

---

УДК 621:616.12

В.С. Якимчук

Національний технічний університет України «КПІ», Київ

## КОНЦЕПЦІЯ МЕТОДУ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ДІАГНОСТИКИ ДЛЯ ОЦІНКИ СТАНУ СЕРЦЕВО-СУДИННОЇ СИСТЕМИ

*Розглянуто критерії оцінки функціонального стану серцево-судинної системи організму людини. Для підвищення достовірності діагностики і оцінки стану серцево-судинної системи проаналізовано склад газових компонентів, що людина видихає, оскільки він в інтегрованій формі відображає процеси метаболізму в організмі людини. Розроблено експрес-метод діагностики для визначення функціонального стану серцево-судинної системи організму за аналізом проби повітря, яке видихається людиною. Основу запропонованого методу складає: набір селективних сенсорів, підсилювач сигналів, аналого-цифровий перетворювач, програмне забезпечення та програма для візуалізації результатів.*

**Ключові слова:** функціональна діагностика, функціональний стан систем, сенсори, серцево-судинна система, експрес-діагностика.

### Вступ

Досі немає чіткого визначення «здоров'я». Воно тлумачиться як якісне поняття меж «норми»: нормальна температура тіла, нормальний склад цукру в крові, нормальна кількість еритроцитів, нормальний тиск, нормальна електрокардіограма тощо. З появою нових методик визначення різних показників функціонального стану систем організму (ФССО), список статистичних показників норми «здоров'я» постійно збільшується.

Визначати поняття «здоров'я» як комплекс нормальних показників недостатньо, потрібно брати до уваги кількісний підхід – «кількість здоров'я». Кількість здоров'я можна визначити як суму «резервних потужностей» основних функціональних систем організму. Відповідно, ці резервні потужності потрібно виражати через «коефіцієнт резерву».

Функціональний стан організму (ФСО) – це стан живої системи, який визначає рівень життєдіяльності організму, системну відповідь на фізичне

навантаження, і дає змогу оцінити рівень адаптації організму до навколишнього середовища і до поставлених йому завдань.

Останнім часом значно збільшилась кількість масових обстежень різних груп населення, які відрізняються за віком, статтю та іншими ознаками [1]. Головною метою досліджень є оцінка поточного функціонального стану організму обстежуваних осіб, особливо їхньої серцево-судинної системи, для створення функціонального моніторингу (метод функціональної діагностики) загального рівня здоров'я. Як засвідчує аналіз результатів існуючих експериментальних досліджень, здебільшого виникає потреба в аналізі комплексу функціональних показників, що не завжди сприяє об'єктивній оцінці поточного ФСО [2]. Очевидно, що головна проблема зазначених наукових досліджень – відсутність інтегральних параметрів, за якими можна було б схарактеризувати поточний стан організму та його потенційні функціональні можливості.

**Мета роботи** – розглянути та обґрунтувати доцільність створення методу діагностики функціонально-

го стану серцево-судинної системи на основі аналізу газових компонентів проби повітря, що видихається людиною з серцево-судинними захворюваннями.

### **Основна частина**

Важливою системою регулювання функціонального стану організму людини є серцево-судинна система (ССС). Наприклад, серце саме себе регулює: що більша сила його скорочення (систола), то більше крові прибуло в його камери під час паузи (діастола). Кров прибуває до серця за рахунок енергії розтягнення аорти та великих її гілок під час систоли.

Серце – це м'язовий орган, який виконує механічну роботу, і його потужність можна підрахувати в загальноприйнятих одиницях.

Зупинимось на підсистемі «газообміну» в організмі людини. В її склад входить серце, судини та легені. Будь-який з цих компонентів може обмежити максимальну функцію доставки кисню до тканин і вивільнення вуглекислоти. Значення легенів в газообміні менше порівняно з серцем, але при умові відсутності хвороби. При навантаженні серця тренуються: об'єм легенів, кількість діючих легеневих альвеол, прохідність бронхів.

Інші підсистеми мають також негативний вплив на газообмін. «Система напруги» (оцінює загрозу та включає емоції страху, гніву, горя і радості, її черговість складових: кора – підкірка – гіпоталамус – гіпофіз – наднирники – кров – клітини) порушує регулювання, виникають спазми коронарних артерій, змінюється ритм серця [3]. Зміна сполучної тканини в серці та в судинній стінці відбувається в результаті неправильного харчування та інфекції, що обмежує надходження кисню до клітин. Ендокринна система змінює регулювання. Органи людини можуть бути у важкому стані, якщо в аорту надходить кров з недостатньою кількістю кисню.

Рівності в постачанні органів кро'ю немає, й привілейовані – мозок та серце – отримують свою частину навіть, якщо інші органи недоотримають. В цьому випадку мозок нормально функціонує, проте короткий період часу, так як в клітинах накопичуються продукти неповного окислення. В результаті вони отруюють кров, і навіть функціонування легенів не рятує організм. Розвивається гіпоксія (кисневе голодування) при зрушеннях у кислотно-лужній рівновазі (рН), і це призводить до великої кількості негативних наслідків. Тому адекватний газообмін (газопостачання) – необхідний критерій здоров'я.

Варто зауважити, що для збереження здорового організму людині необхідно дотримуватись правильного харчування, мати фізичні навантаження, бути стійкою до стресових ситуацій та займатись загартуванням. Недотримання перерахованих факторів призведе до розвитку хвороб та погіршення «функціонального стану організму».

Фізичне здоров'я людини – це не лише відсутність хвороби, але й відповідний рівень фізичної

підготовки та функціонального стану систем організму. Важливим критерієм фізичного здоров'я вважають енергопотенціал, тобто можливість споживати енергію з навколишнього середовища, накопичувати її та мобілізувати для забезпечення фізіологічних функцій. Що більше організм може накопичити енергії, використовуючи її ефективно, то вищий рівень функціонального стану систем організму. Ще одним критерієм фізичного здоров'я людини є величина споживання кисню в одиниці часу. Відповідно, що вищий показник максимального споживання кисню, то вищий рівень здоров'я у людини.

Відмітимо, що транспортна система по переносу кисню включає систему зовнішнього дихання, систему крові та серцево-судинну систему. Кожна з цих систем вносить свій вклад у величину максимального споживання кисню, а порушення однієї з ланок призводить до негативних наслідків.

Зв'язок між величиною максимального споживання кисню та станом здоров'я людини вперше був виявлений американським лікарем Купером. Він з'ясував, що люди, які мають рівень максимального споживання кисню 42 мл/хв/кг і вище, не страждають хронічними захворюваннями та мають показник артеріального тиску (АТ) в межах норми. Більше того, був встановлений тісний зв'язок величини максимального споживання кисню та факторів ризику ішемічної хвороби серця: що вищий рівень аеробних можливостей, то кращий показник АТ, холестеринного обміну та ваги тіла. Мінімальна гранична величина максимального споживання кисню для чоловіків становить 42 мл/хв/кг, для жінок – 35 мл/хв/кг, що позначається як безпечний рівень соматичного здоров'я людини.

Визначити фактичну величину максимального споживання кисню можливо двома способами:

1. Прямий метод (за допомогою газоаналізатора).
2. Непрямий метод (використання функціональних тестів).

Визначити максимальне споживання кисню прямим методом достатньо важко. Він вимагає застосування дорогої апаратури, наявність чутливих сенсорів – саме концепцію цього методу пропонуємо для оцінки ФСО з серцево-судинними захворюваннями. Розрахунок величини максимального споживання кисню непрямим методом має невелику похибку, якою можна знехтувати, адже в усіх інших показниках це доступний та інформативний метод для оцінки функціонального стану систем організму людини.

Рішення про функціональний стан людини у більшості відомих методах приймається шляхом порівняння показників діагностування її інформативних параметрів з розробленою на основі багаторазових спостережень у здорових осіб стандартною моделлю норми. Проте для адекватної оцінки стану здоров'я конкретної людини необхідно враховувати індивідуальні особливості її організму. Так, напри-

клад, у людей похилого віку, в яких у багатьох випадках спостерігається дещо знижений рівень енергетики, інформативні параметри функціонального стану можуть відрізнятися від середньостатистичної норми. Також є багато людей, які з різних причин мають відмінні від існуючої моделі норми фізичні показники (тиск, вага тощо). Так, зокрема, спортсмени, які систематично виконують певні фізичні навантаження, також можуть мати показники, що будуть відрізнятися від параметрів середньостатистичної норми.

До найбільш інформативних показників динаміки ФС відносять різні параметри роботи серцево-судинної та дихальної систем: частота серцевих скорочень, величина артеріального тиску, стан різних відділів судинного русла, частота та глибина дихання тощо [4, 5]. Розвиток станів напруги і втоми, які пов'язані зі збільшенням енергетичних витрат, призводить до збільшення частоти серцевих скорочень, підсилення газообміну та інших параметрів, які вказують на зміни в енергетичному балансі організму.

Ендотелій має вагомий вплив на функціональний стан організму. Ендотелій – одношаровий пласт плоских клітин мезенхімного походження, який покриває внутрішню поверхню кровоносних та лімфатичних судин, серцевих порожнин. Він синтезує важливі субстанції для контролю згортання крові, регуляції тонуусу та АТ, функції фільтрації нирок, скорочувальної активності серця, метаболічного забезпечення мозку.

Ендотеліальні клітини безперервно виготовляють біологічно активні речовини, які перебувають в стані динамічного балансу. Дисбаланс в продукції цих речовин можна визначити як дисфункцію ендотелію. 1998 року після отримання Нобелівської премії в області медицини Ф. Мурадом, Р. Фуршготом та Л. Ігнарро, була сформована теоритична основа для нового напрямлення фундаментальних і клінічних досліджень в сфері артеріального тиску та інших серцево-судинних захворювань (ССЗ): розробка участі ендотелію в патогенезі ССЗ і способи ефективної корекції його дисфункції. Важливою подією стало відкриття ключової ролі окис азоту (NO) в регуляції серцево-судинних реакцій: нормального судинного тонуусу, підтримка нормальної структури судинної стінки, балансу протромботичних та антитромботичних реакцій.

Порушення функції ендотелію виражається, в першу чергу, в зниженні синтезу NO і підвищенні базального тонуусу судин, підвищенні загального периферичного судинного опору та порушення ендотелій-залежної вазодилатації та вазоконстрикторних реакцій.

NO є активним регулятором процесу тромбоутворення: при агрегації тромбоцитів включається NO-залежний механізм від'ємного зворотнього зв'язку, який обмежує цей процес. Відповідно, зниження продукції окис азоту в пошкодженому епіте-

лії сприяє агрегації тромбоцитів, адгезії лейкоцитів, вазоконстрикції та подальшому прогресуванню атеросклерозу й розвитку тромбозу. Таким чином, епітелій є об'єднуючою ланкою між метаболічними та морфологічними порушеннями в сучасній концепції атеротромбозу.

Дефіцит ендотеліального NO та його маркера (дисфункція ендотелію) – це ранні та необхідні передвісники серцево-судинного ремоделювання. Важливим фактом є те, що ця схема закликає до корекції дисфункції ендотелію на ранніх етапах серцево-судинних захворювань. Але з іншого боку необхідно враховувати роль погіршення роботи ендотелію і на останніх етапах, при проведенні вторинної профілактики, коли дисфункція ендотелію може бути маркером прогресування ССЗ.

Відомо, що атеросклероз та ремоделювання судинного русла клінічно асоціюються зі стенокардією, інфарктом міокарда, порушенням мозкового кровообігу та транзиторними ішемічними атаками, ішемічним ураженням нижніх кінцівок (пізнім проявом атеросклерозу та ремоделювання судинного русла). Вище викладений матеріал підтверджує необхідність створення практично доступних методів діагностики дисфункції епітелія, що, в свою чергу, вимагає ще більшого вивчення зв'язку дисфункції епітелія з ССЗ та нових шляхів її корекції.

Проаналізуємо запропоновану концепцію методу функціональної діагностики. Цей метод аналізує пробу повітря, яке видихається, на вміст газових компонентів. Він реалізований у вигляді програмно-апаратного комплексу. Розповсюджена назва – «Електронний ніс» (E-nose, EN).

Електронний ніс – це тип аналізатора газових сумішей на основі різномірних (нерівнозначних) сенсорів, що імітує роботу людського органу нюху. EN забезпечує впізнаваний візуальний образ специфічної суміші (компоненти газової проби), яка може містити сотні різних хімічних сполук. EN розроблений як універсальний детектор, який кількісно визначає і характеризує всі типи запахів.

До складу розробленого приладу «Електронний ніс» входять: вологопоглинач, набір електродіодних сенсорів (в цьому варіанті 7 сенсорів) С1 – С7, сім підсилювачів сигналів, аналоговий мультиплексор, аналого-цифровий перетворювач (АЦП). Прилад приєднується до комп'ютера за допомогою АЦП для формування бази даних з результатами вимірів і супровідною інформацією (рис. 1).

Технічні параметри програмно-апаратного комплексу залежать від параметрів селективних сенсорів, тому вибір типу, кількості і параметрів чутливості сенсорів є важливим етапом в проектуванні такого пристрою. Цей програмно-апаратний комплекс дозволяє реєструвати концентрації газових компонентів повітря, яке видихається, відобразити динаміку змін сигналів у режимі реального часу і зберігати всю інформацію в базі даних.

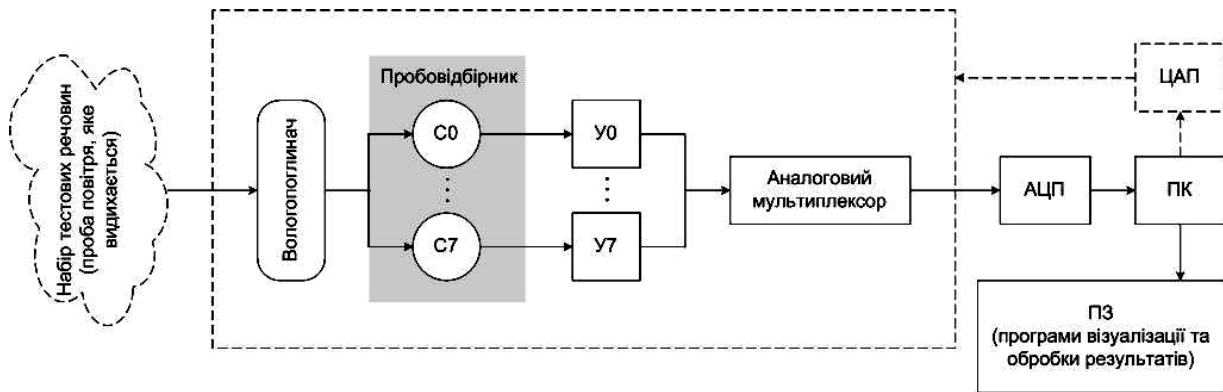


Рис. 1. Функціональна схема приладу «Електронний ніс»

Результати досліджень щодо можливостей оцінки функціонального стану серцево-судинної системи за показниками газових компонентів будуть наводитися в наступних матеріалах.

### Висновки

1. Використовується велика кількість критеріїв оцінки функціонального стану систем організму. І з появою нового методу дослідження функціонального стану організму створюються додаткові критерії. В результаті немає чіткого набору вимог для визначення «норми» функціонального стану систем організму.

2. Велике значення в роботі серцево-судинної системи відіграє епітелій та рівень окис азоту в організмі. Оцінка показника NO вимагає розробити діагностичний газоаналізатор з сенсорами високої чутливості.

3. Існують системи ЕН для визначення функціонального стану систем людини, але не для оцінки функціонального стану серцево-судинної системи. Враховуючи особливості протікання серцево-судинних захворювань, і для його моніторингу,

створено програмно-апаратний комплекс «Електронний ніс».

### Список літератури

1. Богдановська Н.В. Про інформативність деяких методичних підходів до оцінки адаптивних можливостей серцево-судинної системи організму дітей молодшого шкільного віку / Н.В. Богдановська // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. біол. – 2002. – Вип. 31. – С. 249–255.
2. Маликов Н.В. О некоторых методических подходах к оценке адаптивных возможностей сердечно-сосудистой системы организма / Н.В. Маликов // Вісн. Запоріж. держ. ун-ту. Біол. науки. – 2001. – №. 1. – С. 187–191.
3. Амосов Н.М. Моя система здоровья / Н.м. амосов. – К.: Здоров'я, 1997. – 56 с.
4. Баевский Р.М. Особенности регуляции сердечного ритма при умственной работе / Р.М. Баевский, В.И. Кудрявцева. – Физиол. человека. – 1975. – № 2.
5. Методы и критерии оценки ункционального комфорта. – М., 1978. – 224 с.

Надійшла до редколегії 3.10.2012

**Рецензент:** д-р біол. наук, проф. Є.А. Настечко, Національний інститут серцево-судинної хірургії ім. М. М. Амосова АМН України, Київ.

### КОНЦЕПЦИЯ МЕТОДА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ

В.С. Якимчук

*Рассмотрены критерии оценки функционального состояния сердечно-сосудистой системы организма человека. Для повышения достоверности диагностики и оценки состояния сердечно-сосудистой системы проанализирован состав газовых компонентов, которые человек выдыхает, поскольку он в интегрированной форме отображает процессы метаболизма в организме человека. Разработан экспресс-метод диагностики для определения функционального состояния сердечно-сосудистой системы организма по анализу пробы воздуха, который выдыхается человеком. Основа предложенного метода состоит из: набора селективных сенсоров, усилителя сигналов, аналого-цифрового преобразователя, программного обеспечения и программы для визуализации результатов.*

**Ключевые слова:** функциональная диагностика, функциональное состояние систем, сенсоры, сердечно-сосудистая система, экспресс-диагностика.

### THE CONCEPT OF FUNCTIONAL DIAGNOSTICS FOR ASSESSMENT OF CARDIOVASCULAR SYSTEM

V.S. Iakymchuk

*Evaluation criteria of cardio-vascular system functional state of human body were considered. Composition of gas components exhaled by human was analyzed in order to achieve better diagnostic accuracy and evaluation of the cardiovascular system. Since integrated form of this composition display processes of metabolism in human body. An express diagnostic method was developed to determine the functional state of cardiovascular system by exhaled air analysis. The basis of proposed method consist of selective sensors set, signal amplifier, analog-to-digital converter, software and software for results visualization.*

**Key words:** functional diagnostic, functional state of systems, sensors, cardiovascular system, express diagnostic.