

С. В. Павлов<sup>1</sup>  
І. А. Межієвська<sup>2</sup>  
В. Войцік<sup>3</sup>  
О. В. Власенко<sup>2</sup>  
В. Ю. Масловський<sup>2</sup>  
О. С. Волосович<sup>1</sup>

## Моделювання оцінювання ризику анатомічного ураження коронарних артерій на основі нечітких МНОЖИН

<sup>1</sup>Вінницький національний технічний університет

<sup>2</sup>Вінницький національний медичний університет ім. М. Пирогова

<sup>3</sup>Люблінський технологічний університет

### Анотація

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

### Abstract

The method of using fuzzy sets for the implementation of an information expert system for solving the problems of medical diagnostics, in particular, when assessing the degree of anatomical damage of the coronary bed in patients with various forms of coronary artery disease, has been developed. The practical value of the work lies in the possibility of using an automated expert system to solve the problems of medical diagnosis based on fuzzy logic when assessing the degree of anatomical damage of the coronary bed in patients with various forms of coronary artery disease.

**Keywords:** medical information technologies, medical information systems, coronary channels, coronary artery disease

### 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 [8-215].

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].

### 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 переважаєння в дослідженні пацієнтів чоловічої статі.

У якості критеріїв включення пацієнтів у дослідження розглядали:

1) стабільні та гострі форми ІХС (стабільна стенокардія напруги II-III ФК, нестабільна стенокардія і гострий інфаркт міокарда з елевацією і без елевації сегменту ST);

2) гострий інфаркт міокарда лівого шлуночка (ЛШ), що виник вперше (за відсутності в анамнезі перенесеного ІМ);

3) вік пацієнтів від 30 до 80 років.

Враховуючи діапазони факторів сформовано базу знань експертів на основі баз знань експертів [16-26].

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

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

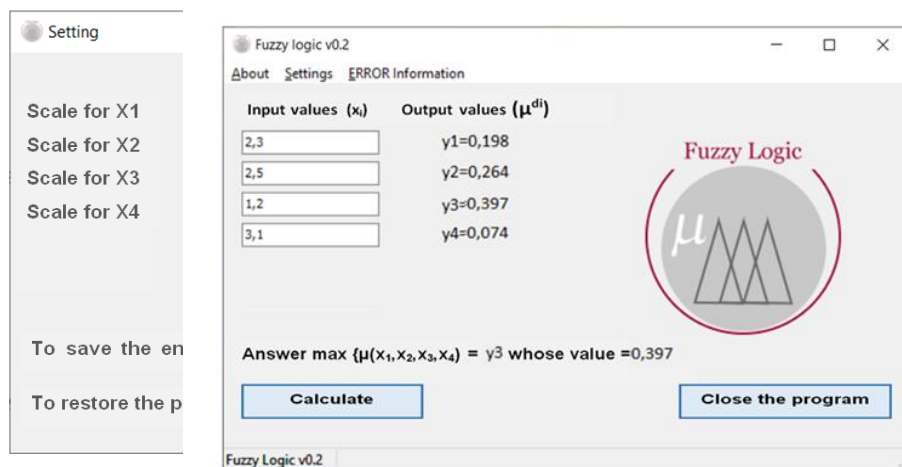


Рисунок 1 - Інтерфейс користувача МІС для оцінювання ступеню анатомічного ураження коронарних каналів

## 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.

- 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.

- Розроблені моделі та алгоритми медичної діагностики ґрунтуються на ідеях та принципах штучного інтелекту та інженерії знань, теорії планування експерименту, теорії нечітких множин та лінгвістичних змінних. Експертна система перевірена на реальних даних.

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 руслу у пацієнтів з різними формами ІХС.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Wójcik, W.; Mezhiievska, I.; Pavlov, S.V.; Lewandowski, T.; Vlasenko, O.V.; Maslovskiy, V.; Volosovych, O.; Kobylianska, 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 Illya 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 – Vinnytsia: Universum-Vynnytsia, pp. 1999-320.
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/iapgos.3037.

**Павлов Сергій Володимирович** — д.т.н., професор кафедри біомедичної інженерії та оптико-електронних систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, 21021, Україна, e-mail: psv@vntu.edu.ua, ORCID: 0000-0002-0051-5560

**Межівська Ірина Анатоліївна** — к.м.н, доцент кафедри внутрішньої медицини No. 3, Вінницький національний медичний університет ім. М. Пирогова, м. Вінниця, вул. Пирогова, 56, 21018, Україна, e-mail: irinamezhiievska@gmail.com, ORCID:0000-0003-0676-379X

**Войцік Вальдемар** — д.т.н., проф., Люблінський технологічний університет, Nadbystrzycka 38d, 20-618 Lublin, Poland, e-mail: waldemar.wojcik@pollub.pl, ORCID: 0000-0002-6473-9627

**Власенко Олег Володимирович** — д.м.н., професор, проректор з наукової роботи, НДІ експериментальної нейрофізіології, Вінницький національний медичний університет ім. М. Пирогова, м. Вінниця, вул. Пирогова, 56, 21018, e-mail: vlasenko@vntu.edu.ua, ORCID: 0000-0001-8759-630X

**Масловський Валентин Юрійович** — д.м.н, доцент кафедри внутрішньої медицини No. 3, Вінницький національний медичний університет ім. М. Пирогова, м. Вінниця, вул. Пирогова, 56, 21018, e-mail: vmaslovskiy@gmail.com, ORCID:0000-0001-5184-1799

**Волосович Олександр Сергійович** — магістр, аспірант, кафедри біомедичної інженерії та оптико-електронних систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, 21021, Україна, e-mail: sashka.v0@gmail.com, ORCID: 0000-0002-5497-6805

**Pavlov Sergii** — Doctor Tech. Sc., professor, Department of Biomedical Engineering and Optic-Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Khmelnytske shose, 95, 21021, Vinnytsia, e-mail: psv@vntu.edu.ua, ORCID: 0000-0002-0051-5560

**Mezhiievska Iryna** — Cand. Med. Sc., associated professor, Department of Internal Medicine No. 3, National Pirogov Memorial Medical University, Pirogov str. 56, 21018, Vinnytsya, Ukraine, e-mail: irinamezhiievska@gmail.com, ORCID:0000-0003-0676-379X

**Wójcik Waldemar** — Doctor Tech. Sc., professor, Lublin University of Technology, Nadbystrzycka 38d, 20-618 Lublin, Poland, e-mail: waldemar.wojcik@pollub.pl, ORCID: 0000-0002-6473-9627

**Vlasenko Oleh** — Doctor Med. Sc., professor, vice-rector, Laboratory of Experimental Neurophysiology, National Pirogov Memorial Medical University, Pirogov str. 56, 21018, Vinnytsya, Ukraine, e-mail: vlasenko@vntu.edu.ua, ORCID: 0000-0001-8759-630X

**Maslovskiy Valentyn** — Doctor Med. Sc., associated professor, Department of Internal Medicine No. 3, National Pirogov Memorial Medical University, Pirogov str. 56, 21018, Vinnytsya, Ukraine, e-mail:

vmaslovskyi@gmail.com, ORCID:0000-0001-5184-1799

***Volosovych Oleksandr*** — Master, postgraduated student, Department of Biomedical Engineering and Optic-Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Khmelnytske shose, 95, 21021, Vinnytsia, e-mail: sashka.v0@gmail.com, ORCID: 0000-0002-5497-6800