w 184 przypadkach, co stanowi 76.4% grupy,  $p < 0.0001$ . Średnia  $C2_d=0.47$ ; test Wilcoxon  $p < 0.0001$ .
- Asymetria całkowita – zaobserwowano w 184 przypadkach, co stanowi 76.4% grupy,  $p < 0.0001$ . Średnia  $C_d=0.47$ ; test Wilcoxon  $p < 0.0001$ . Można powiedzieć, że asymetria długoterminowa przeważa w badanej grupie

Jarosław Piśkorski (Gdańsk 27.09.2013) Testowanie modeli matematycznych i generat. 37 / 78

Asymetria rytmu serca - Heart Rate Asymmetry Przykładowe wyniki

### Przykładowe wyniki – wyodrębnienie asymetrii

Czas	Krótkoterminowa	Długoterminowa	Całkowita
15 min	75%	70%	68%
10 min	73%	66%	65%

Wszystkie powyższe proporcje są statystycznie istotnie różne od 50%. Podobnie wszystkie testy Wilcoxon dają istotne statystyczne różnice

Jarosław Piśkorski (Gdańsk 27.09.2013) Testowanie modeli matematycznych i generat. 38 / 78

Asymetria rytmu serca - Heart Rate Asymmetry Przykładowe wyniki

### Przykładowe wyniki – wyodrębnienie asymetrii

Ponieważ wielkość grupy wynosi 241, najmniejsza proporcja, która istotnie różni się od 50% wynosi 57% (przy  $p=0.039$ ). Ta proporcja osiągnięta jest już **po 1 min** dla wszystkich rodzajów asymetrii: 57% dla asymetrii krótkoterminowej, 58% dla asymetrii długoterminowej i całkowitej.

(Obliczenia te nie biorą pod uwagę analizy błędu typu II)

Jarosław Piśkorski (Gdańsk 27.09.2013) Testowanie modeli matematycznych i generat. 39 / 78

Asymetria rytmu serca - Heart Rate Asymmetry Przykładowe wyniki

### Przykładowe wyniki – wyodrębnienie asymetrii

Jarosław Piśkorski (Gdańsk 27.09.2013) Testowanie modeli matematycznych i generat. 40 / 78

Uwagi metodyczne

## Uwagi metodyczne

- Asymetria w ujęciu tu prezentowanym jest jednokierunkowa, to znaczy aby stwierdzić asymetrię, jeden z wkładów musi być systematycznie większy od drugiego – sam fakt braku równości wkładów nie jest wystarczający
- Asymetria musi zniknąć po przetasowaniu danych do losowej kolejności

Jarosław Piśkorski (Gdańsk 27.09.2013) Testowanie modeli matematycznych i generat. 41 / 78

Uwagi metodyczne Kierunkowość

## Kierunkowość

Przynajmniej dwa elementy kierują geometrią PP: fizjologia i element stochastyczny. Przy przyjęciu dwukierunkowej definicji asymetrii, element stochastyczny z dużym prawdopodobieństwem wygeneruje „asymetrię”. Idealnie wyważony PP jest tak naprawdę bardzo mało prawdopodobnym przypadkiem. Istnieją podejścia dwukierunkowe, jednak badają one **inne własności szeregu RR** niż podejście przyjęte przez nas.


Przykład – idealnie symetryczny proces prowadzi do „asymetrii”

Jarosław Piśkorski (Gdańsk 27.09.2013) Testowanie modeli matematycznych i generat. 42 / 78

Uwagi metodyczne Kierunkowość

## Kierunkowość – przykład

- Założmy, że w szeregu RR prawdopodobieństwo, że następny wyraz jest większy od poprzedniego wynosi  $P = \frac{1}{2}$  i jest to proces czysto losowy. Odpowiada to klasycznemu eksperymentowi z rzutem uczciwą monetą.
- Rzucmy monetą 100 razy – będzie to odpowiadało jednemu PP



Jarosław Piśkorski (Gdańsk 27.09.2013) Testowanie modeli matematycznych i generat. 43 / 78

Uwagi metodyczne Kierunkowość

## Kierunkowość – przykład

- Prawdopodobieństwo otrzymania idealnie symetrycznego (zrównoważonego) PP
 
$$p(\text{symmetria}) = \binom{100}{50} (1/2)^{100} \simeq 0.08,$$
- Prawdopodobieństwo „asymetrycznego” wykresu
 
$$p(\text{asymetria}) \simeq 1 - 0.08 = 0.92.$$

W dużej próbie „nagrań” tego typu oczekujemy więc 92% „asymetrycznych” wykresów. Przy takim podejściu dwukierunkowym, idealnie symetryczny proces generuje „asymetryczne” realizacje (wykresy Poincare).

Asymetrię tego typu można rozważać, ale trzeba przy tym być bardzo ostrożnym.

Jarosław Piśkorski (Gdańsk 27.09.2013) Testowanie modeli matematycznych i generat. 44 / 78

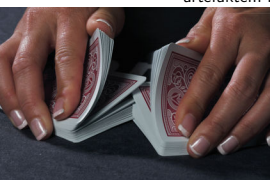
Uwagi metodyczne Testowanie metody – tasowanie

## Testowanie metody – tasowanie

Dane tasujemy przy pomocy generatora losowych – w teorii odpowiada to wyciągnięciu numerów odstępu RR w sposób losowy z kapelusza.

W danych przetasowanych nie może być żadnej różnicy pomiędzy wkładami – jeżeli taka różnica jest stwierdzona, to oznacza to, że obserwacja jest artefaktem metody.

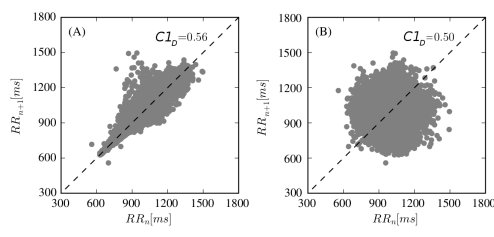
Dla przykładu przedstawionego wcześniej nie ma statystycznie istotnej różnicy pomiędzy wkładami przyspieszeń i zwolnień dla wszystkich typów asymetrii



Jarosław Piśkorski (Gdańsk 27.09.2013) Testowanie modeli matematycznych i generat. 45 / 78

Uwagi metodyczne Testowanie metody – tasowanie

## Tasowanie – przykład



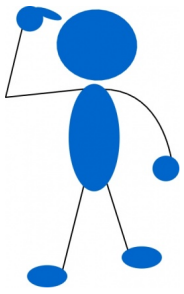
Jarosław Piśkorski (Gdańsk 27.09.2013) Testowanie modeli matematycznych i generat. 46 / 78

Pochodzenie HRA – hipoteza

## Pochodzenie HRA – hipoteza

HRA jest spowodowane przez różnicę w sposobie w jaki serce przyspiesza i zwalnia

**Zadanie:** zbadać serie zwolnień i przyspieszeń i sprawdzić, czy można zaobserwować jakieś interesujące zjawiska



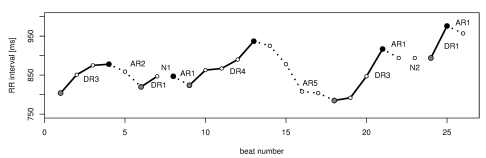
Jarosław Piśkorski (Gdańsk 27.09.2013) Testowanie modeli matematycznych i generat. 47 / 78

Pochodzenie HRA – hipoteza Serie zwolnień i przyspieszeń

## Serie zwolnień i przyspieszeń

Seria zwolnień/przyspieszeń to segment szeregu RR podczas którego serce albo ciągle zwalnia albo przyspiesza

**DR** – deceleration run, **AR** – acceleration run  
**N** – neutral run



Jarosław Piśkorski (Gdańsk 27.09.2013) Testowanie modeli matematycznych i generat. 48 / 78

Pochodzenie HRA – hipoteza    Serie zwolnień i przyspieszeń

### Serie zwolnień i przyspieszeń

Serie zwolnień i przyspieszeń dla danych przetasowanych – testowanie wyników i wartości referencyjne

$$E(r_i^k, n) = n \frac{i^2 + 3i + 1}{(i + 3)!} - 2 \frac{i^3 + 3i^2 - i - 4}{(i + 3)!}$$

$$i \leq n - 2, k = D, A$$

Oczywiście

$$E(r_i^D) = E(r_i^A)$$

Levene H, Wolfowitz J 1944 The covariance matrix of runs up and down  
*Ann. Math. Statist.* **15** 58-69

Jarosław Piśkorski (Gdańsk 27.09.2013) Testowanie modeli matematycznych i generat. 49 / 78

Pochodzenie HRA – hipoteza    Serie zwolnień i przyspieszeń

### Estymacja rozkładu serii

$$p_{i,k} = \frac{E(r_i^k, n) \times i}{n}$$

$$\hat{p}_{i,k} = \frac{(\text{liczba } r_i^k) \times i}{n}$$

$$\sum_{i=1}^{\max(i)_D} p_{i,D} + \sum_{j=1}^{\max(j)_A} p_{j,A} = 1,$$

Jarosław Piśkorski (Gdańsk 27.09.2013) Testowanie modeli matematycznych i generat. 50 / 78

Pochodzenie HRA – hipoteza    Parametry teorii informacyjnej

### Parametry teorii informacyjnej – entropia serii

$$H_R = - \sum_{i=1}^{\max(i)_D} p_{i,D} \cdot \ln p_{i,D} \quad (1)$$

$$- \sum_{j=1}^{\max(j)_A} p_{j,A} \cdot \ln p_{j,A} \quad (2)$$

$$H_{DR} = - \sum_{i=1}^{\max(i)_D} p_{i,D} \cdot \ln p_{i,D}$$

$$H_{AR} = - \sum_{i=1}^{\max(i)_A} p_{i,A} \cdot \ln p_{i,A}$$

Jarosław Piśkorski (Gdańsk 27.09.2013) Testowanie modeli matematycznych i generat. 51 / 78

Pochodzenie HRA – hipoteza    Parametry teorii informacyjnej

### Parametry teorii informacyjnej – entropia serii

Dla danych przetasowanych zachodzi oczywiście

$$p_{i,D} = p_{i,A}$$

$$H_{DR} = H_{AR} = H_{ShR}$$

Jarosław Piśkorski (Gdańsk 27.09.2013) Testowanie modeli matematycznych i generat. 52 / 78

Pochodzenie HRA – hipoteza    Parametry teorii informacyjnej

### Zastosowanie

**Grupa 1.:** osiemdziesiąt siedem 24h nagrań holterowskich od zdrowych osób (41 mężczyźn); średnia wieku 35±7.4 lat. Uczestnicy byli zdrowymi ochotnikami w których przeprowadzono wywiad, badanie oraz nagrano12-odprowadzeniowe EKG

**Grupa 2.:** 420 trzydziestominutowych nagrań EKG od osób zdrowych (136 mężczyźn); średnia wieku 29±5.3 lat. Uczestnicy byli zdrowymi ochotnikami w których przeprowadzono wywiad, badanie oraz nagrano12-odprowadzeniowe EKG Policzono serie zwolnień i przyspieszeń dla wszystkich nagrań wykorzystując jedynie pobudzenia zatokowe. Liczby serii tej samej długości porównane zostały dla serii zwolnień i przyspieszeń. Wyliczono również średni czas trwania dla każdej serii.

Jarosław Piśkorski (Gdańsk 27.09.2013) Testowanie modeli matematycznych i generat. 53 / 78

Pochodzenie HRA – hipoteza    Parametry teorii informacyjnej

### Porównanie długości serii wyrażonej w uderzeniach serca dla zwolnień i przyspieszeń dla nagrań 24-h

Serie przyspieszeń są liczniejsze dla wszystkich serii za wyjątkiem długości 3 i 4.

Jarosław Piśkorski (Gdańsk 27.09.2013) Testowanie modeli matematycznych i generat. 54 / 78

Pochodzenie HRA – hipoteza    Parametry teorii informacyjnej

### Porównanie długości serii wyrażonej w uderzeniach serca dla zwolnień i przyspieszeń dla nagrań 24-h

Serie przyspieszeń są liczniejsze dla wszystkich serii za wyjątkiem długości 3 i 4.

Jarosław Piśkorski (Gdańsk 27.09.2013) Testowanie modeli matematycznych i generat. 55 / 78

Pochodzenie HRA – hipoteza    Parametry teorii informacyjnej

### Porównanie długości serii wyrażonej w uderzeniach serca dla zwolnień i przyspieszeń dla nagrań 24-h

Serie przyspieszeń są liczniejsze dla wszystkich serii za wyjątkiem długości 3 i 4.

Jarosław Piśkorski (Gdańsk 27.09.2013) Testowanie modeli matematycznych i generat. 56 / 78


Pochodzenie HRA – hipoteza Parametry teorii informacyjnej

### Testowanie metody – tasowanie

Dla danych przetasowanych nie ma statystycznie istotnych różnic pomiędzy rozkładami serii zwolnień i przyspieszeń

Rozkład serii pomiędzy danymi w kolejności fizjologicznej a danymi przetasowanymi różni się istotnie

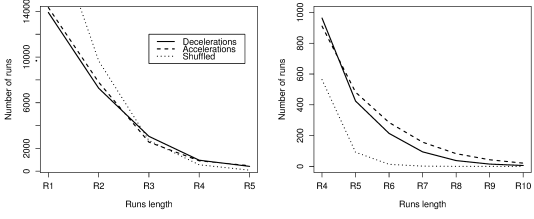
Jest znacznie więcej krótkich serii w przypadku danych przetasowanych niż danych w kolejności fizjologicznej



Jarosław Piłkowski (Gdańsk 27.09.2013) Testowanie modeli matematycznych i generat: 57 / 78

Pochodzenie HRA – hipoteza Parametry teorii informacyjnej

### Testowanie metody – tasowanie



Jarosław Piłkowski (Gdańsk 27.09.2013) Testowanie modeli matematycznych i generat: 58 / 78

Pochodzenie HRA – hipoteza Parametry teorii informacyjnej

### Wyniki dla trzydziestominutowych nagrań EKG

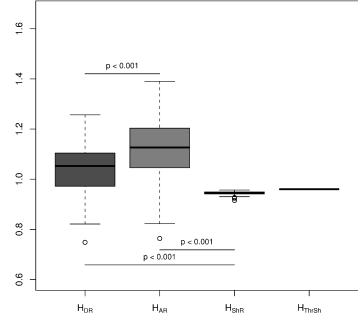
Praktycznie identyczne

- Więcej serii przyspieszeń, za wyjątkiem serii długości 1 i 2
- Najdłuższe serie to serie przyspieszeń
- Średnia najdłuższa seria przyspieszeń jest dłuższa niż średnia najdłuższa seria zwolnień
- W danych przetasowanych jest więcej serii krótkich, mniej serii dłuższych (4-8) i wcale nie ma serii długich

Jarosław Piłkowski (Gdańsk 27.09.2013) Testowanie modeli matematycznych i generat: 59 / 78

Pochodzenie HRA – hipoteza Parametry teorii informacyjnej

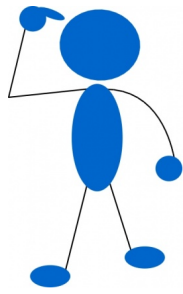
### Teorioinformatyczny parametr sumaryczny – entropia serii



Jarosław Piłkowski (Gdańsk 27.09.2013) Testowanie modeli matematycznych i generat: 60 / 78

Pochodzenie HRA – hipoteza Kompensacja

### Kompensacja



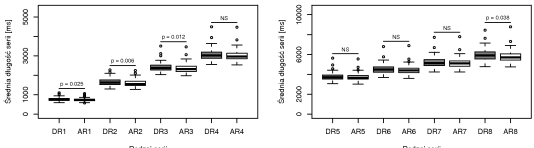
Rytm serca zmienia się niestannie, pozostaje jednak w pewnym ograniczonym (fizjologicznym) zakresie wartości

**Problem:** jeżeli jest więcej serii przyspieszeń niż zwolnień, to serce powinno albo (średnio) stale przyspieszać, albo serie zwolnień powinny trwać dłużej, aby skompensować liczbę serii przyspieszeń.

Jarosław Piłkowski (Gdańsk 27.09.2013) Testowanie modeli matematycznych i generat: 61 / 78

Pochodzenie HRA – hipoteza Kompensacja

### Testowanie kompensacji

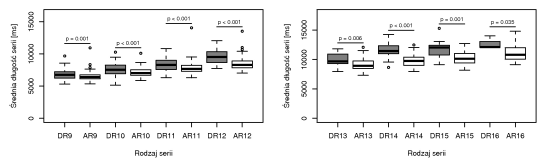


Serie zwolnień trwają dłużej, za wyjątkiem serii długości 4, 5, 6 i 7

Jarosław Piłkowski (Gdańsk 27.09.2013) Testowanie modeli matematycznych i generat: 62 / 78

Pochodzenie HRA – hipoteza Kompensacja

### Testowanie kompensacji

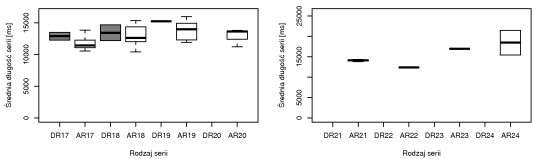


Serie zwolnień trwają dłużej, za wyjątkiem serii długości 4, 5, 6 i 7

Jarosław Piłkowski (Gdańsk 27.09.2013) Testowanie modeli matematycznych i generat: 63 / 78

Pochodzenie HRA – hipoteza Kompensacja

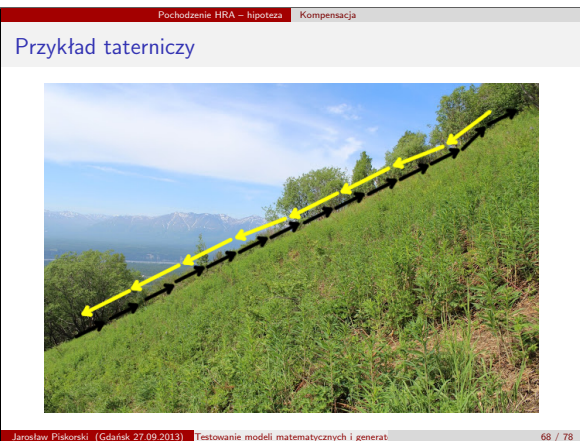
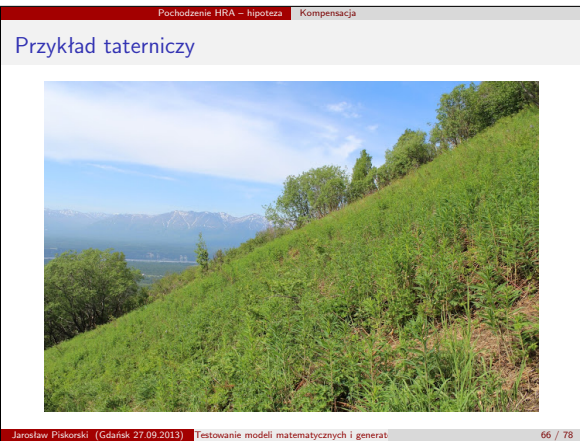
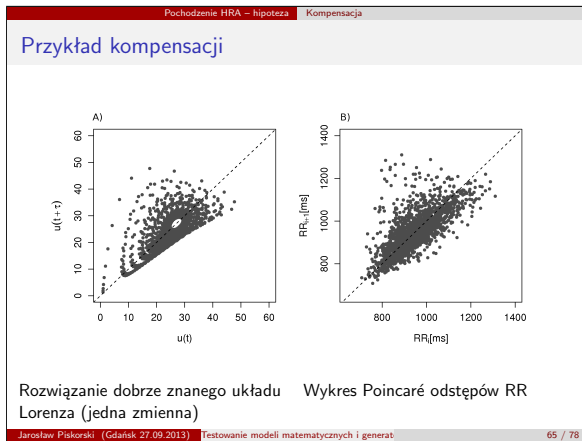
### Testowanie kompensacji



Serie zwolnień trwają dłużej, za wyjątkiem serii długości 4, 5, 6 i 7

Jarosław Piłkowski (Gdańsk 27.09.2013) Testowanie modeli matematycznych i generat: 64 / 78





- Interpretacja i zastosowania
- ### Interpretacja
- Skąd bierze się asymetria?  
W tej chwili możemy jedynie spekulować
- Interakcja układów współczulnego i przywspółczulnego?
  - Szybkość/opóźnienie w odpowiedzi węzła zatokowego na aktywację współczulną/przywspółczulną?
  - Oddychanie? (ale jak w takim przypadku zinterpretować brak asymetrii dla serii długości 3 i 4 i jej występowanie dla najdłuższych serii?)
  - Inne oscylacje: zmiany w napięciu naczyniowym (fale Meyera), odpowiedź na rzadkie zdarzenia (westchnięcia) itd.?
  - Kombinacja powyższych mechanizmów?
  - Coś kompletnie innego?
- Jarosław Piśkorski (Gdańsk 27.09.2013) Testowanie modeli matematycznych i generat. 69 / 78

- Interpretacja i zastosowania
- ### Zastosowania
- Do czego przydaje się asymetria?
- Nowy sposób badania układu sercowo-naczyniowego i oddziaływań w obrębie układu autonomicznego
  - Liczba długich serii jest zredukowana u pacjentów wysokiego ryzyka po zawale. W dwuletniej obserwacji serie te mają wartość prognostyczną dla zgonu z jakiegokolwiek powodu, z powodów sercowych lub pod postacią nagłego zgonu sercowego
  - Badanie FINACAVAS – struktura HRA (krótkie serie) jest przydatna w ocenie ryzyka odległego zgonu z jakiegokolwiek przyczyny oraz odrębnie z powodów sercowo-naczyniowych
  - Inne obserwacje fizjologiczne i kliniczne
  - Modelowanie matematyczne?
- Jarosław Piśkorski (Gdańsk 27.09.2013) Testowanie modeli matematycznych i generat. 70 / 78

- Interpretacja i zastosowania
- ### Inne obserwacje fizjologiczne i kliniczne
- Ekspresja HRA spada u pacjentów ze stenozą aortalną ze wzrostem klasy NYHA
  - Krótkoterminowa HRA jest zredukowana u pacjentów z cukrzycą typu I
  - Struktura HRA związana jest ze stopniem zaawansowania OSA. Dłuższe serie obecne są u pacjentów z wyższym stopniem zaawansowania choroby
  - Ekspresja HRA różni się u kobiet i mężczyzn – u mężczyzn HRA jest częstsza i lepiej wyrażona
  - Wydłużenia odcinków AH i HV mają istotnie większe wkłady do ich zmienności krótkoterminowej niż wydłużenia
- Jarosław Piśkorski (Gdańsk 27.09.2013) Testowanie modeli matematycznych i generat. 71 / 78

- Interpretacja i zastosowania
- ### Cechy rozkładu serii
- empiryczny rozkład prawdopodobieństwa
  - porównanie rozkładów
  - cechy rozkładów: skalowanie, prawo wykładnicze
- Jarosław Piśkorski (Gdańsk 27.09.2013) Testowanie modeli matematycznych i generat. 72 / 78

## Porównanie rozkładów wprost – qq-plot i test Cramér-von Mises

**Wykres qq:** to wykres prawdopodobieństwa (*probability plot*) służący do graficznego porównywania rozkładów prawdopodobieństwa (lub zbiorów danych), poprzez wyrysowanie zależności kwantyli jednego rozkładu od kwantyli drugiego rozkładu.

**Test Cramér-von Mises:** test służący do stwierdzenia, czy dwa zbiory danych zostały wygenerowane z tego samego rozkładu prawdopodobieństwa. Jest rozszerzeniem testu Kołmogorova-Smirnova do danych dyskretnych.

Po co nam **R**?

## Cechy modelu matematycznego/generatora szeregów $RR$

- serie przyspieszeń powinny być dłuższe niż serie zwolnień
- w czasie, średnia długość zwolnienia powinna być większa niż średnia długość przyspieszenia
- powinien być zachowany rozkład prawdopodobieństwa dla serii zwolnień i przyspieszeń
- powinno być obserwowalne prawo wykładnicze dla zwolnień i przyspieszeń, przy  $\lambda_D < \lambda_A$  (wynika z dwóch pierwszych punktów)

## Źródła

[www.hrstruct.org](http://www.hrstruct.org)  
[www.fmons.pl](http://www.fmons.pl)

Dziękuję!