

УДК 519.711:616.12

О.К. Носовець

*Національний технічний університет України «КПІ», Київ*

## ПОБУДОВА СИСТЕМИ ДІАГНОСТИКИ СТАНУ КРОВООБІГУ ЗА ДОПОМОГОЮ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ЗВ'ЯЗКІВ МІЖ ПОКАЗНИКАМИ АРТЕРІАЛЬНОГО ТИСКУ

*В даній роботі досліджуються функціональні зв'язки між показниками діастолічного та систолічного артеріального тиску. Застосування методів кластерного та регресійного аналізу дозволило отримати сімейство регресійних моделей, що використані в якості номограм. Аналіз близькості показників артеріального тиску до регресійних рівнянь, а також їх динаміка по відношенню до кривих при багаторазовому вимірюванні дозволило не тільки діагностувати патологічні стани кровообігу, а також оцінювати ефективність заходів з їх усунення.*

**Ключові слова:** система кровообігу, артеріальний тиск, патологічний стан, діагностична система.

### Постановка проблеми

Однією з найбільш вагомих причин високої смертності серед населення є захворювання серцево-судинної системи. Це викликає необхідність в створенні системи діагностики, що використовуючи показники системи кровообігу, легко та достовірно дозволить виявити патологічні стани та на ранніх стадіях розпочати заходи з їх корекції.

**Мета роботи** є дослідження взаємозв'язку між показниками серцево-судинної системи та побудова системи діагностики патологічних станів та ефективності їх корекції.

### Матеріали та методи

В дослідженні були використані показники артеріального тиску (АТ) та частоти серцевих скорочень (ЧСС) двох груп обстежених:

В першу групу увійшли моніторингові записи систолічного (АТС) та діастолічного (АТД) артеріального тиску, а також показники ЧСС у 56 хворих в перші дві доби після операції протезування клапанів серця та/або аорто-коронарного шунтування. Вивчені показники при:

- 1- при перебігу післяопераційного періоду без ускладнень – 33 хворих;
- 2- помірній недостатності кровообігу – 15 хворих (ГСН 1-2 ст.);
- 3- тяжкій серцевій недостатності (ГСН 3 ст. та вище - 8 хворих.

Регістрація АТ та частоти серцевих скорочень виконувалась інвазивним катетерним методом в ранньому післяопераційному періоді за допомогою монітору SMC-108 Hellige (Германія). Було виконано 10263 автоматичних вимірювань вказаних показників з інтервалом 5 хвилин у кожного хворого. Час моніторингу становив 12-48 годин і знаходився в прямій залежності від тяжкості стану хворого.

Масиви даних містили послідовні виміри, які були накоплені в ході планового лікувального процесу, тобто були отримані не в зв'язку з постановою конкретних дослідницьких задач.

Вік хворих знаходився в межах від 17 до 56 років ( $M \pm SD = 49 \pm 16$ ) років.

В другу групу ввійшли дані добового моніторингу 6 практично здорових осіб. Вік обстежених знаходилися в межах від 33 до 64 ( $M \pm SD = 44,6 \pm 10,5$ ) років. Було виконано 579 вимірювань з інтервалом 30 хвилин. Використовувався апарат Cardiosoft Holter (Германія).

В якості тестової групи були використані дані моніторингу 11 хворих віком від 40 до 79 ( $M \pm SD = 57 \pm 10,6$ ) років. Показники АТС, АТД та ЧСС реструвались за допомогою тонометра A&D Medical UA-878 (Японія). Було виконано 790 вимірювань з інтервалом 30 хвилин. Першочерговим завданням при виконанні дослідження є виявлення однорідних по типу функціонального зв'язку між показниками груп. Було використано два методи кластерного аналізу. Ієрархічний кластерний аналіз [1] та метод

кластерного аналізу розроблений на базі HICX ім. Н.М. Амосова [2]. Останній метод, завдяки використанні так званого «ланцюгового» ефекту, дозволяє відтворити взаємозв'язки між показниками АТС та АТД, як співвідношення, отримані всередині кожного кластеру для першої та другої групи обстежених.

Для побудови математичних моделей, що відповідають окремим патернам було застосовано регресійний аналіз. Загальний алгоритм обробки даних мав наступний вигляд:

1. Дані моніторингу АТ та ЧСС були перевірені на нормальність за допомогою методу Колмогорова-Смирнова. Аномальні значення показників, зв'язані з погрішностями вимірювань із розгляду виключались.

2. Застосування методів кластерного аналізу, для окремих груп даних для виявлення кластерів, що відображають залежність  $АДД=f(АДС)$ .

3. Застосування методу регресійного аналізу для побудови залежностей у вигляді степеневих поліномів, максимізуючих коефіцієнт детермінації для груп обстежених по отриманим кластерам та окремих хворих при багаторазовому моніторингу показників АТ.

4. Об'єднання отриманих регресійних рівнянь в однорідні підгрупи з метою отримання узагальнених патернів взаємозв'язку показників, що досліджуються.

5. Виділення єдиного рівняння регресії для кожної однорідної підгрупи, яке в подальшому використовувалось в якості функціонального патерну, тобто в якості регуляторної характеристики артеріального тиску.

Отримані математичні моделі використовувалися для побудови номограм, що можуть бути застосовані для оцінки стану системи кровообігу та дослідження ефективності лікувальних заходів з усунення патологічних станів.

Номограми оцінки стану системи кровообігу були використані для побудови системи діагностики. Було прийнято рішення створювати систему у вигляді Rich Internet application (RIA) за допомогою технології Adobe Flex. База даних для збереження показників АТ створена на основі MySQL.

## Результати та обговорення

**Аналіз побудованих номограм.** В результаті застосування вказаного алгоритму було виявлено п'ять функціональних залежностей в області простору  $АТД=f(АТС)$  (рис. 1). Отримані регресійні рівняння, мали форму опуклих кривих. Кожна з них мала область лінійного росту при невеликих значеннях АТС. Але при АТС більше 140 мм рт.ст. значення АТД стабілізувалося, крива утворювала плато з наступним незначним зростанням при збільшенні систолічного артеріального тиску.

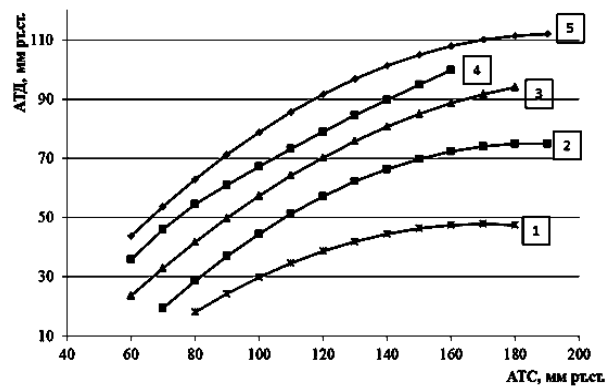


Рис. 1. Номограма залежностей діастолічного та систолічного тиску: 1 – гостра серцева недостатність, 2 – хронічна серцева недостатність, 3 - серцева недостатність невисоких ступенів, 4 - нормальна регуляція, 5 - артеріальна гіпертензія.

Залежності рис. 1 були інтерпретовані наступним чином (знизу вгору):

1. Гостра серцева недостатність. Розвиток патологічного стану серця, при якому недостатньо забезпечується кровопостачання організму хворого без допомоги компенсаторних механізмів [3].

2. Хронічна серцева недостатність III-IV ФК. Клінічний синдром з прогресуючим характером, який виникає внаслідок будь-якої серцевої патології, яка погіршує скоротливу здатність шлуночків, що призводить до порушення адекватного кровопостачання органів і тканин. Типовими рисами якого є зниження толерантності до фізичних навантажень, затримка в організмі рідини і обмеження тривалості життя.

3. Хронічна серцева недостатність I-II ФК. Патологічний синдром, за якого внаслідок того або іншого захворювання серцево-судинної системи відбувається незначне зниження насосної функції серця, що призводить до дисбалансу між гемодинамічною потребою організму й можливостями серця

4. Нормальна регуляція системи кровообігу.

5. Високий периферичний судинний опір, пов'язаний з фізичним навантаженням або з наявністю артеріальної гіпертензії, що викликана наступними змінами в організмі:

- звуження і втрата еластичності судин
- збільшення м'язової маси лівого шлуночка серця (гіпертрофією)
- прогресування атеросклерозу
- збільшення навантаження на нирки

Регресійні рівняння, що відповідають вищезазначеним залежностям були апроксимовані поліномами другого ступеня зі статистично значимим ( $p < 0,001$ ) показником детермінації ( $R^2$ ), близьким до одиниці у всіх випадках. У наведених нижче формулах артеріальний систолічний тиск (АТС) позначено символом «x».

$$1. АТД = -0,0037x^2 + 1,2559x - 58,747, R^2 = 0,9934.$$

$$2. АТД = -0,0042x^2 + 1,5532x - 68,984, R^2 = 0,9868.$$

3. АТД =  $-0,0032x^2 + 1,3542x - 46,123$ ,  $R^2 = 0,9911$ .

4. АТД =  $-0,0011x^2 + 0,8294x - 4,6969$ ,  $R^2 = 0,9925$ .

5. АТД =  $-0,0039x^2 + 1,5x - 32,196$ ,  $R^2 = 0,9927$ .

Отримані залежності розглядалися як номограми, що відображають величину АТД конкретного хворого при фіксовану значенні АТС.

Нанесення показників АТ обстежених з тестової групи дозволило оцінити ефективність отриманих моделей для виявлення патологічних станів.

**Розробка системи діагностики.** Дана система створена з метою діагностики нормального або патологічного станів кровообігу системи, а також вивчення динаміки патологічних або відновлювальних процесів. Своєчасне діагностування патологічних порушень та призначення адекватної лікувальної терапії може в значній мірі знизити смертність від захворювань серцевої системи.

Для реалізації поставлених завдань розроблена система мала забезпечувати виконання перерахованих нижче функцій:

- працювати в найпоширеніших операційних системах;
- функціонувати однаково при роботі в різних браузерях;
- створення акаунту для кожного окремого користувача;
- надання доступу користувачеві до своїх даних через мережу Internet;
- збереження основної інформації про користувача (вік, вага, зріст), а також показників АТ та ЧСС на сервері для багаторазового використання системи;
- нанесення введених показників на номограми;
- аналіз розташування нанесених показників;
- візуалізація динаміки зміни розташування нанесених показників в залежності від дії лікувальних заходів або психофізичного навантаження;
- виведення на екран попереднього заключення про стан системи кровообігу та стан мікроциркуляторної системи;
- надання адміністратору доступу до бази даних, що містить показники АТ та ЧСС.

Система має працювати в двох режимах:

- користувач. Дії користувача обмежені власним акаунтом, доступу до показників інших користувачів немає.
- адміністратор. Дії адміністратора не обмежені, наявний доступ до даних всіх користувачів.

Алгоритм роботи програми представлений на рис. 2.

Заключення про стан системи кровообігу формується в залежності від близькості введених даних до гілок номограм.

Для початку роботи необхідно пройти авторизацію або реєстрацію (рис. 3), під час якої генерується акаунт та в БД заносяться дані про користувача.



Рис. 2. Алгоритм роботи розробленої системи



Рис. 3. Авторизація користувача

Додавання показників АТ та ЧСС можливо двома варіантами:

- додавання в БД одноразового вимірювання показників;
- завантаження результатів багаторазового вимірювання показників з ПК в форматі *xlx*.

Для аналізу реакції системи кровообігу на прийом препаратів або на психофізичне навантаження є можливість робити мітки про наявність зовнішнього впливу при реєстрації АТ.

Адміністратор має змогу внести до БД показники багатьох обстежених, вибравши відповідний файл *xlxs*, а також згенерувати файл з даними про

показники всіх користувачів, що користувалися системою.

При введенні даних користувачем, вони автоматично наносяться на відповідні номограми (рис. 4).

Варто відмітити, що при нанесенні результатів багаторазового вимірювання більш ранні показники будуть відмічені блідим кольором, таким чином чим інтенсивніший колір - тим більш недавні показники.



Рис. 4. Результат нанесення даних на номограму

Система автоматичного досліджує близькість нанесених показників до кривих номограми та вносить висновок про стан системи кровообігу та про динаміку змін, що відбувається під впливом лікувальних заходів або пад впливом зовнішнього впливу.

Розроблена система виконує всі поставлені вимоги та надає інформацію про стан системи кровообігу.

### Висновки

АТС та АТД пов'язані між собою залежностями нетривіальної форми, які відображають стан серця та артеріальної системи. Вони можуть бути використані в якості номограм в широкому діапазоні функціонування організму (у здорових осіб в умовах психофізичних навантажень і спортсменів), а також

для побудови системи діагностики порушень кровообігу та оцінки ефективності їх корекції.

### Список літератури

1. Воронцов К. В. *Лекции по алгоритмам кластеризации и многомерного шкалирования* – 2007. – 180 с.
2. Nastenکو E.A. *The use of Cluster Analysis for Partitioning Mixtures of Multidimensional Functional Characteristics of Complex Biomedical Systems // J. of Automation and Information Sciences.* – 1996. – Vol. 28. – N 5-6. – P. 77-83.
3. *Физиология кровообращения. Регуляция кровообращения.* –Л.: Наука, 1986. – 640 с.

Надійшла до редколегії 1.10.2012

**Рецензент:** канд. техн. наук, д-р біол. наук, с.н.с. Є.А. Насенко, Національний технічний університет України «КПІ», Київ.

### ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ КРОВООБРАЩЕНИЯ ПРИ ПОМОЩИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВЯЗЕЙ МЕЖДУ ПОКАЗАТЕЛИ АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ

Е.К. Носовец

*В данной работе исследуются функциональные связи между показателями диастолического и систолического артериального давления. Применение методов кластерного и регрессионного анализа позволило получить семейство регрессионных моделей, использованных в качестве номограмм. Анализ близости показателей артериального давления к регрессионным уравнениям, а также их динамика по отношению к кривым при многократном измерении позволило не только диагностировать патологические состояния системы кровообращения, но и оценивать эффективность мер по их устранению.*

**Ключевые слова:** система кровообращения, артериальное давление, патологическое состояние, диагностическая система.

### CONSTRUCTION OF DIAGNOSTIC SYSTEM OF THE CONDITION OF CIRCULATORY SYSTEM WITH FUNCTIONAL RELATIONSHIPS BETWEEN BLOOD PRESSURE

E.K. Nosovets

*Abstract. In this paper examines functional relationship between diastolic and systolic blood pressure. The use of methods of cluster analysis and regression analysis allowed to receive a family of regression models that used as nomograms. Proximity analysis of arterial pressure to regression equations, as well as their dynamics with respect to the curves with multiple measurement allowed us not only to diagnose pathologies of the circulatory system, but also to evaluate the effectiveness of treatment interventions.*

**Keywords:** circulatory system, blood pressure, pathological condition, the diagnostic system.