

## ОЦІНКА СТАНУ АДАПТАЦІЙНИХ РЕЗЕРВІВ ОРГАНІЗМУ ЛЮДИНИ

© Кисельова О.Г., Настенко Є.А., 2010

Описане застосування нової міждисциплінарної галузі науки – синергетики та теорії стохастичного гомеостазу для визначення рівня адаптаційних резервів організму людини. Актуальність досліджень полягає в тому, що хаотичність процесів серцевого ритму вимагає застосування математичного апарату для уточнення отриманих стандартними методами результатів діагностичних та прогнозних оцінок. Таким математичним апаратом є теорія нелінійної динаміки.

**Ключові слова:** серцевий ритм, холтерівський моніторинг, адаптаційні резерви організму, теорія стохастичного гомеостазу, синергетика, серцево-судинна система, нелінійна динаміка.

**The paper describes new methods for estimation of human organism regulatory reserves. For this task we proposed to analyzing of the complexity behavior for 24-hours Heart Rate using the approach of interdisciplinary science Synergetics and the formulated by R. Usupov and R. Polonnikov Stochastic Homeostasis Theory.**

**Keywords:** Heart Rate, Holter monitor, adaptive regulatory reserves, Stochastic Homeostasis Theory, Synergetics, Cardiovascular System, Nonlinear Dynamics.

### Вступ

Методи нової міждисциплінарної галузі науки – синергетики, – відкривають нові можливості для оцінки стану та аналізу складних біомедичних систем, зокрема серцево-судинної системи.

Серцевий ритм є інтегровальним показником, який відображає цілісні властивості системи кровообігу та організму людини загалом. Створення на основі нелінійних динамічних показників нових засобів аналізу серцевого ритму дає можливість на новому рівні оцінити широту регуляторного діапазону, стан регуляторних резервів організму та спостережуване зниження адаптаційних властивостей і наближення до меж регуляторного діапазону. Це має велике значення для діагностики патологічних процесів, дезадаптаційних станів практично здорових осіб, «перетренованості» та перевантаження спортсменів, перевантаження ліквідаторів надзвичайних станів тощо.

### Методика

Стан серцево-судинної системи організму людини характеризується поведінкою серцевого ритму, отриманого методом холтерівського моніторингу впродовж 24 чи 72 годин, який являє собою безперервний запис ЕКГ, коли людина перебуває у звичайній активності [1, 2].

Для оцінки результатів холтерівського моніторингу з метою визначення адаптаційних резервів організму людини, авторами статті пропонується комплексний підхід, оснований на застосуванні методів синергетики та теорії стохастичного гомеостазу, яку запропонували російські вчені професори Р.М. Юсупов Р.И. Полонніков у монографії «Телемедицина. Нові інформаційні технології на порозі 21 століття» [3].

## Синергетика

Синергетика – це наука про самоорганізацію складних біологічних систем, яка описує поведінку комплексних систем, зокрема таких, як серцево-судинна система, та їх здатності до самоорганізації. Синергетику часто називають нелінійною наукою, або нелінійною динамікою [4].

Нелінійна динаміка складних систем займається вивченням поведінки систем при їх інтегральному розгляді. Її методи найкраще описують поведінку живих, динамічних систем.

Для оцінки складності серцевого ритму пропонується використовувати такі кількісні його параметри як апроксимаційна ентропія, складність за Колмогоровим, фрактальна розмірність, флікер-шум, графік Лоренца. Для оцінки варіабельності використовують значення стандартного відхилення та дисперсії [5].

Спільне застосування параметрів складності та варіабельності серцевого ритму уможливає відображення їхніх значень на площині стохастичного гомеостазу, а використання теорії стохастичного гомеостазу Р. Юсупова та Р. Полоннікова дає змогу оцінити рівень регуляторних резервів організму людини.

### Теорія стохастичного гомеостазу

Згідно з теорією стохастичного гомеостазу Р. Юсупова та Р. Полоннікова [3] оцінка регуляторних резервів організму людини визначається як залежність складності коливань серцевого ритму від варіабельності його амплітуди, де складність коливань – це коливання серцевого ритму в смузі наднизьких частот (VLF), які також називають флікер-шумом [7]. Такі коливання, що містяться у смузі від 0,04 до 0,4 Гц, можуть бути викликані певними порушеннями в організмі людини, наприклад, повільна зміна просвіту м'язових судин всього організму – задіянням/виключенням великих груп капілярів, зміною кисневого режиму тканин (гіпоксія, гіпероксія), зміною гормонального балансу, впливом токсичних речовин тощо. Авторами введено нові методи оцінки складності серцевого ритму, крім показника флікер-шуму, такі як апроксимаційна ентропія [4], алгоритмічна складність за Колмогоровим [7], графік Лоренца [6, 8], фрактальна розмірність [9].

Відомо, що швидші коливання можуть бути викликані зміною тиску, наприклад, у разі стресу. Тому вибрані авторами нелінійні динамічні показники можуть характеризувати не лише низько- або високочастотні складові серцевого ритму, але також деяку інтегральну складність його поведінки, що характеризується різними частотними компонентами.

Основним завданням, яке дає змогу вирішити теорія стохастичного гомеостазу, є визначення взаємозв'язку нелінійних показників між собою, а також виділення різноманітних станів та синдромів, таких як стрес, перевтома, недостатність кровообігу, гіперфункція серця тощо. Аналізується спільна участь у серцевому ритмі як швидших, так і повільних контурів регуляції.

### Площина стохастичного гомеостазу

На рис. 1 зображено площину стохастичного гомеостазу згідно з теорією Р. Юсупова та Р. Полоннікова. Площина складається з п'яти фаз, кожна з яких описує стан організму людини. Серед цих фаз виділена норма та чотири фази, що загалом описують суперкритичний та субкритичний стани. Розглянемо кожну з них окремо.

Нульова фаза називається «норма» та характеризує нормальний стан організму людини. Фаза I характеризує «продромальний стан» (стан, що передує захворюванню). У цій фазі організм людини у дисбалансі, що може призвести до повернення його у норму чи переходу у фазу II. Фаза II характеризує гострий стан перебігу захворювання. Результатом перебування організму людини у цьому стані може стати повернення у фазу I і з неї до норми або перехід у

фазу III, що характеризується хронічним перебігом захворювання. IV фаза – найгірший випадок стану регуляторних систем організму. Ієрархічна складність серцевого ритму в цій фазі, що близька до нуля, характеризує виснаження регуляторних резервів, що може призвести до смерті.

Власне кажучи, ця площина відображає такі властивості серцевого ритму, як складність та варіабельність (амплітуда). У цій роботі зроблено спробу отримати кількісну оцінку різних аспектів цих показників та їх відповідність фізіологічним змінам, що відбуваються в організмі людини.

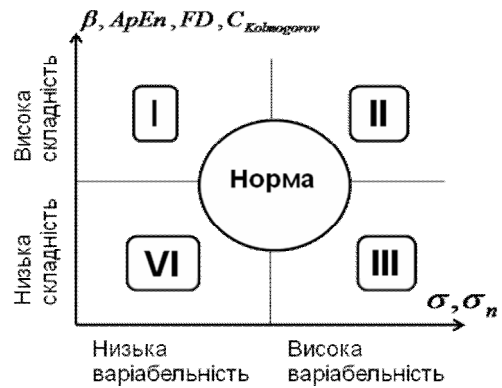


Рис. 1. Площина стохастичного гомеостазу

### Розробка програмного забезпечення

Методи нелінійної динаміки для оцінки складності поведінки добового серцевого ритму, а також основні методи оцінки біологічних сигналів, такі як часовий та частотний аналізи, було реалізовано у середовищі розроблення лабораторних віртуальних приладів NI LabVIEW 2009 [9], структурну схему програми зображено на рис. 2.

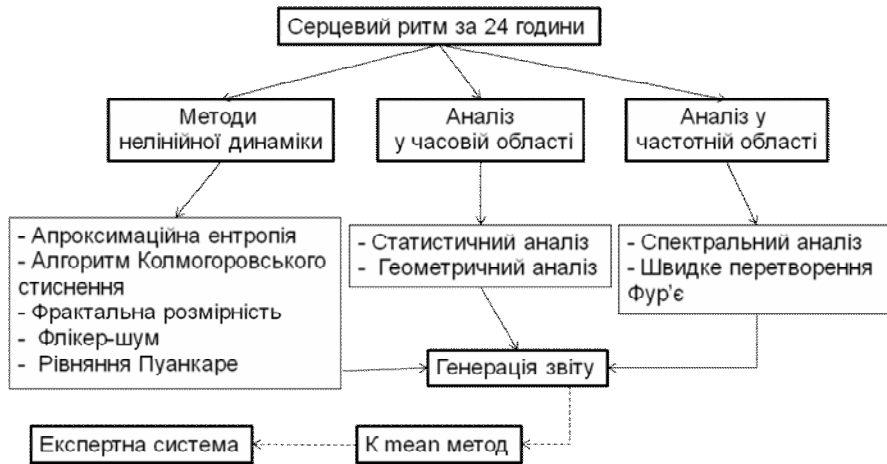


Рис. 2. Структурна схема програми аналізу стану адаптаційних резервів організму людини

Розроблена система аналізу добового серцевого ритму дає змогу завантажувати файли з даними RR-інтервалів за 24 години моніторингу людини. Далі завантажені дані аналізуються математичними методами у часовій (обчислення статистичних характеристик, побудова гістограми розподілу кардіоінтервалів) та частотній областях (швидке перетворення Фур'є, авторегресійний аналіз, побудова спектра щільності потужності). Також, програма може аналізувати вхідні дані методом автокореляційного аналізу, цифрової фільтрації та методами нелінійної динаміки (розрахунок показника апроксимаційної ентропії, флікер-шуму, фрактальної розмірності та алгоритмічної складності за Колмогоровим).

Система підтримує опцію очищення вхідного сигналу від шуму, створення звітів, що містять результати виконаних у програмі математичних обчислень, та інтерактивну систему допомоги користувачу.

До переваг розробленої програми можна зарахувати можливість збереження даних кожного з видів аналізу в один файл табличного типу, після чого дані пропонуються обробляти методами Data Mining для пошуку закономірностей.

## Висновки

Під час аналізу серцевого ритму, поряд із використанням стандартних математичних методів, пошук та застосування нових підходів дає змогу отримати нову інформацію про зміни серцевого ритму, а отже, про функціональний стан системи кровообігу. Одним із таких підходів є застосування методів нелінійної динаміки, оскільки у нормі серцевий ритм демонструє не періодичну, а хаотичну динаміку [11]. Кількісні показники складності поведінки добового серцевого ритму, отримані методами нелінійної науки, або синергетики, та їхнє розміщення на площині стахостичного гомеостазу Р. Юсупова та Р. Полоннікова характеризує стан адаптаційних резервів організму людини.

1. Жарінов О.Й., Куць В.О. Холтеровське та фрагментарне моніторування ЕКГ: Навч. посібник // Національна академія післядипломної освіти ім. П.Л. Шупіка МОЗ України. – К., 2010. – 128 с. 2. Баевский Р.М., Никулина Г.А. Холтеровское мониторирование в космической медицине: анализ вариабельности сердечного ритма // Вестник Аритмологии. – 2000. – С. 6–16. 3. Юсупов Р.М., Полонников Р.И. Телемедицина. Новые информационные технологии на пороге XXI века. – СПб.: Изд-во «Анатолия», 1998. – 488 с. 4. Лоскутов А.Ю., Михайлов А.С. Введение в синергетику. – М.: Наука, 1990. – 272 с. 5. Beckers F., Remaekers D., Aubert A.E. Approximate entropy of heart rate variability: validation of methods and application in heart failure. *Cardiovascular Engineering*. – 2001. – Vol. 1, #4. – P. 177–182. 6. Анализ вариабельности сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем: Методические рекомендации / Под ред. Р.М. Баевского и соавт. – М., 2002. 7. Nicolis G., Prigogine I. *Exploring Complexity*. – N.Y.: W.H. Freeman, 1989. 8. Goldberger A.L, Rigney D.R. Sudden death is not chaos. *Dynamic Patterns in Complex Systems*. – Singapore: World Scientific, P. 119–124, 1988. 9. Goldberger A.J., Rigney D.R., West B.J. Chaos and fractal in physiology // *Scientific Amer*. – 1990. – N 2. – P. 35–41. 10. Джефффри Тревис. LabVIEW для всех // ДМК Пресс; ПриборКомплект. – 2005. – 544 с. 11. Эйдукайте А., Варонецкас Г., Жемайтите Д. Применение теории хаоса для анализа сердечного ритма в различных стадиях сна у здоровых лиц // *Физиология человека*. – 2004. – Т. 30, № 5. – С. 56–62.