

УДК 61+57;681.3.004.9

АНАЛІЗ ФРАКТАЛЬНОЇ РОЗМІРНОСТІ БІОМЕДИЧНИХ ПРОЦЕСІВ

Ю.Є. Лях, В.Г. Гур'янов, Ю.Г. Вихованець, О.Г. Горшков
gur@dsmu.dn.ua

Донецький національний медичний університет ім. М. Горького

Резюме. У статті представлена методика розрахунку і аналізу показника Херста при аналізі стабілограм. Встановлено зміну характеру залежності даного показника від часу дискретизації ряду, що свідчить про можливість його використання для оцінки ступеня організації руху.

Ключові слова: показник Херста, фрактальна розмірність, біомедичні процеси.

АНАЛИЗ ФРАКТАЛЬНОЙ РАЗМЕРНОСТИ БИОМЕДИЦИНСКИХ ПРОЦЕССОВ

Ю.Е. Лях, В.Г. Гурьянов, Ю.Г. Выхованец, О.Г. Горшков
gur@dsmu.dn.ua

Донецкий национальный медицинский университет им. М. Горького

Резюме. В статье приведена методика расчета и анализа показателя Херста при изучении биомедицинских процессов. Проведен расчет изучаемого показателя при ана-лизе стабилограмм. Установлено изменение характера зависимости данного показателя от времени дискретизации ряда, что свидетельствует о возможности его использования для оценки степени организации движения.

Ключевые слова: показатель Херста, фрактальная размерность, биомедицинские процессы.

ANALYSIS OF FRACTAL DIMENSION OF BIOMEDICAL PROCESSES

Yu.Ye. Lyakh, V.G. Gurianov, Yu.G. Vykhovanets, O.G. Gorshkov
gur@dsmu.dn.ua

Donetsk National Medical University named after M. Gorky

Summary. The paper presents the procedure of account and analysis of Herst's expo-nent for series of biomedical data. The estimation of Herst's exponent for analysis of stabilo-gramms is realized. The modification of associations by the quantization time is found. It testifies to a possibility to use this value as a degree of motion organization.

Key word: herst's exponent, fractal dimension, biomedical processes.

ВСТУП. Багато досліджень природних процесів приводить до появи часових рядів. Так, у часовому ряді вимірювань температури повітря ясно простежуються річні варіації. Часові послідовності таких величин як температура, кількість опадів чи товщина кілець дерев можна досліджувати за допомогою методу нормованого розмаху, або методу Херста [1]. Такі послідовності вимірювань характеризуються показником Херста (H), який пов'язаний з показником фрактальної розмірності і ступенем організації процесу, що аналізується [4].

Цей метод дозволяє аналізувати як стаціонарні, так і нестаціонарні процеси, що є важливим для аналізу біологічних сигналів.

ОСНОВНА ЧАСТИНА. Розглянемо методику розрахунку показника Херста. Припустимо, що є часовий ряд $a(t)$, де $t = 1, 2, \dots, T$. Цей ряд представляє собою послідовність значень величини A .

Середнє значення часового ряду за період спостереження $\langle A \rangle = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T a(t)$. Величина

© Р.ª. Ёѳ, Â.Ã. Ãðð'yíî, Р.Ã. Âððîîîîðö, Í.Ã. Ãîðøèî

$X(t) = \sum_{g=1}^t (a(t) - A)$ називається накопиченим

відхиленням величини $a(t)$ від середнього значення $\langle A \rangle$ за інтервал часу t [1]. Величина

$S = \sqrt{\frac{1}{T-1} \sum_{t=1}^T (a(t) - A)^2}$ є стандартним відхи-

ленням для часового ряду за інтервал часу спостереження T . Для розрахунку показника Херста розраховується різниця між максимальним і мінімальним (за інтервал часу спостереження T) накопиченим відхиленням

$R = \max_{t \in [0, T]} (X(t)) - \min_{t \in [0, T]} (X(t))$. Як визначив Херст, для

багатьох часових рядів спостерігається залеж-

ність нормованого розмаху $\frac{R}{S}$ від T , який дуже добре може бути описаний емпіричним

співвідношенням $\frac{R}{S} = (T \times a)^H$, у якому a – константа, величина H – показник Херста. Таким чином, при аналізі часового ряду в координатах

$\lg(\frac{R}{S}) : \lg(T)$ показник Херста може бути визначений за тангенсом кута нахилу прямої, що описує зв'язок цих двох величин.

Згідно з [4], при $H = 0,5$ між членами часового ряду немає ніякого зв'язку, тобто значення є випадковими і некорельованими – наступне ніяк не впливає на майбутнє. При $H < 0,5$ відбувається так зване "повернення до середнього": якщо значення зростають протягом якогось періоду, то в наступний період слід очікувати спаду. Чим ближче H до нуля, тим більш сталими є ці коливання – ряд називається антиперсистентним [4]. При $H > 0,5$ ряд є трендостабільним. В цьому випадку, якщо ряд почав зростати, він буде зростати і надалі. Трендостабільність тим вища, чим ближче H до 1. Чим більша кореляція між процесами, тим більш подібно вони поведуться. Такий ряд називається персистентним [1].

Розглянемо застосування методики розрахунку показника Херста при аналізі стабілограм. Основна ідея стабілометрії – реєстрація положення та зміни центра мас (ЦМ) у той час, коли обстежуваний стоїть на нерухомій платформі. Утримування вертикальної пози (ВП) людиною розглядається як динамічний

феномен, що потребує безперервного руху тіла і є результатом взаємодії вищих відділів центральної нервової системи, вестибулярного і зорового аналізаторів, суглобно-м'язової пропріорецепції та ін. [2].

До теперішнього часу накопичена велика кількість даних про системи і структури, що відповідають за регуляцію пози і рухів. Разом з тим, недостатньо вивчені механізми функціональної організації довільних рухів при підтримуванні ВП. Неоднозначні уявлення про вклад вестибулярної і зорової сенсорних систем в регуляцію пози [3].

Дослідження проведені на базі психофізіологічної лабораторії кафедри біофізики, медичної апаратури і клінічної інформатики Донецького національного медичного університету ім. М. Горького.

У експерименті взяли участь 60 осіб чоловічої і жіночої статей віком від 17 до 40 років. Перед експериментом за даними медичних карток була проведена оцінка стану здоров'я обстежуваних. Всі досліджувані були віднесені до групи здорових. Досліджуваному пропонували стати на платформу і регулювати свою позу таким чином, щоб на розташованому перед ним екрані дисплея точка, яка зміщується згідно з коливаннями центру мас і характеризує його положення, знаходилася в місці перехрещення двох взаємно перпендикулярних ліній. Регуляція пози здійснюється одночасно в двох площинах: в сагітальній площині фіксуються відхилення вперед або назад від вертикального положення, а у фронтальній – вліво чи вправо. Реєстрація стабілограм здійснюється у довільному акті ортоградної пози з можливістю візуального контролю положення ЦМ на екрані монітора (тобто, із зворотним зв'язком – 33) і в умовах часткової сенсорної депривації (при заплющених очах – 30). Тривалість запису – 3 хвилини. Комп'ютерний аналіз стабілограм включає розрахунок таких показників: довжина (L), площа (S) відхилень ЦМ, коефіцієнт LFS (відношення довжини шляху до площі), стандартне відхилення (Q_x, Q_y), спектральна щільність (F_x, F_y) коливань ЦМ у фронтальній та сагітальній площинах. Аналіз показників проводився з інтервалом 30 секунд.

На рисунку 1 наведений фрагмент запису стабілограми досліджуваного С. ($T=50$ с, частота дискретизації $\nu=100$ Гц).

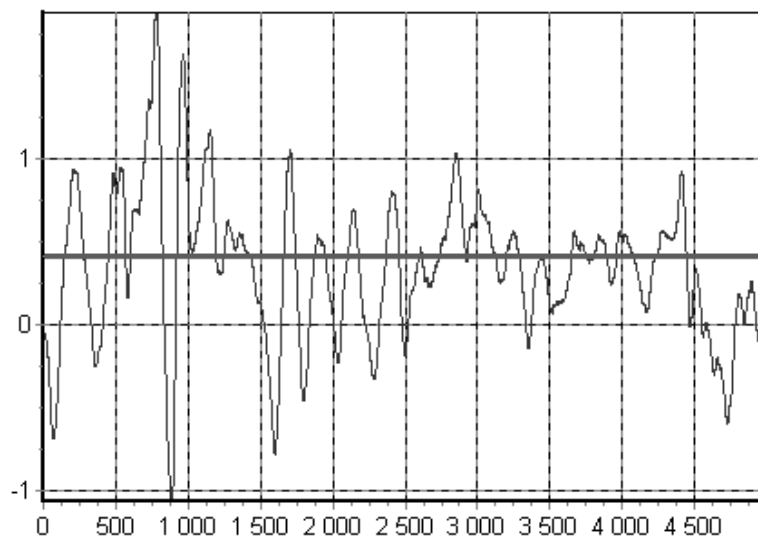


Рис. 1. Фрагмент запису стабілограми зі зворотним зв'язком (з відкритими очима) досліджуваного С. для сагітальної площини; тривалість запису – 50 с, частота дискретизації $\nu = 100$ Гц.

З цього рисунка видно, що відбувається коливання біля центру, повернення до початкового положення здійснюється з періодом 0,2-0,3 се-

кунди. На рисунку 2 показаний результат аналізу фрактальної розмірності ряду, проведений за вищенаведеною методикою.

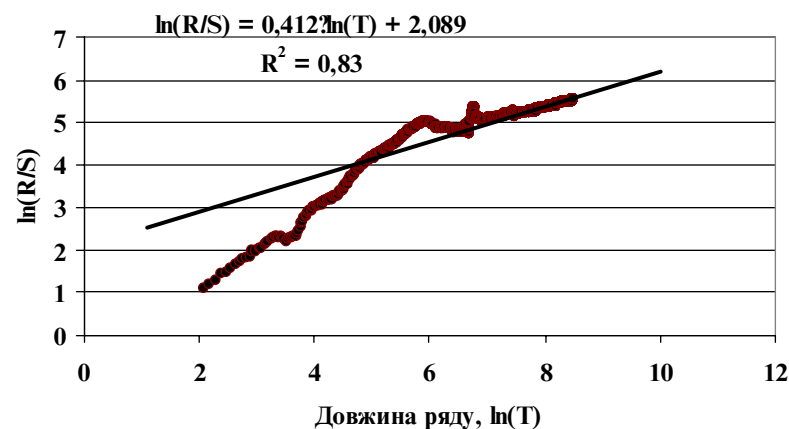


Рис. 2. Розрахунок значення показника Херста для ряду, представленого на рисунку 1.

Розрахунок показника Херста дає значення $H=0,412\pm0,003$, що свідчить про антиперсистентність ряду. При більш докладному аналізі можна встановити, що значення показника Херста залежить від часу дискретизації ряду. При цьому, якщо період дискретизації при проведенні аналізу узяти таким, що дорівнює $\Delta T=0,3$ с, то $H=0,275\pm0,007$, що свідчить про "значну" антиперсистентність ряду.

На рисунку 3 наведена залежність значення показника Херста від часу дискретизації запису стабілограми.

Аналіз свідчить про те, що чим більший час дискретизації, тим у більшому ступені прояв-

ляються антиперсистентні властивості часового ряду, при значеннях часу дискретизації $\Delta T \geq 0,2$ с значення показника Херста виходить на плато.

Для часового ряду, який аналізується, це може свідчити про те, що час реакції досліджуваного на відхилення його від положення рівноваги складає 0,2-0,3 с, а значення $H=0,275\pm0,007$ є оцінкою ступеня організації обстежуваним свого руху.

На рисунку 4 наведено фрагмент запису стабілограми того самого досліджуваного С. при проведенні експерименту із заплющеними очима.

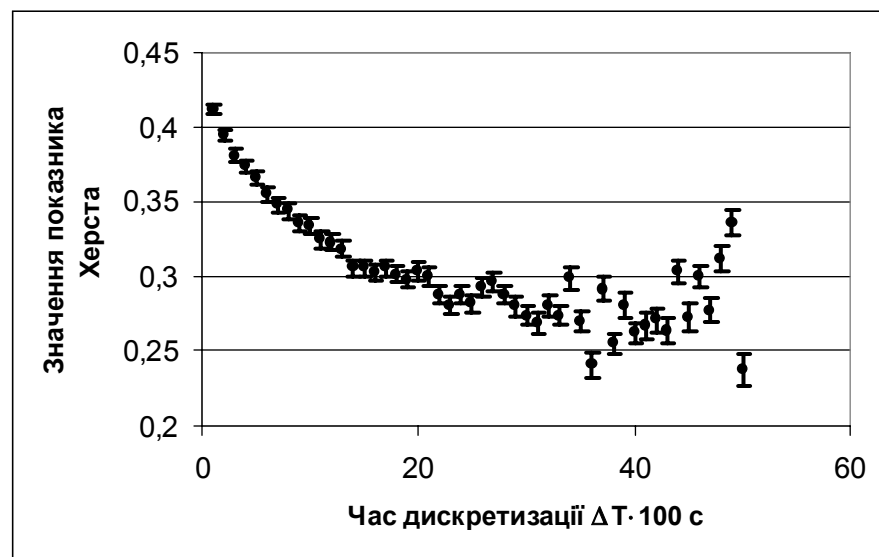


Рис. 3. Значення показника Херста (вказана стандартна помилка) для різних значень часу дискретизації ряду, наведеного на рисунку 1.

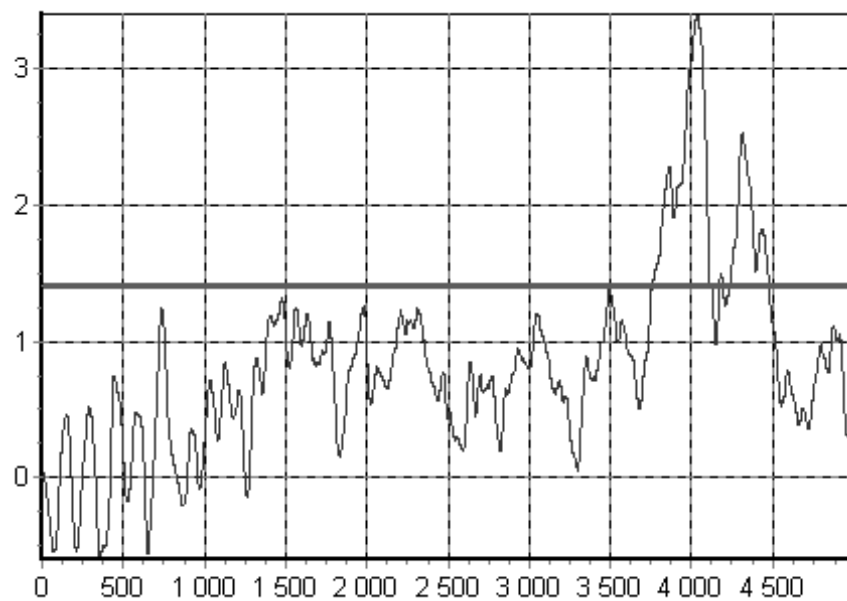


Рис. 4. Фрагмент запису стабілограми досліджуваного С., виконаної при заплюснених очах, для сагітальної площини; тривалість запису – 50 с, частота дискретизації $\nu = 100$ Гц.

Як видно з рисунка, у русі явно присутній постійний тренд. Розрахунок показника Херста дає значення $H=0,455 \pm 0,003$, що свідчить про близькість характеру рухів до випадкового броунівського руху. Значення показника Херста і в цьому випадку залежить від часу дискретизації ряду. На рисунку 5 представлена ця залежність. Як і слід очікувати, розрахунки показали, що на великих часових масштабах характер руху за своїми властивостями починає наближатися до персистентного ряду

($H=0,59 \pm 0,03$ при періоді дискретизації, що дорівнює $\Delta T=0,5$ с).

ВИСНОВКИ. Зміна характеру залежності показника Херста від часу дискретизації та його значення чітко вказує на зміну способу організації досліджуваним свого руху (30 порівняно з 33). Аналіз значень показника Херста у різних обстежуваних вказує на можливість використання H для оцінки ступеня організації їх руху.

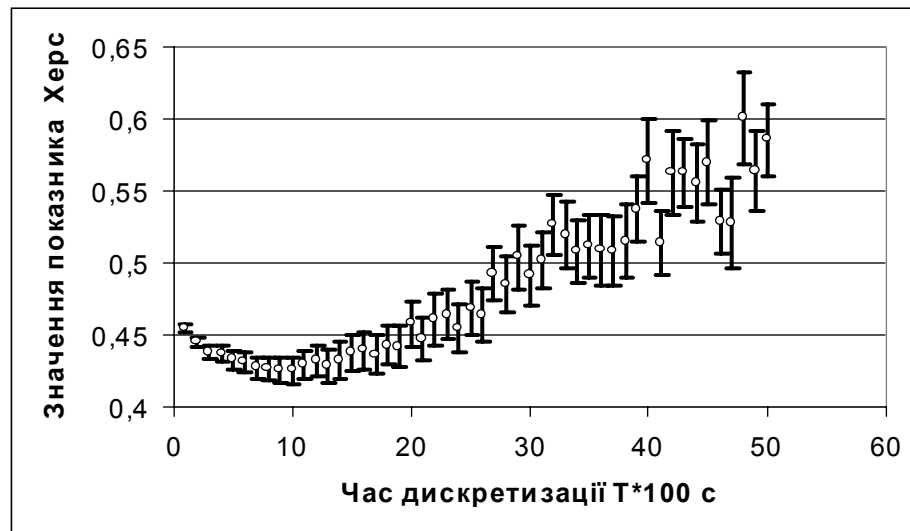


Рис. 5. Значення показника Херста для різних значень часу дискретизації ряду, наведеного на рисунку 4.

Ė³òǎđàòóđà

1. Ôãããð Æ. Ôðãëðãëù: Îãð. ñ áíãë. – Í.: îëð, 1991. – 254 ñ.
2. Êãçãëî Æ.Í., Ëÿð Þ.Ã., Óíáíñëë Æ.ß. Ñõããë-íãððý çãë íãðíá íãúãëðëáíé íóáíéë äãããðãëùíé äëðëáííòë ÷ãëíããë // Äððëã ëëëè÷ãñëé è ýñííãðëííãðãëùíé íããëðëù. – 1998. – Õ. 7, ¹ 1. – Ñ. 56-60.
3. Ëÿð Þ.Ã., Áûðíããíãð Þ.Ã., Ãððýýíã Æ.Ã., ×ãð-íÿ Æ.Í. Ôðãëðãëùíé áíãëç ããðëãããëùííòë ñãð-ãã÷íãí ðëðíá // Îãðãð. í³æíðíáííç ëííðãðáíó³ç "Ôãíððãëùíã è íãðëðãðð÷ãñëëã íãðáíëçíü äãããðã-ðëáíé íãðáíé ñëñðãíü". – Áííãë-Ñëãýýíñë, 2007. – Õ.3, ¹1. – Ñ. 25-26.
4. Áíáííëíã Æ.Æ., Åðëãì Ë.Æ., Êóóóøëì Þ.Æ., Óðãëíã È.Á. Äëãáíííòëã ñíñðíýýç ÷ãëíããë: íãðã-íãðð÷ãñëëã ííãðíã. – Í.: Îããëðëíã, 2003. – 464 ñ.