

**МОДЕЛЬ СЕРЦЕВО-СУДИННОЇ СИСТЕМИ ЛЮДИНИ**

А.М.Ковальова, С.О. Струнина, М.Б.Закацюра, О.В. Навара

ММІФ НТУУ «КПІ»

На основі сучасних літературних даних розроблені варіанти зображення серцево-судинної системи за допомогою електричних схем, що відкриває нові можливості моделювання фізіологічних процесів в нормі і при патології

**Ключевые слова:** серцево-судина система, електричні схеми.

Захворювання серцево-судинної системи на сьогодні займають перше місце серед проблем здоров'я людства. Тому було вирішено дослідити модель серцево-судинної системи в різних умовах функціонування, щоб систематизувати знання та покращити методи діагностики та лікування.

Модель серцево-судинної системи людини включає в себе три основних компонента. Перший – це зосереджені параметри моделі ударного об'єму серця і кровообігу, які можуть бути реалізовані як підготовка моделі серце-легені (як цілісної системи) так і для проектування серцевих функціональних кривих, або для системної підготовки, призначеної для вимірювання венозних кривих. Другим компонентом є короткострокова регулярна системна модель, яка включає барорефлекс артеріальної системи, барорефлекс серцевої системи, а також прямі нейронні зв'язки між механізмом дихання і серцевих скорочень. Останній компонент є моделлю фізіологічного спокою збурень, які включають дихання, ауторегуляції в місцевих судинних руслах (екзогенні порушення системного артеріального опору), а також високу активність мозкового центру, нанесеного на вегетативну нервову систему ( $1 / F$  екзогенних занепокоєнь серцевого ритму) [2].

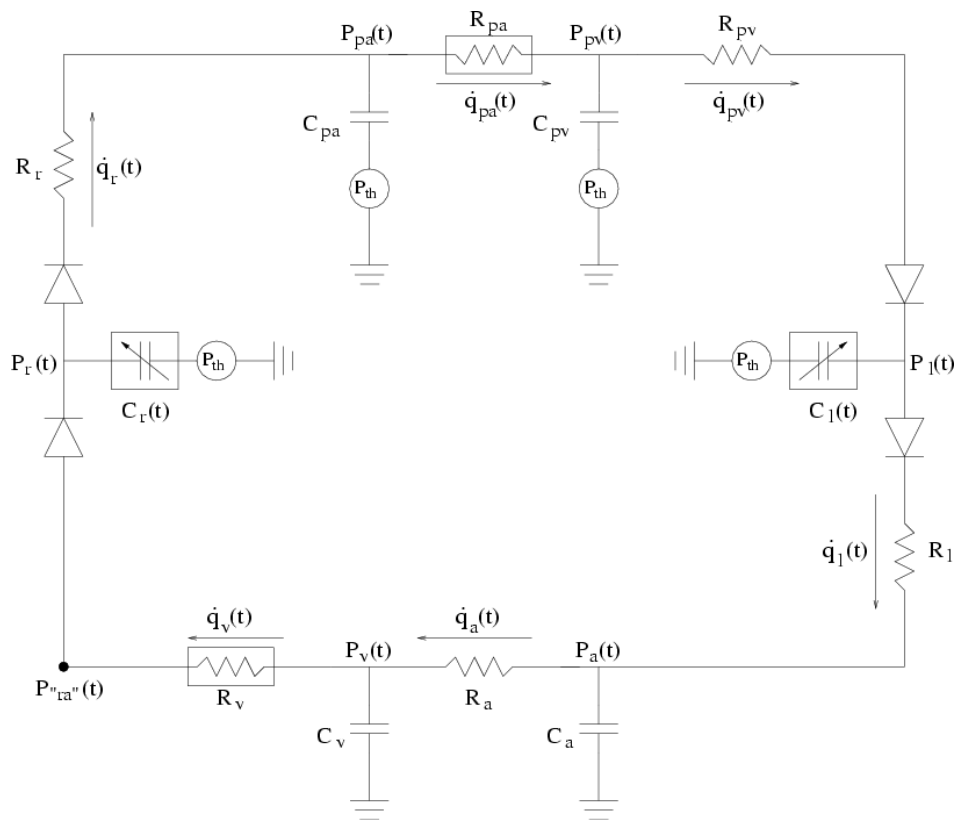


Рис. 1 Електричний схемний аналог непошкодженого людського пульсуючого серця і кровообігу.

На рис.1 показана модель серця і кровообігу з параметрами аналогових електричних схем. В цій схемі, напруження аналогічне об'єму крові ( $Q$ , мл), потік крові – кровотоку ( $q$ , мл / с), і напруга – тиску ( $P$ , мм рт.ст.). Модель складається з шести компонентів, які представляють лівий і правий шлуночки ( $l,r$ ), системні артерії і вени ( $a, v$ ), легеневі артерії та вени ( $pa, pv$ ). Кожна частина складається з каналу для вузької течії крові з опором ( $R$ ) і конденсатора ( $C$ ) і об'єму ( $P_{th}$ ). Два

опори носять нелінійний характер. Системний венозний опір представлений резистором Старлінга, а в легеневій артерії опір представлено нескінченним числом паралельних резисторів Старлінга (тиск в камері дорівнює альвеолярному ( $alv$ ) тиску), розташованих по вертикалі, один на іншим. Відношення об'єму до тиску у лівому і правому шлуночках підпорядковуються по суті лінійному режиму, діастолічне обмеження об'єму – , а також обмеження систолічного тиску –

. Співвідношення в лінійному режимі шлуночків (відношення тиск-об'єм) а також частота серцевих скорочень ( $F$ ) періодично змінюються з часом (час визначається саме на кінцевій діастолічній відповідності ( $ed$ ), кінцевий систолічний ( $es$ ) відповідності) і несуть відповідальність за управління потоком крові. Чотири ідеальних діоди представляють шлуночки припливу і відтоку клапанів та забезпечують однонаправлений потік крові. Нарешті, вихідний тиск встановлений як внутрішньо-грудний ( $th$ ) тиск для шлуночка та легеневого відділення [1]

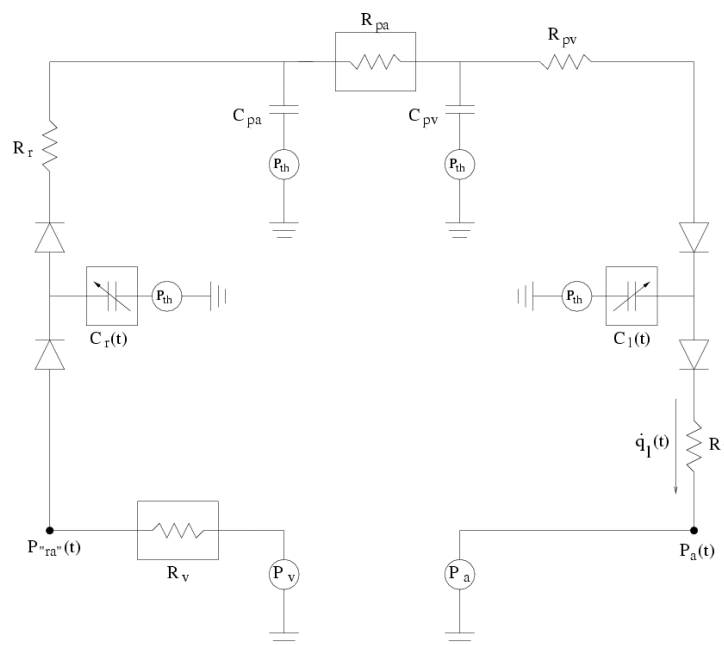


Рис. 2 Електрична схема моделі серце-легені призначена для вимірювання функціональних серцевих кривих.

Рис. 2 ілюструє аналогове електричне коло з параметрами моделі людського серця. Тиск на вході в систему серце-легені, де праве передсердя було б розташоване, якби було включене в явному вигляді до моделей, визначається як  $P_{in}$ . Крива функції серця може бути отримана з різних незалежних джерел напруги  $U_{in}$  і часу усереднення  $\tau$  залежно від  $P_{in}$ .

На рис. 3 показано аналогове електричне коло із зосередженими параметрами моделі, підготовленої до кровообігу. Венозні криві можуть бути виміряні, регулюючи значення в кінці діастоли  $P_{in}$  для того, щоб змінювався  $P_{in}$  – тиск, який сприяв потоку в правий шлуночок – і час усереднення  $\tau$  з результатом  $P_{in}$ . Зверніть увагу, що незалежне джерело струму тут ( $I_{in}$ ), означає, що системний ( $ms$ ) тиск являється постійними протягом періоду вимірювання при незалежному закачуванні в системний кровотік [4].

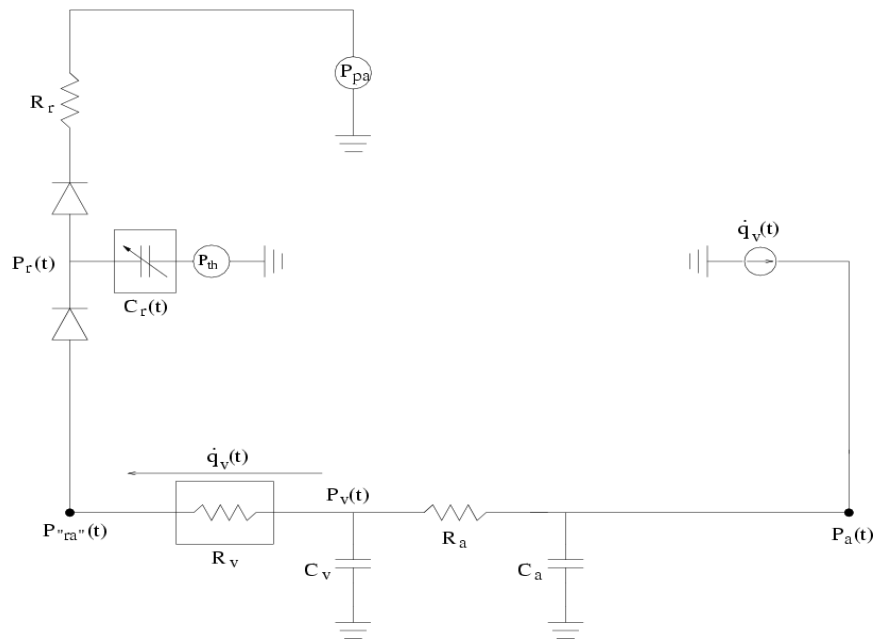


Рис. 3 Аналогова електрична схема людини, призначена для вимірювання венозних кривих.

Барорефлекс артеріальної дуги здійснюється відповідно до системи зворотного зв'язку, показаної на рис. 4. Ця система спрямована на відстеження установки ( $sp$ ) тиску через наступну послідовність подій. Барорецептори передають сигнал тиску на вегетативну нервову систему (ВНС). ВНС порівнює відхилення між відчутим тиском і нульовим, а потім реагує шляхом коригування чотирьох параметрів пульсуючого серця і кровообігу. Чотири регульованих параметри, в кінці систоли ( $F(t)$ ,  $\dots$ ), ( $\dots$  та  $\dots$ ). ВНС контролює ці параметри на основі історії  $\dots$  конкретно у відповідності з наступною нелінійністю динамічного відображення:

де  $a_p$  – любий з чотирьох параметрів,  $\arctan$  – функція (константа ( $S$ )),  $p(t)$  і  $s(t)$  – поодинокі механізми, див. рис. 5.

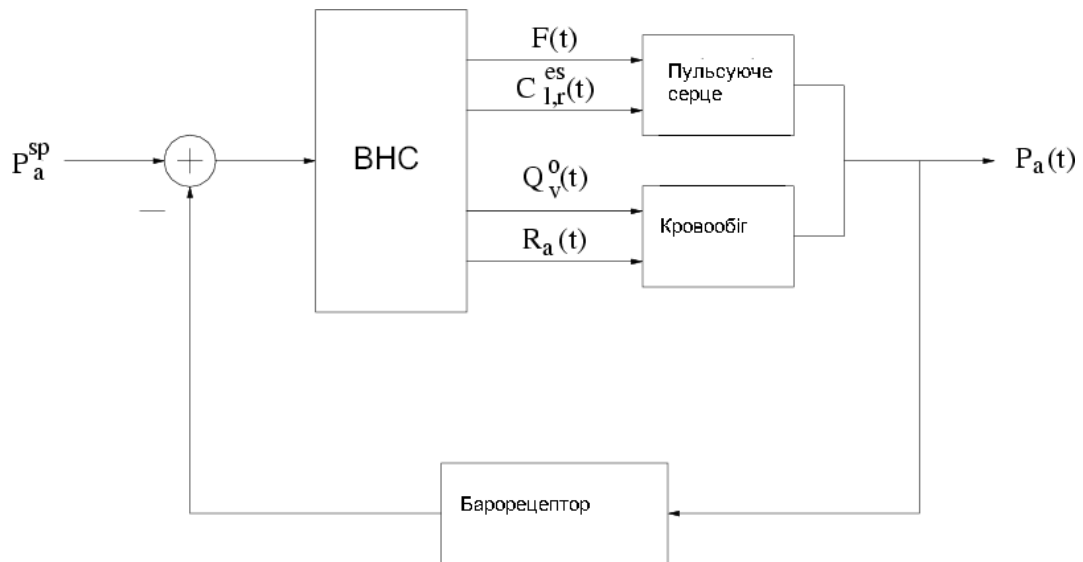


Рис.4 Блок-схема зворотного зв'язку що зображає артеріальну барорефлекс дугу.

Серцево-легенева барорефлекс дуга, відтворена згідно діаграмі зворотного зв'язку, аналогічна рис.4. Проте, відчутий тиск, що був тут визначений, стає ефективним правильним трансмуральним тиском ( ) пульсуючої серцевої моделі, що відноситься до передсердя [3].

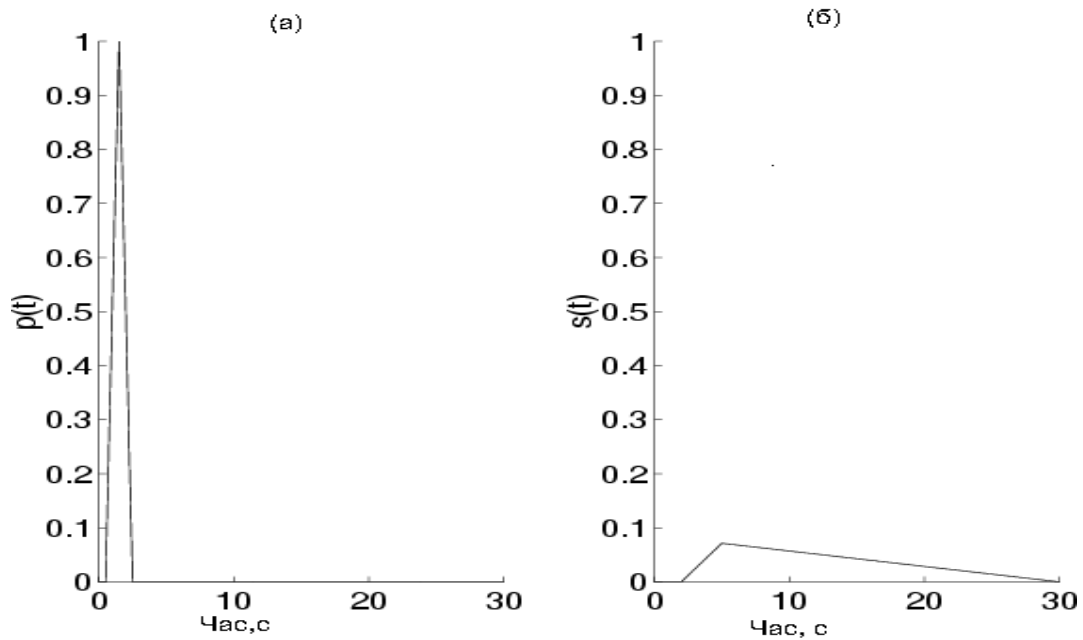


Рис. 5 Група механізмів представлена (а) швидкими, парасимпатичними кінцівками і (б) повільнішими, симпатичними кінцівками.

Ці механізми характеризують динамічні властивості блоку ВНС, промаркованих на рис. 4. Прямі нейронні зв'язки між механізмом дихання і серцевого ритму характеризується стаціонарним лінійним імпульсом який відображає миттєві коливання обсягу легенів. Імпульсні характеристики визначаються лінійною комбінацією, кожна з яких є передовою в сфері часу 1,5 с, для обліку цього механізму.

**Висновки.** Широке поширення одержали моделі прямої аналогії з електричними схемами. У таких моделях напруга і електричний струм служать аналогами тиску і об'ємного кровотоку. Кожна судина характеризується опором і в електричній схемі представляється як провідник, конденсатори і котушки індуктивності. Омичний, ємнісний і індуктивний опір моделюють гідравлічний опір

в'язкого тертя, пружно-еластичні властивості стінок судини і інерційні властивості маси крові відповідно. Поєднуючи ділянки електричної схеми, що представляють окремі судини, отримали електричні схеми, що описують кровоносну систему в цілому.

### **Література**

1. Ramakrishna Mukkamala, Joanne M. Mathias, Thomas J. Mullen, Richard J. Cohen, and Roy Freeman. System identification of closed-loop cardiovascular control mechanisms: Diabetic autonomic neuropathy. *Am J. Physiol.*, 276:R905-R912, 1999.
2. Ramakrishna Mukkamala, Derin A. Sherman, Roger G. Mark, and Richard J. Cohen. A nonlinear, computational model of the pulsatile heart and circulation. *Submitted to Am J. Physiol.*
3. Ramakrishna Mukkamala, Karin Toska, and Richard J. Cohen. Noninvasive identification of the total peripheral resistance baroreflex. *Am J. Physiol.*, 284(3):H947-H959, 2003.
4. Thomas J. Mullen, Marvin L. Appel, Ramakrishna Mukkamala, Joanne M. Mathias, and Richard J. Cohen. System identification of closed-loop cardiovascular control: Effects of posture and autonomic blockade. *Am J. Physiol.*, 272:H448-H461, 1997.

## **МОДЕЛЬ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ ЧЕЛОВЕКА**

**А.М.Ковальова, С.О. Струнина, М.Б.Закацюра, О.В. Навара**

Исходя из современных литературных данных разработаны варианты изображения сердечно-сосудистой системы при помощи электрических схем, что открывает новые возможности моделирования физиологических процессов в норме и патологии.

**Ключевые слова:** сердечно-сосудистая система, электрические схемы.

## **MODEL OF CARDIOVASCULAR SYSTEM OF THE HUMAN**

**A.M.Kovalyova, S.O. Strunina, M.B.Zakatsura, O.V. Navara**

Coming from modern literary, data is developed type of cardiovascular system image



through electric charts and diagrams that opens new possibilities to design of physiological process in a normal and pathology

**Key words:** Cardiovascular system, electric charts.