

Сергій ПАВЛОВ¹, д-р техн. наук, проф.,
Ірина МЕЖІЄВСЬКА², канд. мед. наук, доц.,
Вальдемар ВУЙЦІК³, д-р техн. наук, проф.,
Олег ВЛАСЕНКО², д-р мед. наук, проф.,
Олег АВРУНІН⁴, д-р техн. наук, проф.,
Валентин МАСЛОВСЬКИЙ², д-р мед. наук, доц.,
Олександр ВОЛОСОВИЧ¹, магістр

¹ Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна, e-mail: psv@vntu.edu.ua

² Вінницький національний медичний університет ім. М. Пирогова, м. Вінниця, Україна, e-mail: irinamezhiiivska@gmail.com, vlasenko@vntu.edu.ua, vmaslovskiy@gmail.com

³ Люблінський технологічний університет, м. Люблін, Польща, e-mail: waldemar.wojcik@pollub.pl

⁴ Харківський національний університет радіоелектроніки, м. Харків, Україна, e-mail: oleh.avrunin@nure.ua

МЕДИЧНА ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКУ АНАТОМІЧНОГО УРАЖЕННЯ КОРОНАРНИХ АРТЕРІЙ

Анотація. В роботі проаналізовано світовий досвід розвитку медичних інформаційних технологій. Розроблено методику використання нечітких множин для реалізації інформаційної експертної системи для вирішення завдань медичної діагностики, зокрема, при оцінюванні ступеня анатомічного ураження коронарного русла у пацієнтів з різними формами ІХС. Практична цінність роботи полягає в можливості використання автоматизованої експертної системи для вирішення задач медичної діагностики на основі нечіткої логіки при оцінюванні ступеня анатомічного ураження коронарного русла у пацієнтів з різними формами ІХС.

Ключові слова: медичні інформаційні технології, медичні інформаційні системи, коронарні канали, ІХС.

Вступ. Ішемічна хвороба серця (ІХС) залишається однією з провідних причин тимчасової та стійкої втрати працездатності, інвалідизації та смертності населення в економічно розвинутих країнах і є однією з найактуальніших проблем кардіології [1, 2]. На сьогодні серцево-судинні захворювання викликають 47 % усіх випадків смерті серед населення Європи, що становить 4 млн. випадків щороку [3]. В Україні ІХС становить 65 % у структурі смертності від захворювань системи кровообігу працездатного населення та є головною причиною інвалідизації [4, 5].

Незважаючи на те, що в Європі рівень смертності, асоційованої з ІХС за останні десятиріччя знизився, дана патологія залишається однією з провідних причин смерті. Відносні показники рівня STEMI знижуються, в той час, як NSTEMI, відповідно, підвищуються. Незважаючи на зниження рівня смертності, асоційованої з STEMI, що супроводжується розширенням практики проведення реперфузійної терапії, смертність залишається значною. Госпітальна смертність у даних пацієнтів, згідно європейських реєстрів, коливається на рівні 4...12 % [6, 7, 8,15].

Інфаркт міокарда є найчастішим проявом ішемічної хвороби серця та однією з основних причин інвалідності й смертності працездатного населення. Летальність при інфаркті міокарда становить 18,5...40 %, значне число хворих вмирає від початку нападу й у більшості випадків до госпіталізації. Протягом останніх 10 років значно підвищилась частота виникнення NSTEMI (інфаркт міокарда без підйому сегмента ST). Важливим моментом введення хворих з NSTEMI є розробка стратифікації і прогнозування перебігу, використовуючи різноманітні клініко-інструментальні параметри.

Систематизовані дані про характер ураження коронарних артерій у пацієнтів з NSTEMI демонструють, що 10...20 % пацієнтів мають інтактні коронарні артерії, в 30...35 % випадків наявне ураження однієї, в 25...30 % – 2 артерій і в 5...10 % – ураження стовбура лівої коронарної артерії різного ступеня [1, 2, 3, 4]. Низка досліджень демонструють менш значущі анатомічні зміни в коронарних артеріях у жінок порівняно з чоловіками в усіх вікових групах [5, 6, 7].

Метою роботи є розробка стратифікації і прогнозування перебігу захворювання, що надасть можливість проводити профілактику і запобігати дестабілізації перебігу захворювання і розвитку різних ускладнень хворих з NSTEMI.

Світовий досвід розвитку МІС. Впровадження інформаційних технологій в таку нетрадиційну і консервативну область, як медицина почалася в другій половині 60-х років з робіт Н.М. Амосова [9], який вперше в світі створив стандартизовану історію хвороби, орієнтовану на застосування в комп'ютері. На початку 70-х В.І. Бураковський ввів в дію першу в світі автоматизовану систему стеження за хворими і підтримки рішень лікаря за допомогою математичних моделей [10]. У ці ж роки Л. Осборн використовує в Сан-Франциско міні-ЕОМ для лікування тяжкохворих, а Дж. Кірклін разом з Л. Шепардом створює в Алабамі і реалізує на «приліжковій» міні-ЕОМ алгоритм лікування гострої важкої серцевої недостатності [11].

Почалося створення інформаційних медичних систем. У зв'язку з бурхливим розвитком можливостей комп'ютерної техніки та інформаційних технологій, а також з прогресом в медичній техніці, біоелектроніці, молекулярній біофізиці, фізичній хімії, біохімії, генетиці, імунології, а також кібернетиці і інформатиці [12] відбувається розвиток теоретичних основ впровадження інформаційних технологій при створенні МІС. Сформувалися цілі галузі науки – медична кібернетика та медична інформатика [13], які дозволили на теоретичному рівні провести дослідження щодо застосування кібернетичних методів для підвищення якості всіх етапів лікувально-профілактичного процесу.

Обробка експериментальних досліджень. На основі проведених досліджень комплексного обстеження 165 пацієнтів на базі Вінницького національного медичного університету ім. М. Пирогова з різними формами ішемічної хвороби серця (ІХС) з/та без гіпертонічної хвороби (ГХ) віком від 35 до 79 років (в середньому $60,7 \pm 0,8$, медіана – 61, інтерквартильний розмах – 54 і 69) експертами проаналізовано особливості анатомічного ураження коронарного русла в пацієнтів з різними формами ІХС.

Серед обстежених 114 (69,1 %) пацієнтів були чоловічої і 51 (30,9 %) – жіночої статі, відповідно. Співвідношення чоловіків до жінок склало 2,2 до 1,0 ($\chi^2=48,1$; $p<0,0001$), що свідчило про суттєве переважання в дослідженні пацієнтів чоловічої статі.

У якості критеріїв включення пацієнтів у дослідження розглядали:

- стабільні та гострі форми ІХС (стабільна стенокардія напруги II-III ФК, нестабільна стенокардія і гострий інфаркт міокарда з елевацією і без елевації сегменту ST);
- гострий інфаркт міокарда лівого шлуночка (ЛІШ), що виник вперше (за відсутності в анамнезі перенесеного ІМ);
- вік пацієнтів від 30 до 80 років.

Реалізація медичної інформаційної системи на основі нечітких множин. Сформована табл. 1 з визначенням мінімальних та максимальних значень факторів X_1 – X_4 . В нашому випадку X_1 (Наявність а/б в басейні ДГ або ПМШГ ЛКА), X_2 (Наявність а/б в басейні ОГ ЛКА), X_3 (Наявність ГЗС в басейні ПКА), X_4 (Відсутність ГЗС КА). Визначено основні клінічні форми ІХС (ІМ бел ST інфаркт міокарда без елевації сегменту ST $\mu^I(x_1x_2x_3x_4)$), НС – нестабільна стенокардія, $\mu^{II}(x_1x_2x_3x_4)$, ІМелST – інфаркт міокарда з елевацією сегмента ST $\mu^{III}(x_1x_2x_3x_4)$, СтН – стабільна стенокардія напруги $\mu^{IV}(x_1x_2x_3x_4)$).

Враховуючи діапазони факторів X_1 – X_4 сформовано базу знань експертів на основі баз знань експертів.

На основі теорії нечітких множин сформовано рівняння для визначення рівня ураження.

Розроблено інтерфейс користувача МІС для оцінювання біомедичної інформації (рис. 1).

Таблиця 1

Формування мінімальних та максимальних значень факторів X1–X4

Клінічні форми ІХС	Особливості анатомічного ураження коронарного руслу			
	Наявність а/б в басейні ДГ або ПМШГ ЛКА X1	Наявність а/б в басейні ОГ ЛКА X2	Наявність ГЗС в басейні ПКА X3	Відсутність ГЗС КА X4
ІМ бел ST інфаркт міокарда без елевації сегменту ST $\mu^I(x_1x_2x_3x_4)$	2,57±0,07	2,42±0,18	2,23±0,12	3,66±0,20
НС – нестабільна стенокардія $\mu^{II}(x_1x_2x_3x_4)$	2,15±0,13	2,50±0,50	1,00±0	2,50±0,43
ІМелST – інфаркт міокарда з елевацією сегмента ST $\mu^{III}(x_1x_2x_3x_4)$	2,64±0,12	2,08±0,23	2,11±0,14	4,32±0,35
СТН – стабільна стенокардія напруги $\mu^{IV}(x_1x_2x_3x_4)$	2,00±0,17	2,00±0,26	2,00±0,26	3,64±0,43
	min/max 1,83÷2,76	min/max 1,74÷3,0	min/max 1,0÷2,35	min/max 2,07÷4,67

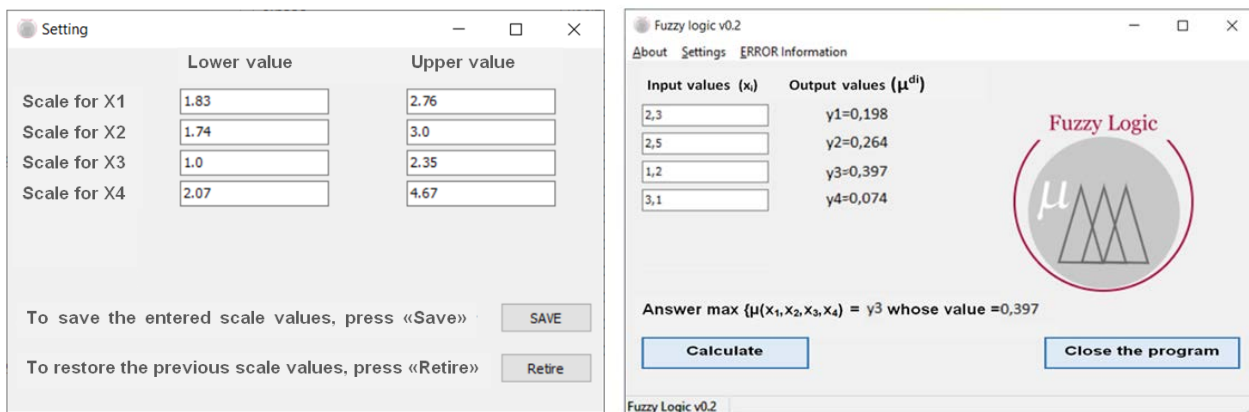


Рис. 1. Інтерфейс користувача МІС для оцінювання ступеню анатомічного ураження коронарних каналів

Основні наукові результати: розроблено математичні моделі та алгоритми, що формалізують процес прийняття діагностичних рішень на основі нечіткої логіки з кількісними та якісними параметрами стану пацієнта; розроблено математичні моделі функцій приналежності, що формалізують представлення кількісних і якісних параметрів стану пацієнта у вигляді нечітких множин, які використовуються в моделях і алгоритмах оцінки ступеня анатомічного ураження коронарного руслу у пацієнтів з різними формами ІХС.

Висновки

У роботі проаналізовано основні сфери застосування математичних методів у медичній діагностиці, сформульовано принципи діагностики на основі нечіткої логіки.

Проаналізовано світовий досвід розвитку медичних інформаційних технологій.

Розроблено методику використання нечітких множин для реалізації інформаційної експертної системи для вирішення завдань медичної діагностики, зокрема, при оцінюванні ступеня анатомічного ураження коронарного руслу у пацієнтів з різними формами ІХС.

Література

1. Wójcik, W.; Mezhiievska, I.; Pavlov, S.V.; Lewandowski, T.; Vlasenko, O.V.; Maslovskiy, V.; Volosovych, O.; Kobylanska, I.; Moskovchuk, O.; Ovcharuk, V.; Lewandowska, A. Medical Fuzzy-Expert System for Assessment of the Degree of Anatomical Lesion of Coronary Arteries. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2023, 20, 979
2. Maslovskiy V, Mezhiievska I. Features of the coronary arteries anatomical lesions in nstemi patients depending on the association with the initial clinical characteristics. *Georgian Med News*. 2021 Nov;(320):85-89. PMID: 34897050.
3. Choi Y, Lee JH, Seo JI. Change in T/QRS ratio can be a supplementary diagnostic tool in predicting coronary artery disease in patients with NSTEMI. *Am J Emerg Med*. 2021 Jan;39:48-54. doi: 10.1016/j.ajem.2020.01.013. Epub 2020 Jan 8. PMID: 31954545.
4. Shafiq A, Jang JS, Kureshi F, Fendler TJ, Gosch K, Jones PG, Cohen DJ, Bach R, Spertus JA. Predicting Likelihood for Coronary Artery Bypass Grafting After Non-ST-Elevation Myocardial Infarction: Finding the Best Prediction Model. *Ann Thorac Surg*. 2016 Oct;102(4):1304-11. doi: 10.1016/j.athoracsur.2016.03.090. Epub 2016 Jun 3. PMID: 27266420; PMCID: PMC5145468.
5. Blondheim DS, Kleiner-Shochat M, Asif A, Kazatsker M, Frimerman A, Abu-Fanne R, Neiman E, Barel M, Levy Y, Amsalem N, Shotan A, Meisel SR. Characteristics, Management, and Outcome of Transient ST-elevation Versus Persistent ST-elevation and Non-ST-elevation Myocardial Infarction. *Am J Cardiol*. 2018 Jun 15;121(12):1449-1455. doi: 10.1016/j.amjcard.2018.02.029. Epub 2018 Mar 12. PMID: 29699746.
6. Maslovskiy VI, Mezhiievska IA. The level of growth stimulating factor expressed by gene 2 and troponin i in the blood plasma of nstemi patients depending on different clinical characteristics. *Wiad Lek*. 2022;75(1 pt 2):289-292. PMID: 35182137.
7. Lopez-de-Andres A, Jimenez-Garcia R, Hernández-Barrera V, de Miguel-Yanes JM, Albaladejo-Vicente R, Villanueva-Orbaiz R, Carabantes-Alarcon D, Zamorano-Leon JJ, Lopez-Herranz M, de Miguel-Diez J. Are there sex differences in the effect of type 2 diabetes in the incidence and outcomes of myocardial infarction? A matched-pair analysis using hospital discharge data. *Cardiovasc Diabetol*. 2021 Apr 22;20(1):81. doi: 10.1186/s12933-021-01273-y. PMID: 33888124; PMCID: PMC8063379.
8. Stehli J, Martin C, Brennan A, Dinh DT, Lefkovits J, Zaman S. Sex Differences Persist in Time to Presentation, Revascularization, and Mortality in Myocardial Infarction Treated With Percutaneous Coronary Intervention. *J Am Heart Assoc*. 2019 May 21;8(10):e012161. doi: 10.1161/JAHA.119.012161. PMID: 31092091; PMCID: PMC6585344.
9. Amosov N.M. Automated medical data processing system / N.M. Amosov, N.G. Zaitsev, N.A. Popov – K.: Naukova dumka, 1969. – 128 c.
10. Kirklin J.K. Algorithm of the treatment to sharp heavy warmhearted insufficiency / J.K. Kirklin, J.W. Kirkli // *Ann. Thorac. sms.* – 1981. – Vol. 32. – P. 311–319.
11. Basic tasks of medical cybernetics / [N.M. Amosov, A.A. Popov, V.G. Melnikov, etc.] – K.: Scientific. council on cybernetics, 1969. – 98 p.
12. Pavlov S.V. Multichannel system for recording myocardial electrical activity // O. Vlasenko, W. Wójcik, S.V. Pavlov, and etc. *Information Technology in Medical Diagnostics II*. CRC Press / Balkema book, 2019 Taylor & Francis Group, London, UK, pp. 307–314.
13. Serkova V., Pavlov S., Romanava V, and etc. Medical expert system for assessment of coronary heart disease destabilization based on the analysis of the level of soluble vascular adhesion molecules // *Proc. SPIE 10445, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments 2017, 104453O*; doi: 10.1117/12.2280984.
14. *Coronary Atrery Diseases*, edited by Ilya Chakovsky and nataliia Sydorova, Janeza Trdine 9, 51000, Rijeka, Croatia, 2012, pp. 332.
15. Rothstein A.P. Intelligent identification technologies: fuzzy logic, genetic algorithms, neural networks / A.P. Rothstein – Vynnytsia: Universum-Vynnytsia, pp. 199–320.
16. Kirklin J.K. Algorithm of the treatment to sharp heavy warmhearted insufficiency / J.K. Kirklin, J.W. Kirkli // *Ann. Thorac. sms.* – 1981. – Vol. 32. pp. 311–319.
17. The main tasks of medical cybernetics / [N.M. Amosov, A.A. Popov, V.G. Melnikov, etc.] – K. : Nauchn. council on cybernetics, pp. 1969. - 98.
18. Vorobyov E.I. Introduction to medical cybernetics / E.I. Vorobyov, A.I. Kitov – M.: Medicine, 1977. pp. 286.
19. Vesnenko A.I. Topo-typology of the structure of a detailed clinical diagnosis in modern medical

information systems and technologies / A.I. Vesnenko, A.A. Popov, M.I. Pronenko // *Cybernetics and system analysis*. 2002, 6, 143–154.

20. Prokopchuk V.A. Development of the structure of the knowledge base of a medical intellectual system based on formalism / V.A. Prokopchuk // *Artificial Intelligence*, 2006, 4, 469–474.

21. On the infrastructure of information support for clinical medicine / [Lishchuk V.A., Gavrilov A.V., Shevchenko G.V. and others] // *Medical technology*. 2003, 4, 36–42.

22. Fainzilberg L.S. Mathematical methods for assessing the usefulness of diagnostic features /L.S. Fainzilberg – K.: Osvita Ukraine, 2010, pp. 152

23. Modern intellectual technologies of functional medical diagnostics: a monograph / O.G. Avrunin, E.V. Bodyanskyi, M.V. Kalashnyk, V.V. Semenets, V.O. Filatov. – Kharkiv: Khnure, 2018. pp. 236.

24. Wójcik, W., Pavlov, S., Kalimoldayev, M. (2019). *Information Technology in Medical Diagnostics II*. London: Taylor & Francis Group, CRC Press, Balkema book. pp. 336.

25. Pavlov S.V. *Information Technology in Medical Diagnostics* //Waldemar Wójcik, Andrzej Smolarz, July 11, 2017 by CRC Press. pp. 210.

26. Shkilniak L., Wójcik Waldemar, Pavlov S., Vlasenko O. Expert fuzzy systems for evaluation of intensity of reactive edema of soft tissues in patients with diabetes. *IAPGOS*, 2022, 3, 59-63. doi.org/10.35784/iapgoss.3037.