

DOI: 10.31319/2519-8106.1(46)2022.258458

UDC 004.021, 796: 616-072.7

A. Trikilo, candidate of technical sciences, 3kilo@i.ua

V. Bagriy, candidate of technical sciences, vvbagriy@ukr.net

O. Gulesha, candidate of pedagogical sciences, E.gulesha@gmail.com

R. Voloshin, senior lecturer, volosinruslan4276@gmail.com

Dniprovsky State Technical University, Kamianske

MATHEMATICAL MODELING AND ANALYSIS OF HUMAN CARDIOVASCULAR SYSTEM INDICATORS

Cardiovascular diseases are a group of diseases of heart and blood vessels. The causes of cardiovascular disease are disorders of heart and blood vessels. Examples of such diseases are: ischemic heart disease (heart attack), cerebrovascular disease (blood stroke), high blood pressure (hypertension), peripheral arterial disease, rheumatic heart disease, congenital heart disease and heart failure. It is the leading cause of death worldwide: no other disease causes so many deaths every year. It is estimated that 17.3 million people died of cardiovascular disease in 2021; it represents 30 % of all global deaths. Of these deaths, it is estimated that 7.3 million were due to coronary heart disease and 6.2 million were due to stroke. More than 75 % of cardiovascular deaths occur in countries with low — and middle — living standards, almost equally among men and women. Modern medicine assures that 80 % of premature heart attacks and strokes can be prevented, this is due to the timely prevention of onset of the disease.

Keywords: cardiovascular diseases, telemedicine systems, physical condition monitoring, systolic blood pressure, adaptive potential of cardiovascular system.

Серцево-судинні захворювання — це група захворювань серця і кровоносних судин. Причинами серцево-судинних захворювань є порушення діяльності системи серця і кровоносних судин. Прикладами таких захворювань є: ішемічна хвороба серця (інфаркти), цереброваскулярна хвороба (інсульт), підвищений кров'яний тиск (гіпертонія), хвороба периферичних артерій, ревматичний порок серця, вроджений порок серця і серцева недостатність. Це провідна причина смерті в усьому світі: не від якої іншої причини щорічно не помирає стільки людей. За підрахунками, в 2021 році від серцево-судинних захворювань померло 17,3 мільйона чоловік — це становило 30 % всіх глобальних випадків смерті. З цих випадків смерті, за оцінками, 7,3 мільйона випадків сталося в результаті ішемічної хвороби серця, а 6,2 мільйони — від інсульту. Більше 75 % випадків смерті від серцево-судинних захворювань трапляються в країнах з низьким і середнім рівнем достатку, майже в рівній мірі як серед чоловіків та жінок. Сучасна медицина запевняє, що 80 % передчасних інфарктів та інсультів можуть бути попереджені, це пов'язано з своєчасним попередженням початку захворювання.

Ключові слова: серцево-судинні захворювання, телемедичні системи, моніторинг фізичного стану, систолічний артеріальний тиск, адаптаційний потенціал серцево-судинної системи.

Problem's Formulation

Cardiovascular diseases (CVD) are a group of diseases of heart and blood vessels. The causes of cardiovascular disease are disorders of heart and blood vessels. Examples of such diseases are ischemic heart disease (heart attack), cerebrovascular disease (blood stroke), high blood pressure (hypertension), peripheral arterial disease, rheumatic heart disease, congenital heart disease and heart failure.

Analysis of recent research and publications

As we have said before, cardiovascular diseases are the leading causes of death worldwide. It is estimated that 17.3 million people died of cardiovascular disease in 2021, it represents 30 % of all global deaths. Of these deaths, it is estimated that 7.3 million were due to coronary heart disease and 6.2 million were due to stroke. More than 75 % of cardiovascular deaths (CVD) occur in low- and middle-life countries, with almost the same rate for men and women [1]. Modern medicine assures that 80 % of premature heart attacks and strokes can be prevented. This is due to the timely prevention of the onset of the disease.

The latest IT technologies of artificial intelligence are already changing medicine. The digitization of healthcare is no longer limited to the introduction of electronic medical records and remote consultations. A telemedicine system is being developed which, using only a smartphone with applications and a pocket sensor, allows for real-time monitoring of the cardiovascular system and broadcasting its results on a smartphone screen and a family doctor's monitor for promptly receiving of urgent advice. These methods are increasingly used in Ukraine. Due to this the analysis of the main characteristics of the human cardiovascular system (CVD) is of great interest. These technologies must be implemented into modern medicine even more.

Formulation of the study purpose

The main objective of the scientific work is to develop a mathematical model and to analyze values indicating problems with the cardiovascular system of a person (patient).

Presenting main material

In the research the authors studied the main indicators of the human cardiovascular system (general and peripheral bleeding resistance, physical status and adaptive capacity index), which can be identified by relatively sustainable indicators, such as a person's age, body length and weight. In addition to that, we should note that the cardiovascular system variables are: heart rate, systolic and diastolic blood pressure. Analysis of Cardiovascular Adaptive Capacity Index (ACI) (by Bayevskiy R.M. et al., 1987), Physical Condition Index (PCI) (by Pirogova E.A. et al., 1986), and general peripheral blood flow resistance (PBFR). These main indexes allowed to research the peculiarities of the influence of physical human indicators (age, body length and weight), and geodynamic parameters of the cardiovascular system (heart rate, systolic and diastolic blood pressure). To achieve and implement the task an analysis of the human cardiovascular system, given in modern scientific literature [2, 3], was performed.

What does it take to quickly determine the state of the human cardiovascular system? To do this, the physical characteristics of the person, which change slowly over time, were taken. They are: person's age, body length, weight and functional parameters that change through the environment, stress, intense monotonous physical and mental work and emotional workload. These values are measured in non-invasive ways: systolic blood pressure, diastolic blood pressure and heart rate.

Due to the analysis of modern scientific literature we can see several calculation methods for determining the parameter of the cardiovascular system: Cardiovascular Adaptive Capacity Index of the system — ACI and health rate or a functional changes index — FCI, that can be found calculated the equation by Bayevskiy R.M., 1987 [4, 5, 6]:

$$ACI = 0,011 \times HR + 0,014 \times (SBP + E) + 0,008 \times (W - H) - 0,27 \quad (1)$$

Physical Condition Index (PCI) — from the equation by Pirogova E.A. [4, 5, 6]:

$$PCI = \left[\frac{700 - 3 \times HR - 2,5 \times \frac{(SBP + 2 * DBP)}{3} - 2,7 \times E + 0,28 \times W}{(350 - 2,6 \times E + 0,21 \times H)} \right] \quad (2)$$

and general peripheral blood flow resistance (PBFR), the equation obtained by us from the formulas given in the researches [7, 8]

$$PBFR = \left[\frac{(2 * DBP + SBP) \times 1,45 \times 10^5}{HR \times (2,671 \times H + W - 3,022 \times E - 4,632 \times DBP + 2,294 \times SBP - 98,009)} \right] \quad (3)$$

ACI — adaptive potential of the cardiovascular system;

PCI — indicator of equal physical state;

PBFR — global peripheral baseline for blood flow, dyn/s/cm-0.5;

HR — heart rate, beats/hv;

SBP — systolic arterial pressure, mm Hg;

DBP — diastolic arterial pressure, mm Hg. Art.;

E — age of people, rock

W — body weight of people, kg;

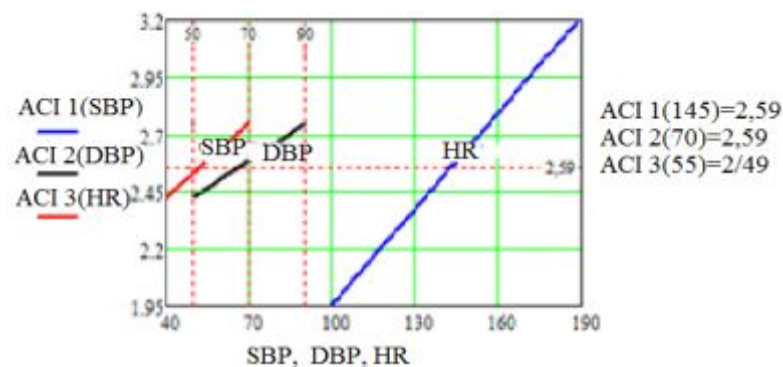
H — dozhina body, people, sm.

After analyzing formulas (1, 2, 3) using SBP, DBP and HR we take a middle-aged man, medium build (age 40, 75kg., 175cm). Monitoring has been implemented during two years. During the whole period 835 measurements of the main statistical parameter values were carried out. The measurements are shown in Tabl. 1

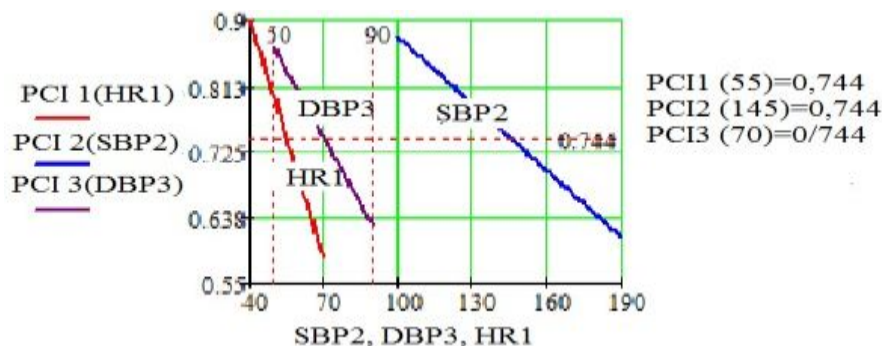
Table 1. Main statical indicators SBP, DBP, HR, ACI, PCI, PBFR

Indicators	Minimum	Average	Maximum	Standard deviation
SBP	100	145	190	16,5
DBP	50	70	90	7,5
HR	40	55	70	5,1
ACI	1,63	2,59	3,54	0,3
	satisfactory	satisfactory	very intense	
PCI	1,06	0,61	0,17	0,12
	high	below average	very low	
PBFR	1793	1798	1778	0,34

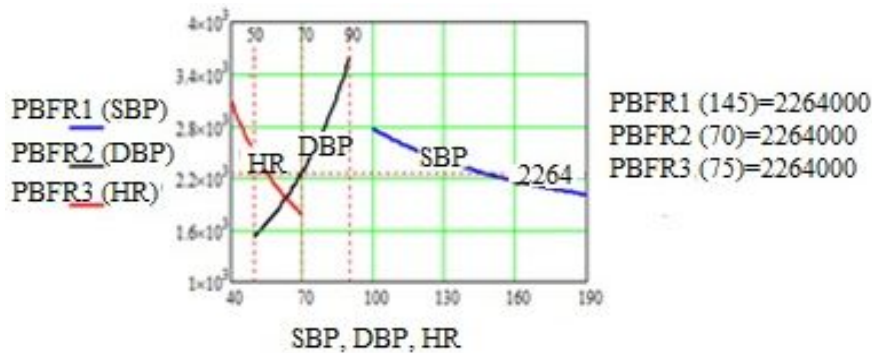
Cardiovascular effects were analyzed from the equations (1, 2, 3), using the indicators shown in the Tabl. 1. Using these indicators we have produced graphs of SBP, DBP, age, and weight and body length. Graphs were produced separately for each factor of ACI (Graph 1), PCI (Graph 2) and PBFR (Graph 3). We should note that other factors were at their averages (Tabl. 1).



Graph 1. Adaptive Capacity Index (ACI) dependence on SBP, DBP, HR, age, weight and body length



Graph 2. Physical Condition Index (PCI) dependence on SBP, DBP, HR, age, weight and body length



Graph 3. General peripheral blood flow resistance (PBFR) dependence on SBP, DBP, HR, age, weight and body length

With variable: heart rate — HR=40...70 bpm; systolic blood pressure — SBP=100...190 mm Hg.; diastolic blood pressure — DBP=50...90 mm Hg.

With constant: age=40 years; weight=75 kg.; body length=175 cm.

For further analysis the influence of cardiovascular hemodynamics indicators (SBP, DBP, HR, age, weight, body length) at Adaptive Capacity Index (ACI), Physical Condition Index (PCI) General peripheral blood flow resistance (PBFR) in the range of indicators (SBP, DBP, HR) was taken. It is presented in table 1, with indicator values (age, weight, body length).

Impact analysis of increasing age, weight and body length from the equations (1, 2, 3), was conducted in the range of average human values: body length — from 150 to 190 cm., weight — from 50 to 150 kg. and age — from 40 to 60 years. ACI, PCI and PBFR dependences on SBP, DBP, HR, age, weight and body length are represented on graphs (Graph 1, 2, 3). As shown in the graphs increase of HR, DBP, SBP, age and weight had resulted in increasing of ACI, but body length is decreasing it. Increase of weight had resulted in increasing of ACI and PCI. Increasing of body length leads to decrease of all three indicators (ACI, PCI, PBFR). Increasing HR, DBP, SBP leads to decrease of PBFR. PBFR increases with body length and age. The results are presented in Tabl. 2.

Table 2. ACI, PCI and PBFR dependences on SBP, DBP, HR, age, weight and body length

Indicators	SBP	DBP	HR	age	weight	body length
ACI	+	+	+	+	+	-
PCI	-	-	-	-	+	-
PBFR	-	+	-	+	-	-

In tabl. 2 increasing of ACI, PCI and PBFR is marked with the sign «+», decreasing is marked with «-» under conditions of SBP, DBP, HR, age, weight and body length increase. Impact analysis of SBP, DBP, HR, age, weight and body length on ACI, PCI and PBFR quantitatively reflects the level of the functional state of the body and its systems. It allows you to draw conclusions about state of human to improve his cardiovascular system.

Conclusions

During the study of the dependence of the adaptive potential of cardiovascular system of the human body (ACI), the indicator of the level of physical condition (PCI) and the total peripheral resistance of blood flow (PBFR) on heart rate (HR), systolic and diastolic blood pressure (SBP, DBP), age, weight and length of the human body, the connected graphs were constructed that clearly display their influence in magnitude and behind the sign of influence.

Authors reported that the same hemodynamic indicators of cardiovascular system (HR, SBR, DBR) have the opposite effect on the functional state of the body and its systems.

References

- [1] Ruban L.A. (2016) *Antropometrichni ta funkcional'ni metodi diagnostiki stanu zdorov'ya [Anthropometric and functional methods of diagnostics will become healthy]*. Kharkov, Ukraine: HDAFK, 128 p. [in Ukrainian].
- [2] Dubchik O.V. (2012) *Ocinka fizichnogo stanu studentiv grupi fizichnoї rehabilitacii vishchih navchal'nih zakladiv [Evaluation of the physical status of students in the group of physical rehabilitation of the main initial pledges]* Kyiv, Ukraine: *Fizichne vihovannya, sport i kul'tura zdorov'ya u suchasnomu suspil'stvi – Physical education, sport and culture of health in modern life*, № 4, P. 364–368 [in Ukrainian].
- [3] Baevskij R.M. (1989) *Ocenka i klassifikaciya urovnej zdorov'ya s tochki zreniya teorii adaptacii [Assessment and classification of health levels in terms of adaptation theory]* Moscow, Russia: *Vestnik RAMN – Herald of RAMS*, №8. P. 73–78. [in Russian].
- [4] Baevskij R.M. (1997) *Ocenka adaptacionnyh vozmozhnostej organizma i risk razvitiya zabolevanij [Assessment of the adaptive capabilities of the body and the risk of developing diseases]*. Moscow, Russia: *Medicina*, 235 p. [in Russian].
- [5] Zemlyanskaya N.A., YAshchenko S.G. (2011) *Adaptacionnyj potencial i ego korrekciya u bol'nyh gipertonicheskoj bolezni na etape sanatorno- kurortnoj rehabilitacii [Adaptive potential and its correction in patients with hypertension at the stage of sanatorium-resort rehabilitation]* Simferopol' Ukraine: *Krymskij gosudarstvennyj medicinskij universitet im. S.I. Georgievskogo, g. Simfiropol': Ukrains'kij medicnij al'manah – Crimean State Medical University. S.I. Georgievsky, Simfiropol: Ukrainian Medical Almanac*, T 14, №4. P. 49–52. [in Ukrainian].
- [6] Morman D. (2000) *Fiziologiya serdechno-sosudistoj sistemy [Physiology of the cardiovascular system]* Saint Petersburg, Russia: «Piter», 256 p. [in Russian].
- [7] Savickij, N.N. (1974) *Biofizicheskie osnovy krovoobrashcheniya i klinicheskie metody izucheniya gemodinamiki [Biophysical bases of blood circulation and clinical methods for studying hemodynamics]*. Moscow, Russia: *Medicina*, 311 p. [in Russian].
- [8] Kornac'kij V.M. (2006) *Problemi zdorov'ya suspil'stva ta prodovzhennya zhittya [Problems of health and wellness and life]*. Kiiv: Ukraine, Institut kardiologii im. M. D. Strazheska, 46 p. [in Ukrainian].
- [9] Vorob'ev L.V. (2017) *Analiz EKG zdorovogo cheloveka [Analysis of the ECG of a healthy person]*. Kremenchug: Ukraine, 102 p. [in Ukrainian].
- [10] Murashko V.V., Strutinskij A.V. (1991) *Elektrokardiografiya [Electrocardiography]*. Moscow, Russia: *Medicina*, 288 p. [in Russian].
- [11] Kipenskij A.V., SHamardina V.N., Dejneko D.M. (2002) *Elektrokardiografiya [Electrocardiography]* Kharkov, Ukraine: *Uchebno-metodicheskoe posobie, NTU «HPI»*, 52 p. [in Ukrainian].
- [12] Orlov V.N. (1997) *Rukovodstvo po elektrokardiografii [Guide to Electrocardiography]*. Moscow, Russia: *OOO «Medicinskoe informacionnoe agentstvo»*, 528 p. [in Russian].
- [13] Kalinichenko A.N., Goncharenko YU.I., Rodin A.I. (2002) *Analiz spektral'nyh parametrov variabel'nosti serdechnogo ritma v real'nom masshtabe vremeni. Biotekhnicheskie sistemy v medicine i biologii [Analysis of the spectral parameters of heart rate variability in real time. Biotechnical systems in medicine and biology]*. Saint Petersburg, Russia: *Politekhnik*, 238 p. [in Russian].
- [14] Ivanov G.G. (2008) *Novye metody analiza elektrokardiogrammy [New methods of electrocardiogram analysis]*. Moscow, Russia: *Funkcional'naya diagnostika*, 260 p. [in Russian].
- [15] Omel'chenko V.A. (1983) *Osnovy spektral'noj teorii razpoznavaniya signalov [Fundamentals of the spectral theory of signal recognition]*. Kyiv, Ukraine: *Vysshaya shkola*, 156 p. [in Ukrainian].
- [16] Fajnzil'berg L.S. (2021) *FAZAGRAF® — effektivnaya informacionnaya tekhnologiya obrabotki EKG v zadache skrininga ishemicheskoj bolezni serdca [FASAGRAPH® is an effective information technology for ECG processing in the task of screening for coronary heart disease]* Kremenchug: Ukraine: *Klinicheskaya informatika i telemedicina – Clinical informatics and telemedicine*, T. 6, №7. P. 22–30. [in Ukrainian].

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ СЕРЦЕВО-СУДИННОЇ СИСТЕМИ ЛЮДИНИ

Трикіло А.І., Багрій В.В., Гулеша О.М., Волошин Р.В.

Реферат

Серцево-судинні захворювання — це група захворювань серця і кровоносних судин. Причинами серцево-судинних захворювань є порушення діяльності системи серця і кровоносних судин. Прикладами таких захворювань є: ішемічна хвороба серця (інфаркти), цереброваскулярна хвороба (інсульт), підвищений кров'яний тиск (гіпертонія), хвороба периферичних артерій, ревматичний порок серця, вроджений порок серця і серцева недостатність. Це провідна причина смерті в усьому світі: не від якої іншої причини щорічно не помирає стільки людей. За підрахунками, в 2021 році від серцево-судинних захворювань померло 17,3 мільйона чоловік — це становило 30% всіх глобальних випадків смерті. З цих випадків смерті, за оцінками, 7,3 мільйона випадків сталося в результаті ішемічної хвороби серця, а 6,2 мільйони — від інсульту. Більше 75% випадків смерті від серцево-судинних захворювань трапляються в країнах з низьким і середнім рівнем достатку, майже в рівній мірі як серед чоловіків та жінок. Сучасна медицина запевняє, що 80% передчасних інфарктів та інсультів можуть бути попереджені, це пов'язано з своєчасним попередженням початку захворювання.

Нові ІТ технології штучного інтелекту вже змінюють медицину. Оцифрування охорони здоров'я вже не лімітується впровадженням електронних медичних карток та віддаленими консультаціями. Розробляються телемедичні системи які за допомогою тільки смартфона з датками та кишенькового датчика, дозволяють проводити процедуру моніторингу стану серцево-судинної системи в режимі реального часу, транслювати його результати на екран смартфона та монітор сімейного лікаря для оперативного отримання невідкладної поради.

Для здійснення поставленої задачі був виконаний аналіз показників стану серцево-судинної системи людини, наведених у сучасній науковій літературі. Для того щоб оперативно визначити стан серцево-судинної системи людини, були прийняті фізичні показники людини, які змінюються з часом нешвидко: вік людини, довжина тіла, її вага, та функціональні параметри, що змінюються через навколишнє середовище, стрес, напружену монотонну фізичну та розумову працю й емоціональне навантаження, які вимірюються неінвазивними способами: систолічного артеріального тиску, діастолічного артеріального тиску та частоти серцевих скорочень.

Аналіз впливу показників, які кількісно віддзеркалюють рівень функціонального стану організму і його систем, що характеризує його здатність адекватно і впевнено реагувати на комплекс невідповідних факторів при економній витраті функціональних резервів, показав, що вплив на несхожі показники протилежний, і тому іноді деякі висновки про стан організму людини розбіжні. Під час виконання дослідження залежності адаптаційного потенціалу серцево-судинної системи організму людини, показника рівня фізичного стану та загального периферійного опору кровотоку від частоти серцевих скорочень, систолічного та діастолічного артеріального тиску, віку, маса і довжини тіла людини були побудовані поєднані графіки, які наочно відображують їх вплив за величиною і за знаком впливу.

References

1. Рубан Л.А., Антропометричні та функціональні методи діагностики стану здоров'я: Харків: ХДАФК, 2016. 128 с.
2. Дубчик О.В., Оцінка фізичного стану студентів групи фізичної реабілітації вищих навчальних закладів: Київ: Фізичне виховання, спорт і культура здоров'я у сучасному суспільстві, 2012, № 4. С. 364–368.
3. Баевский Р.М. Оценка и классификация уровней здоровья с точки зрения теории адаптации: Москва: Вестник РАМН, 1989, №8. С. 73–78.
4. Баевский Р.М. Оценка адаптационных возможностей организма и риск развития заболеваний: Москва: Медицина, 1997. 235 с.
5. Землянская Н.А., Яценко С.Г. Адаптационный потенциал и его коррекция у больных гипертонической болезнью на этапе санаторно-курортной реабилитации: Симферополь: Крым-

- ский государственный медицинский университет им. С.И. Георгиевского, г. Симферополь: Український медичний альманах, 2011, Том 14, №4. С. 49–52.
6. Морман Д. Физиология сердечно-сосудистой системы: СПб.: «Питер», 2000. 256 с.
 7. Савицкий, Н.Н. Биофизические основы кровообращения и клинические методы изучения гемодинамики: Москва: Медицина, 1974. 311 с.
 8. Корнацький В.М. Проблеми здоров'я суспільства та продовження життя: Київ: Інститут кардіології ім. М.Д. Стражеска, 2006. 46 с.
 9. Воробьев Л.В. Анализ ЭКГ здорового человека: Кременчуг: 2017. 102 с.
 10. Мурашко В.В., Струтинский А.В. Электрокардиография: Москв.: Медицина, 1991. 288 с.
 11. Кипенский А.В., Шамардина В.Н., Дейнеко Д.М. Электрокардиография: Харьков: Учебно-методическое пособие: НТУ «ХПИ»: 2002. 52 с.
 12. Орлов В.Н. Руководство по электрокардиографии: Москва: ООО «Медицинское информационное агентство», 1997. 528с.
 13. Калиниченко А.Н., Гончаренко Ю.И., Родин А.И. Анализ спектральных параметров variability сердечного ритма в реальном масштабе времени. Биотехнические системы в медицине и биологии: СПб: Политехника, 2002. 238 с.
 14. Иванов Г.Г. Новые методы анализа электрокардиограммы: Москва: Функциональная диагностика, 2008. 260 с.
 15. Омельченко В.А. Основы спектральной теории распознавания сигналов: Киев: Высшая школа, 1983. 156 с.
 16. Файнзильберг Л.С. ФАЗАГРАФ® — эффективная информационная технология обработки ЭКГ в задаче скрининга ишемической болезни сердца: Клиническая информатика и телемедицина. 2010. Т. 6, Вып. 7. С. 22–30.