

- О. В. Овсієнко, М. М. Будник // Медична фізика - сучасний стан, проблеми, шляхи розвитку. Новітні технології”: зб. праць 3-го Міжн. семінару, Київ, 6-7 червня 2013, КНУ ім. Тараса Шевченка. – С. 121-125.
6. Buccilioni M. Diamond detector versus silicon diode and ion in photon beams of different energy and field size. / M. Buccilioni, F. B. Buonamici, S. Mazzocchi, C. D. Angelis, S. Onori and G.A.P. Cirrone // *Med. Phys.* 2003, 2149-2154.
  7. Laub W. The volume effect of detectors in the dosimetry of small fields used in IMRT. / W. Laub and T. Wong // *Med. Phys.* 2003, 30.
  8. Martens C. The value of the PinPoint ion chamber for characterization of small field segments used in intensity-modulated radiotherapy. / C. Martens, C. D. Wagter and W. D. Neve // *Phys. Med. Biol.* 2000, 45, 2519-2530.
  9. Pappas E. Experimental determination of the effect of detector size on profile measurements in narrow photon beams. / E. Pappas, T. G. Maris, A. Papadakis, F. Zacharopoulou, J. Damilakis, N. Papanikolaous and N. Gourtsoyiannis // *Med. Phys.* 2006, 33, 3700-3710.
  10. Wuerfel J. U. Dose measurements in small fields. / J.U. Wuerfel // *Med. Phys. Intern.* 2013, №1, 81-90.
  11. E. Pappas, T. G. Maris, A. Papadakis, F. Zacharopoulou, J. Damilakis, N. Papanikolaous and N. Gourtsoyiannis, Experimental determination of the effect of detector size on profile measurements in narrow photon beams, *Med. Phys.* 2006, 33, 3700-3710.
  12. J. U. Wuerfel, Dose measurements in small fields, *Med. Phys. Intern.* 2013, №1, 81-90.

Надійшла до редакції  
07 вересня 2014 року

© Овсієнко О. В., 2014

УДК 611.814.1:615.84

## ДІАГНОСТИКА АДАПТИВНИХ РЕЗЕРВІВ ЛЮДИНИ ЗА ДАНИМИ ПУЛЬСОМЕТРІЇ

Запорожко І. О., Зубчук В. І.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,  
м. Київ, Україна

Inna.Zaporozhko@gmail.com, grany@meta.ua

*Проаналізовані критерії кількісної оцінки функціонального стану людини. Обґрунтована необхідність комплексного критерія з урахуванням параметрів мікроциркуляторної системи кровообігу на засадах пульсометрії. Описана архітектура комплексу. Запропонований метод реєстрації та обробки даних пульсометрії.*

*Запропонований кількісний критерій оцінки функціонального стану серцево-судинної системи – індекс форми пульсової хвилі (ІФПХ). Наведені результати досліджень ІФПХ для груп обстежуваних різного віку і статі. Запропонований кількісний критерій R для оцінки адаптивних резервів обстежуваних. Наведені норми R з урахуванням віку та статі людини.*

**Ключові слова:** діагностика, функціональний стан, пульсова хвиля, біологічний вік, індекс форми.

### Вступ

Визначення адаптивних резервів здоров'я людини є однією з задач діагностики і має на меті отримання кількісної оцінки функціонального стану основних систем у процесі здоров'я та виникненні патологій.

Під адаптивними резервами або коефіцієнтом здоров'я [1] розуміють суму резервних потужностей основних функціональних систем, показники яких у

спокої та при навантаженні дозволяють робити висновок про здатність організму підтримувати нормальний функціональний стан в умовах зовнішніх і внутрішніх дестабілізуючих факторів.

Однією з основних регуляторних систем людини є серцево-судинна система (ССС), функціональний стан якої зазвичай оцінюють за даними систолічного (Ps) та діастолічного (Pd) тиску, частоти серцевих скорочень (HR) за допомогою індексу Кердо  $I = (Ps - Pd)/HR$  або вегетативного індексу  $VI = 100(1 - Pd/HR)$  [2]. Такі показники характеризують тонус серця, але не враховують стан та особливості так званого «периферійного серця» [3], тобто роботу мікрокапілярної системи скелетних м'язів, яка виконує значний обсяг роботи у транспорті по великому колу кровообігу.

Динаміка функціонування «периферійного серця» може бути досліджена по формі пульсових хвиль у м'язових тканинах. Дослідження пульсових хвиль з давніх часів використовувалось у тибетській медицині для діагностики стану людини [4] на якісному рівні. Кількісна оцінка функціонального стану людини, оцінка адаптивних резервів як показника здоров'я на засадах аналізу та обчислення показників функціонування ССС є актуальною задачею діагностики і вирішується засобами програмно-апаратного комплексу.

### **Методи і матеріали**

Метод дослідження периферійної гемодинаміки, оснований на реєстрації параметрів оптичного випромінювання, що проходить через ділянку живої тканини, тобто капілярну сітку з пульсуючою кров'ю. Варіабельність форми пульсової хвилі людини має складну динаміку. Так само, як і варіабельність серцевих ритмів, вона дозволяє аналізувати перехід організму від стану здоров'я і спокою до якогось іншого функціонального стану. Актуальною задачею є розробка методів аналізу динаміки пульсової хвилі і побудова комплексних оцінок функціональних станів людини.

Для збору даних пульсових хвиль у розробленій системі використовується стандартизований і сертифікований для клінічного використання пульсоксиметр UtasOxi200. UtasOxi200 – портативний і економічно вигідний пульсоксиметр для неінвазивного моніторингу насичення киснем (SpO<sub>2</sub>), реєстрації і вимірювання параметрів пульсу.

Для аналізу стану серцево-судинної системи набирається база даних наступних параметрів людського організму:

– **Динаміка пульсової хвилі.** Пульсову хвилю отримують у вигляді дискретної функції у часі з заданою приладом частотою дискретизації. Прилад фіксує від працюючого в інфрачервоному спектрі датчика оптичні сигнали з капілярів пальця людини, промодульовані по закону проходження пульсової хвилі через капіляри у полі зору датчика.

– **Насичення крові киснем (SpO<sub>2</sub>)** також реєструється за допомогою пульсоксиметра і дозволяє оцінити середній показник оксигенації крові.

– **Артеріальний тиск** людини (систолічний та діастолічний). Для вимірю-

вання використовувався стандартний електронний вимірювач тиску.

– **Зріст і вага людини.**

Для вирішення поставленої задачі створено автоматизовану систему, яка включає в себе три основних функціональних модуля: систему зйому та реєстрації даних щодо обстежуваних, базу даних (БД) та програмні засоби класифікації даних (рис. 1).

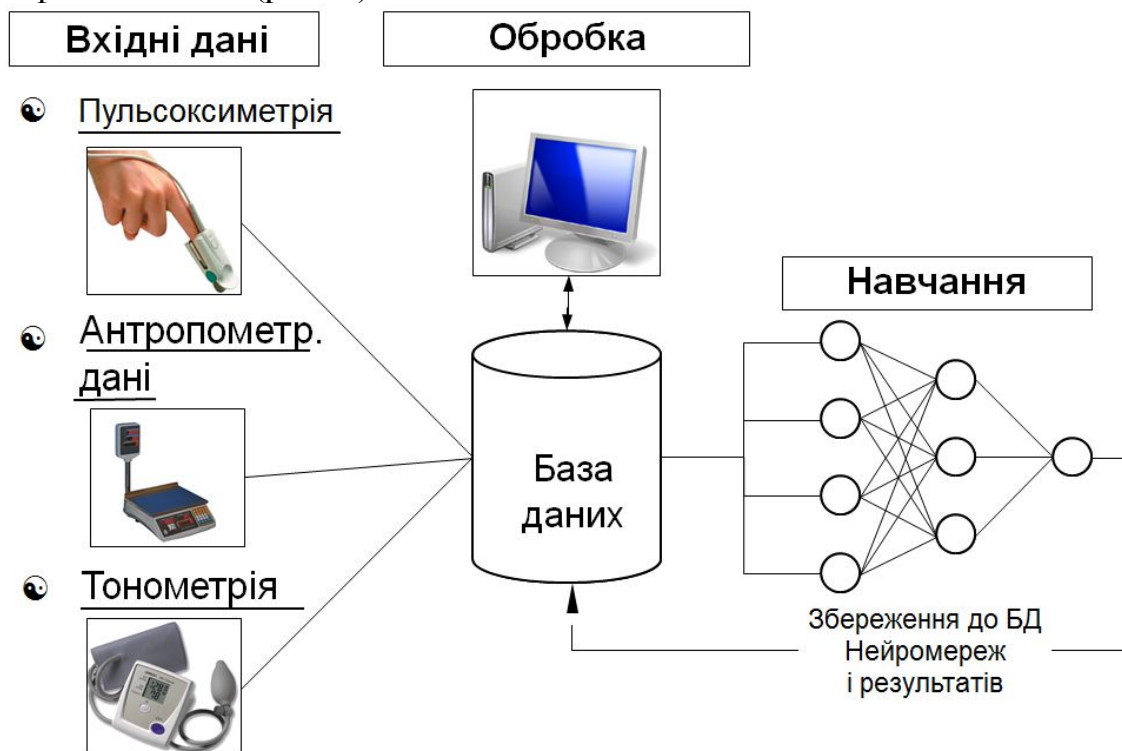


Рис. 1. Складові комплексу

Модуль зйому та реєстрації оперує даними пульсових хвиль обстежуваних, які отримуються з допомогою пульсоксиметра. Одночасно вносяться дані вимірювання артеріального тиску, антропометричні дані та дані анамнезу. Ці дані перш за все необхідні для накопичення статистики і подальшого вирішення задачі класифікації різних станів організму. Основною функціональною складовою цього модуля є реєстрація пульсових хвиль з пульсоксиметру, які передаються з приладу на комп'ютер через серійний порт. Хвилі потребують подальшої обробки для виділення з сигналу корисної діагностичної інформації про форму пульсової хвилі в окремих періодах коливання, яку можна класифікувати.

При вимірюванні зміни концентрації еритроцитів під час пульсування крові, за допомогою пульсоксиметра, ми отримуємо графік, який показує періодичні коливання цієї концентрації. Сигнал розбивається на періоди, кожний з яких піддається програмній передискретизації до заданої кількості відліків, нормалізується по амплітуді та фільтрується від завад. Після усереднення нормалізованих пульсових хвиль [5] отримуємо середній образ одного періоду пульсової хвилі.

За формою пульсових коливань (рис. 2) можна з певною ймовірністю оцінювати біологічний вік людини, оскільки, як показано у [6], з віком характер цієї хвилі змінюється.

За усередненим періодом, отриманим за деякий проміжок вимірювання пульсу для груп обстежуваних, можна з використанням штучної нейронної мережі визначити залежність форми пульсу від віку для людей різної статі з урахуванням антропометричних даних.

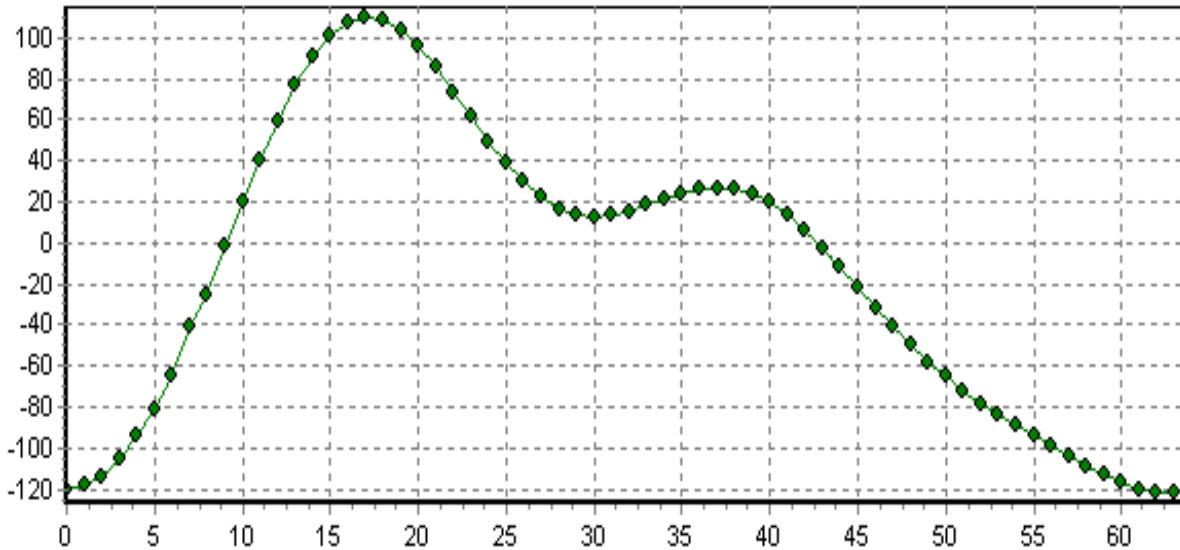


Рис. 2. Усереднений період пульсової хвилі, що відповідає одному циклу серцевого скорочення

Для кількісної оцінки функціонального стану і біологічного віку обстежуваних запропонований індекс форми, який дозволяє відслідковувати зміну форми усередненого періоду ПХ. Індекс форми для усередненої хвилі визначається за формулою:

$$F = \sqrt{\sum_{i=2}^N a_i^2 + \sum_{i=2}^N b_i^2} / \sqrt{a_1^2 + b_1^2}, \quad (1)$$

де при  $T = 1$  і

$$\Delta t = \frac{1}{N}, \quad \omega_0 = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{N} : U_0 = \frac{2}{T} \sum_{j=1}^N U_j \Delta t = \frac{2}{N} \sum_{j=1}^N U_j,$$

$$a_k = \frac{2}{T} \sum_{j=1}^N U_j \cos(k\omega_0 j \Delta t) = 2 \sum_{j=1}^N U_j \cos\left(\frac{k2\pi j}{N}\right),$$

$$b_k = \frac{2}{T} \sum_{j=1}^N U_j \sin(k\omega_0 j \Delta t) = 2 \sum_{j=1}^N U_j \sin\left(\frac{k2\pi j}{N}\right),$$

де  $k$  – номер гармоніки,  $U_j$  – значення амплітуди відліку в точці  $j$ ;  $N$  – кількість відліків усередненої ПХ.

Представлений індекс чисельно показує складність форми хвилі, тобто її відмінність від простої синусоїди, адже амплітуди гармонік більш високої частоти будуть мати різні значення.

У нормі значення індексу форми ПХ для кожного періоду змінюється довкола деякого середнього значення. Цей процес є результатом дихання та слідством підтримки серцево-судинною системою стабільного режиму функціонування.

На рис. 3,а, рис. 3,б наведені за допомогою навчання штучної нейронної мережі. Ці характеристики показують зміну форми хвилі з віком за усередненим періодом у стані спокою. До цього ми не розглядали, як змінюється форма пульсової хвилі в динаміці і як можна оцінити стан організму за цими даними.

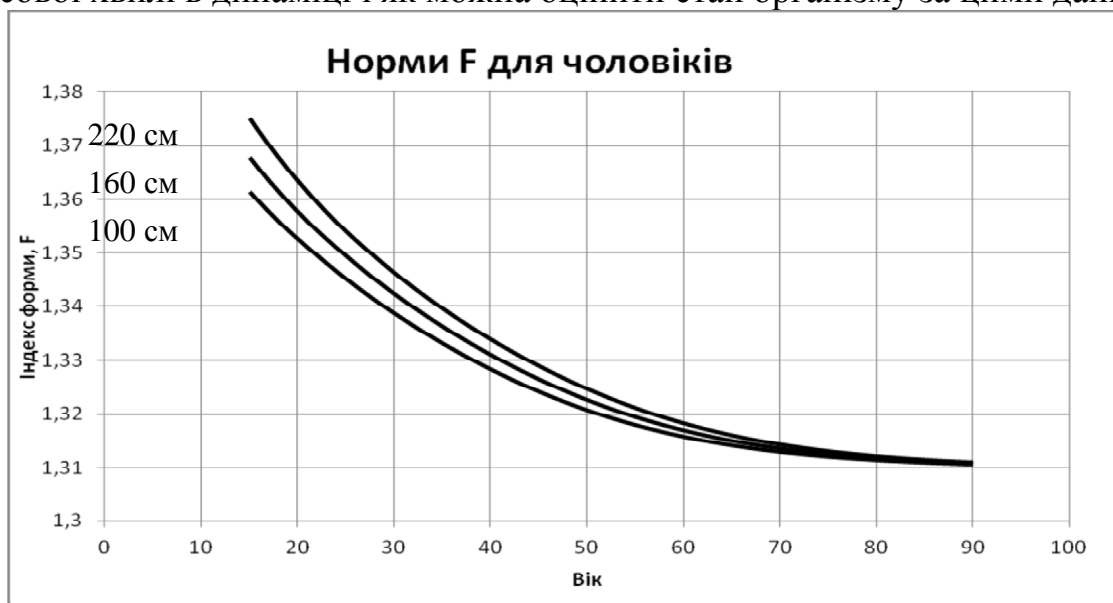


Рис. 3,а. Норми індексу форми F залежно від віку і зросту

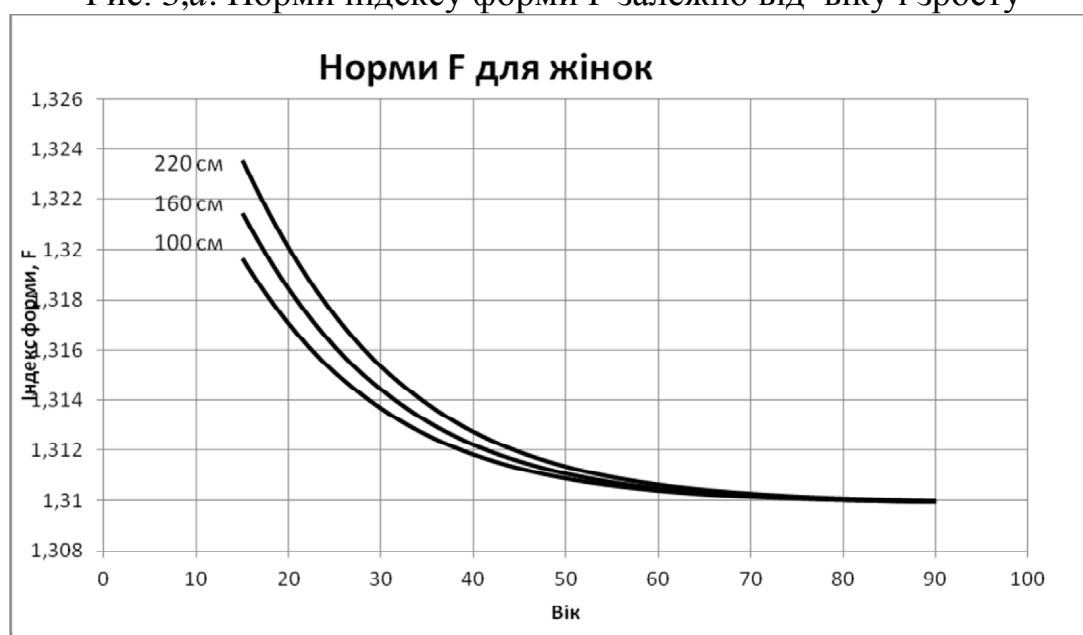


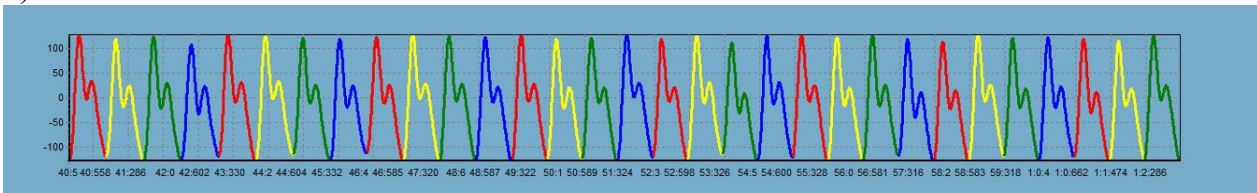
Рис. 3,б. Норми індексу форми F залежно від віку і зросту

Задачею, яка описується в межах цієї статті, було дослідження динамічних властивостей пульсової хвилі у спокою, для побудови числових оцінок адаптивних резервів організму, а також для подальшого вивчення інших можливих варіантів спостереження за динамікою хвилі при патологіях, навантаженні та ін.

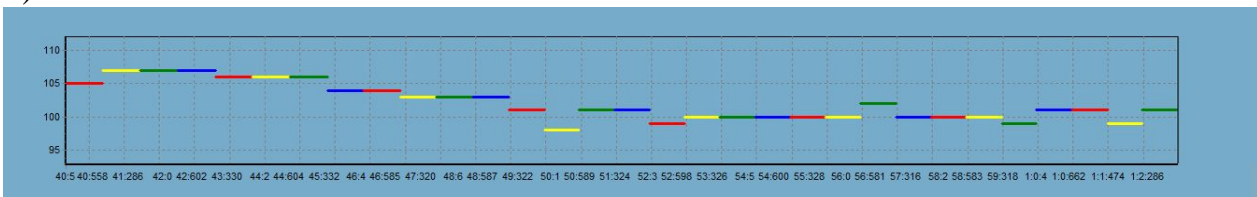
На рис. 4 наведений ансамбль ПХ здорової людини у стані спокою (а), коливання довжини інтервалів імпульсів (b) і індексу форми ПХ (c). Існують методи оцінки адаптивних резервів людини, а також методи діагностики, на основі дослідження динаміки ЧСС, але динаміка коливань форми пульсової хвилі досі потребує вивчення. Аналіз наявності закономірності у зміні індексу форми в часі у стані спокою проводився на основі розрахунку автокореляційної функції. Для підтвердження нульової гіпотези, про наявність автокореляції заликів, застосовувався критерій Дарбіна-Уотсона. Значення  $D = 0,003$ ,  $D_{max} = 1,592$   $D_{min} = 1,506$ , що свідчить про наявність позитивної автокореляції і гіпотеза не відкидається. У стані спокою автокореляційні функції індексу форми і ЧСС значно не змінюють свої значення відносно 0, і мають достатньо чітку періодичну форму, що свідчить про наявність деякого коливального процесу зміни форми хвилі у спокої, ймовірно це пов'язано із диханням.

Із приведеного аналізу отримуємо висновок, що по динаміці зміни індексу форми можна оцінювати наявність деяких процесів відмінних від норми, які впливають на форму пульсової хвилі. Для аналізу цих процесів можна запропонувати кількісну оцінку, яку можна обраховувати для деякого невеликого відрізка часу в якому відбулося декілька періодів пульсування.

a)



b)



c)

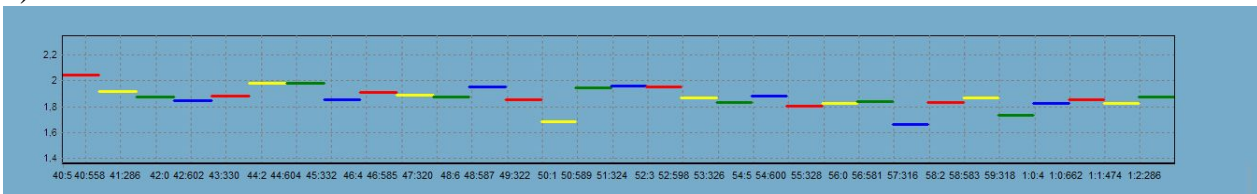


Рис. 4. Динаміка коливання індексу форми і ЧСС у спокої

Для оцінки індексу адаптивних резервів на основі аналізу динаміки зміни індексу форми ПХ запропонована критерій

$$R = \frac{F_{max} - F_{min}}{F_{mid}}, \quad (2)$$

де

$F_{max}$  – максимальне значення індексу форми у вибраному інтервалі;

$F_{min}$  – мінімальне значення індексу форми у вибраному інтервалі;

$F_{mid}$  – значення індексу форми для усередненого періоду для вибраного інтервалу, яке вираховується за формулою (2).

На основі даної оцінки можна побудувати норми за допомогою нейронної мережі для різної статі з урахуванням зросту, як це було зроблено для індексів форми по усередненим ПХ. Норми побудовані за допомогою навчання штучної нейронної мережі, за алгоритмом зворотного поширення похибки на вибірці, яка складалася більше ніж з 200 вимірювань (рис. 5). Вибірка поділена на навчальну вибірку і тестову вибірку для оцінки похибки. Так само, як і при побудові норм зміни індексу форми для усереднених хвиль, є важливим врахування статі та зросту як допоміжних параметрів. Це дає змогу побудувати сімейство залежностей для різних параметрів.

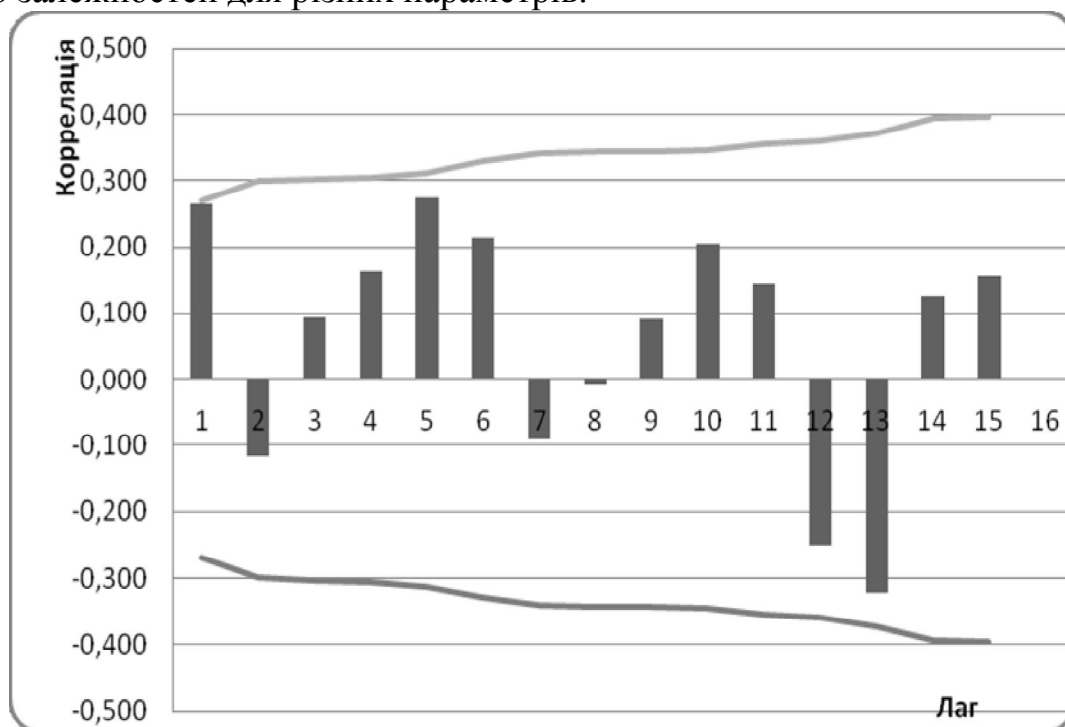


Рис. 5. Автокореляційна функція F (норма)

На рис. 6 наведені отримані вікові залежності критерія R для різного зросту для чоловіків (а) та жінок (б) у нормі.

### Висновки

Програмно-апаратний комплекс забезпечує можливість визначення адаптивних резервів людини на засадах вимірювання параметрів пульсу та антропометричних даних.

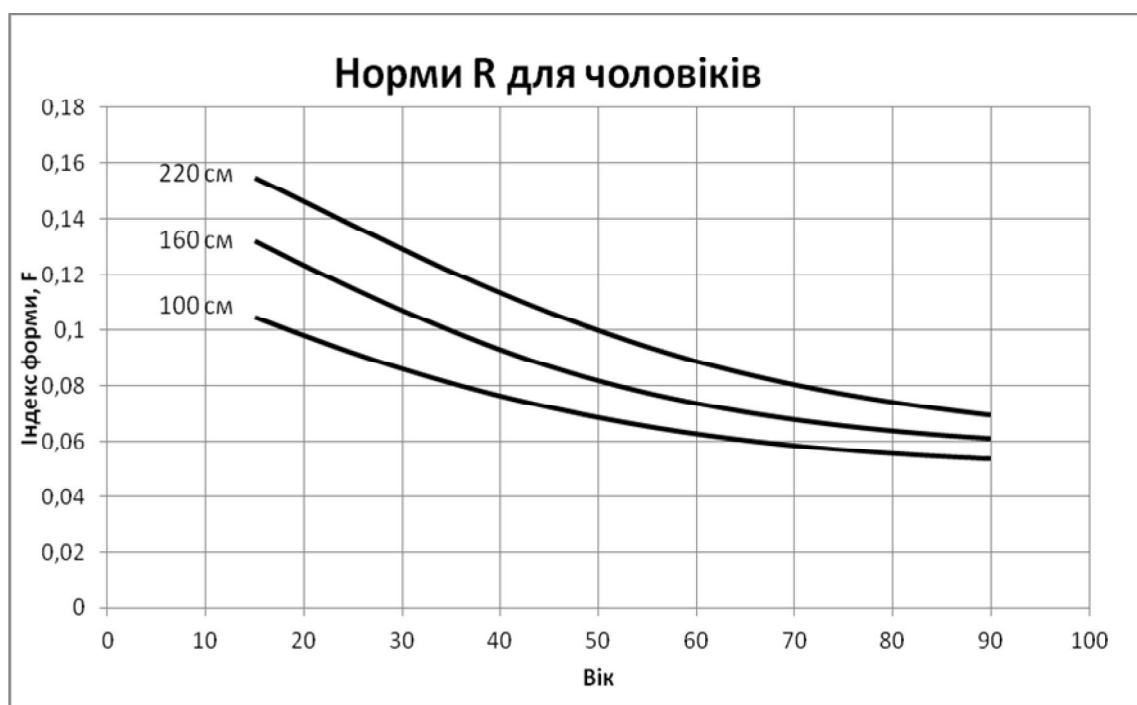


Рис. 6,а. Норми індексу резервів R залежно від віку і зросту

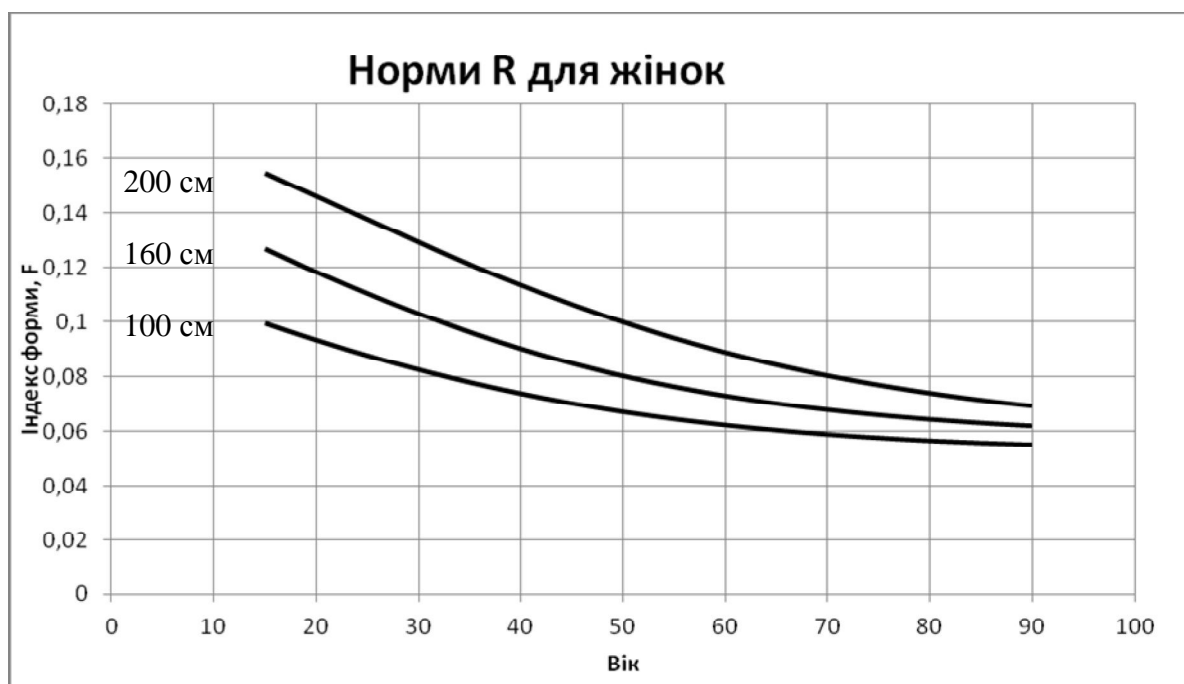


Рис. 6,б. Норми індексу резервів R залежно від віку і зросту

Оцінка за допомогою коефіцієнту резерву R, в якому використовуються дані про динаміку зміни індексу форми F, дає можливість аналізувати стан організму в процесі життєдіяльності, при навантаженнях і інших факторах, які відхиляють організм від стану норми.

Дослідження показали, що варіабельність форми пульсової хвилі у стані спокою, індекс форми F, індекс адаптивних резервів R у нормі зменшується з віком, а індивідуальні показники F і R для обстежуваних дозволяють оцінити їх



функціональний стан. За допомогою штучної нейронної мережі визначені закономірності зміни запропонованого індексу резерву R з віком з урахуванням антропометричних особливостей. В подальших роботах отримані результати в побудові норм приведених індексів дозволять продовжувати дослідження в розробці методів аналізу функціональних станів людини і діагностики організму людини, а також встановлення біологічного віку людини, на основі даних пульсометрії.

#### Література

1. Амосов Н. М. Моя система здоров'я. – К.: Здоров'я, 1977. – 56 с.
2. Kerdo I. Ein aus Daten der Blutzirkulation Kalkulierter Index zur Beurteilung der Vegetativen Tonuslage // Acta neurovegetativa. – 1966. – Bd. 29. – № 2, pp. 250 – 268 (in German).
3. Аринчин Н. И. Микронасосная деятельность скелетных мышц при их растяжении / Н. И. Аринчин, Г. Ф. Борисевич. – Мн.: Наука и техника, 1986. – 112 с.
4. Цыдыпов Ч. Ц. и др. Пульсовая диагностика тибетской медицины. – Новосибирск: Наука, 1988. – 133 с.
5. Зубчук В. И. Информационное обеспечение пульсодиагностики / В. И. Зубчук, М. Делава-Касмаи, В. А. Крещук // Электроника и связь». Тематический выпуск «Проблемы электроники», ч. 2. – 2005. – С. 120-124.
6. Zaporozhko I. A., Zubchuk V. I., Nastenka E. A. Plethysmography analysis according to age and genders. Proceedings of 7th Annual Conference “Science and Art for Advancement in Medicine, March 30 – April 1, Budapest, Hungary, 2012.

Надійшла до редакції  
12 червня 2014 року

© Запорожко І. О., Зубчук В. І., 2014

УДК 621.317

### СОЧЕТАННОЕ ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОВОЛНОВОЙ РЕЗОНАНСНОЙ ТЕРАПИИ И ПОЛЯРИЗОВАННОГО СВЕТА ДЛЯ ЛЕЧЕНИЯ ДИАБЕТИЧЕСКОЙ ПОЛИНЕЙРОПАТИИ

<sup>1)</sup>Куценко В. П., <sup>2)</sup>Яненко А. Ф., <sup>3)</sup>Удовиченко С. В.

<sup>1)</sup>Донецкий государственный технический университет, г. Донецк, Украина, <sup>2)</sup>Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина, <sup>3)</sup>КП «Клиника квантовой медицины», г. Константиновка, Украина

В работе проанализированы результаты применения микроволновой резонансной терапии (МРТ), а также сочетанного применения МРТ и поляризованного света в комплексной терапии 60 больных с диагнозом сахарный диабет II типа. Курс лечения составлял 12-15 сеансов. Использовались шумовые генераторы «LAD АММ 2101» и «Порог-3» (Украина) и лампа поляризованного света «Биоптрон» (Швейцария). Воздействие МРТ осуществлялось на биологически активные точки на меридианах печени, желудка, мочевого пузыря, задне-срединного, селезенки, поджелудочной железы. С IV-V сеансов общее состояние пациентов улучшалось, отмечалось увеличение пульсового кровотока, исчезновение судорог, незначительное увеличение подвижности ног, происходило отторжение участков некроза в области ишемических язв, купировались воспалительные явления вокруг них — отечность тканей, гиперемия кожи, боль, инфильтрация. К концу лечения у 8 (26,6%) больных основной группы