

[https://doi.org/10.30702/ujcvs/24.32\(02\)/KS025-1721](https://doi.org/10.30702/ujcvs/24.32(02)/KS025-1721)  
УДК 616.132.2-007.272:616-073.7:004.8

**Калашніков С. А.**, лікар-хірург відділення планової та екстреної ендovasкулярної хірургії, аспірант,  
<https://orcid.org/0000-0002-5027-8874>

**Сало С. В.**, канд. мед. наук, завідувач відділення планової та екстреної ендovasкулярної хірургії,  
<https://orcid.org/0000-0001-5456-1418>

**Степанюк А. В.**, лікар-інтерн відділення хірургічного лікування патології серця з поліорганною недостатністю,  
<https://orcid.org/0009-0000-1378-7648>

**Санду С.**, лікар-інтерн відділення хірургічного лікування патології серця з поліорганною недостатністю,  
<https://orcid.org/0009-0006-5619-0968>

**Лазоришинець В. В.**, д-р мед. наук, професор, академік НАМН України, чл.-кор. НАН України, директор,  
<https://orcid.org/0000-0002-1748-561X>

ДУ «Національний інститут серцево-судинної хірургії імені М. М. Амосова НАМН України», м. Київ, Україна

## Застосування моделі штучного інтелекту для виявлення електрокардіографічних ознак коронарної оклюзії в пацієнтів з гострим коронарним синдромом без елевації сегмента ST

### Резюме

**Мета** – визначення загальної ефективності моделі глибокого навчання (штучного інтелекту) «OMI AI» у діагностиці коронарної оклюзії серед пацієнтів з гострим коронарним синдромом без елевації сегмента ST.

**Матеріали та методи.** В одноцентровому ретроспективному спостережному дослідженні були проаналізовані дані 238 пацієнтів, що поступили в ДУ «НІССХ ім. М. М. Амосова НАМН» з діагнозом «гострий коронарний синдром без елевації сегмента ST». Критеріями включення у дослідження були: вік  $\geq 18$  років, наявність симптомів гострого коронарного синдрому, наявність принаймні однієї 10-секундної 12-канальної електрокардіографії при поступленні у лікувальний заклад, відсутність типових для інфаркту міокарда з елевацією сегмента ST змін на електрокардіограмі та проведення принаймні одного лабораторного визначення рівня маркерів пошкодження міокарда в крові.

**Результати.** В остаточний аналіз увійшли дані 116 пацієнтів, з них 69 (59,5 %) чоловіків та 47 (40,5 %) жінок віком від 43 до 88 років (середній вік  $67 \pm 11$  років), з яких 34 були пацієнтами старших вікових груп ( $\geq 75$  років). З них 29 (25 %) пацієнтів були виписані з діагнозом гострого інфаркту міокарда без елевації сегмента ST, 60 (51,7 %) з діагнозом нестабільної стенокардії та 27 (23,3 %) пацієнтів з іншими діагнозами (патології клапанного апарату серця, аневризми аорти, порушення ритму серця та кардіоміопатії). Під час аналізу електрокардіографічних даних моделлю штучного інтелекту «OMI AI», істинно позитивні результати були отримані в 23 випадках (19,8 %), істинно негативні результати – в 76 випадках (65,5 %), хибнопозитивні результати – в 11 випадках (9,5 %) та хибнонегативні – в 6 випадках (5 %). За результатами дослідження, чутливість моделі становить 67 %, специфічність – 93 %. Позитивне та негативне прогностичні значення для досліджуваної моделі сягають 0,793 та 0,874 відповідно. Загальна точність моделі становить 85,34 % (95 % довірчий інтервал від 77,78 до 90,64 %).

**Висновки.** Застосування інструментів глибокого навчання (штучного інтелекту) має потенціал до покращення точності діагностики інфаркту міокарда при госпіталізації, пришвидшення надання спеціалізованої допомоги та покращення прогнозу в пацієнтів з гострим коронарним синдромом без елевації сегмента ST.

**Ключові слова:** ішемічна хвороба серця, інфаркт міокарда, нестабільна стенокардія, модель глибокого навчання, перкутанні коронарні втручання, оклюзія коронарної артерії.

**Актуальність.** Станом на кінець 2021 року смертність від ішемічної хвороби серця в Україні перевищує

вала смертність від усіх інших причин, не пов'язаних із серцево-судинними захворюваннями [1]. Державні витрати на лікування інфаркту міокарда, який є одним з найчастіших життєзагрозливих станів, спричинених ішемічною хворобою серця, в Україні постійно

зростають – з 214 млн грн у 2019, до 380,6 млн грн у 2020, 606,8 млн грн у 2021 та 1040,1 млн грн у 2022 роках [2]. Найефективнішим методом лікування при ранній діагностиці інфаркту міокарда 1-го типу, що пов'язаний з оклюзією коронарної артерії через дестабілізацію атеросклеротичної бляшки та артеріальний тромбоз, є перкутанне коронарне втручання [3].

Стратифікація пацієнтів із за грудином болем, яким показана термінова реперфузійна терапія, значною мірою спирається на зміни сегмента ST на електрокардіограмі (ЕКГ). Проте 70 % пацієнтів з гострим коронарним синдромом не мають елевації сегмента ST на ЕКГ, а динамічна природа патофізіології гострого коронарного синдрому зменшує точність його класифікації як STEMI або Non-STEMI для своєчасної діагностики коронарної оклюзії [4]. Затримка у проведенні реперфузійної терапії в пацієнтів, які мають коронарну оклюзію, призводить до погіршення їх короткострокового і довгострокового прогнозу [3]. Відповідно, існує потреба у підвищенні точності й швидкості діагностики коронарної оклюзії в пацієнтів, що не мають класичних ознак STEMI на ЕКГ.

Штучний інтелект (ШІ) – це міждисциплінарна галузь, що швидко розвивається і використовує, зокрема, методи машинного навчання для аналізу та інтерпретації даних, включно з даними лабораторних та інструментальних досліджень при захворюваннях серцево-судинної системи [5]. Сучасні технології ШІ, такі як згорткові нейронні мережі з алгоритмами глибокого навчання, роблять можливими швидко й точно інтерпретацію ЕКГ, подібну до такої у тренуваних спеціалістів. Деякі сигнали і патерни, здебільшого нерозпізнавані інтерпретаторами-людьми, можуть бути виявлені багатосаровими мережами ШІ, що робить ЕКГ більш точним інструментом у діагностиці серцево-судинних захворювань [6,7].

Автоматизована модель глибокого навчання «OMI AI» є одним з інструментів ШІ, призначеним для виявлення інфаркту міокарда, пов'язаного з оклюзією коронарної артерії на основі аналізу однієї 12-канальної ЕКГ [8,9].

**Мета** – визначення загальної ефективності моделі глибокого навчання (штучного інтелекту) «OMI AI» у діагностиці коронарної оклюзії серед пацієнтів з гострим коронарним синдромом без елевації сегмента ST.

**Матеріали та методи.** Під час проведення цього ретроспективного спостережного дослідження були проаналізовані дані 238 пацієнтів, що поступили в ДУ «Національний інститут серцево-судинної хірургії імені М. М. Амосова НАМН України» з попереднім діагнозом «гострий коронарний синдром без елевації сегмента ST» у період із січня по серпень 2023 року. Для включення в досліджувану групу пацієнти мали відповідати таким критеріям: вік 18 років і більше, характерні симптоми гострого коронарного

синдрому (біль/стиснення/печіння в грудях, задишка, епігастральний біль), наявність принаймні однієї стандартної 10-секундної 12-канальної ЕКГ при поступленні, відсутність типових для інфаркту міокарда з елевацією сегмента ST змін на ЕКГ та проведення принаймні одного лабораторного визначення рівня маркерів пошкодження міокарда в крові. У більшості пацієнтів рівень серцевих тропонінів не визначався через обмеженість проведення цього дослідження, але у всіх пацієнтів визначався рівень myocardial band фракції креатинфосфокінази, що був використаний як сурогатний маркер для оцінювання наявності пошкодження міокарда [9,10]. З дослідження були виключені пацієнти, які підлягали неекстреній (плановій) коронарній ангіографії, пацієнти з хронічним коронарним синдромом або заключним діагнозом стенокардії напруження та пацієнти, які мали зміни на ЕКГ, що відповідали критеріям гострого коронарного синдрому з елевацією сегмента ST [3].

Медична інформаційна система та журнали реєстрації пацієнтів були використані для визначення пацієнтів, які відповідали критеріям включення. Додаток для смартфонів PMcardio – ECG Analysis був використаний для збирання та анонімізації даних ЕКГ шляхом фотографування паперової форми та оцифрування кривих 12-канального запису ЕКГ. Для інтерпретації результатів була використана модель штучного інтелекту «OMI AI», тренувана на 18 616 ЕКГ від 10 543 унікальних пацієнтів з гострим коронарним синдромом. Після завантаження цифрових кривих 12-канальної ЕКГ у модель вона стандартизує їх у формат 3 × 4, беручи 2,5 секунди даних із кожного відведення. Для аналізу ЕКГ моделлю використовується підхід глибокого навчання, а саме згорткова нейронна мережа (англ. convolutional neural network). Архітектура нейронної мережі містить дві основні частини: одну – для виділення важливих ознак з ЕКГ, іншу – для класифікації цих ознак для встановлення діагнозу. Частина виділення ознак використовує кілька шарів візуальної інформації для виявлення значущих патернів у кожному відведенні подібно до того, як це відбувається у зоровій корі головного мозку, тоді як частина класифікації поєднує всі ці ознаки для прийняття рішення про наявність ЕКГ-ознак коронарної оклюзії подібно до того, як лікар аналізував би ЕКГ. Ця модель ШІ була протестована на базі даних 3254 ЕКГ від 2222 унікальних пацієнтів (20 % з гострим інфарктом міокарда) [11].

Усі клінічні параметри були зібрані та систематизовані в електронній таблиці Microsoft Excel. Дані пацієнтів були пов'язані з оцифрованими даними ЕКГ через анонімізований ідентифікатор пацієнта та унікальний ідентифікатор звіту, автоматично згенерований додатком PMcardio. Для кожного пацієнта, включеного в аналіз, були задокументовані такі дані:

анонізований ідентифікатор пацієнта, унікальний ідентифікатор звіту ЕКГ, час запису ЕКГ, стать, вік, рівень серцевого тропоніну при поступленні, піковий рівень тропоніну, рівень креатинкінази-МВ при поступленні, піковий рівень креатинкінази-МВ, рівень загальної креатинкінази при поступленні, піковий рівень загальної креатинкінази, інфаркт-залежна судина, відсоток стенозу в інфаркт-пов'язаній судині, кровоплин в інфаркт-залежній судині за шкалою ТІМІ, наявність коронарного тромбозу, проведення черезшкірного коронарного втручання, проведення коронарного шунтування, час реваскуляризації, тип ураження (одно-, дво- чи трисудинне), діагноз при виписуванні та час від поступлення до реваскуляризації. Оцінювання ангиографічних даних та визначення відсотка стенозу проводили за допомогою спеціалізованого QCA (quantitative coronary angiography) програмного забезпечення два інтервенційні кардіологи, які були безпосередньо задіяні у виконання втручання. Після збирання даних оцифровані криві 12-каналних ЕКГ були автоматично пакетно інтерпретовані за допомогою моделі штучного інтелекту «OMI AI».

Використовуючи дані з таблиці 1, первинні кінцеві точки для моделі «OMI AI» у виявленні первинного результату OMI були розраховані таким чином:

$$\text{Чутливість} = 1N1 / (1N1 + 1N3)$$

$$\text{Специфічність} = 1N4 / (1N4 + 1N2)$$

$$\text{Позитивне прогностичне значення} = N1 / (N1 + N2)$$

$$\text{Негативне прогностичне значення} = N4 / (N4 + N3)$$

$$\text{Показник F1} = 2(N1) / 2(N1) + N2 + N3$$

Загальна точність моделі була визначена, як частка правильних прогнозів (включаючи істинно позитивні та істинно негативні) від усіх зроблених прогнозів.

### Таблиця 1

Таблиця спряженості для первинної кінцевої точки при виявленні інфаркту міокарда ЕКГ пацієнта з гострим коронарним синдромом без елевації сегмента ST

Наявність ознак ІМ на будь-якій ЕКГ пацієнта при поступленні	Діагностований гострий ІМ (референтне значення)	
	Реф. +	Реф. -
Звіт моделі «OMI AI»	N1	N2
	N3	N4

Примітка. ІМ – інфаркт міокарда.

**Результати та їх обговорення.** Після аналізу даних 238 пацієнтів з попереднім діагнозом гострого коронарного синдрому без елевації сегмента ST, 91 були виключені з дослідження через невідповідність критеріям включення: 46 пацієнтів мали заключний діагноз стенокардії напруження, для 34 пацієнтів не було можливості отримати запис ЕКГ при поступленні, для 11 пацієнтів не були доступні результати лабо-

раторного визначення рівня маркерів пошкодження міокарда в крові. З аналізу також були виключені дані 31 пацієнта через низьку якість електрокардіограми, що не дозволяла провести її програмний аналіз. Таким чином, в остаточний аналіз були включені дані 116 пацієнтів, з них 69 (59,5 %) чоловіків та 47 (40,5 %) жінок. Вік пацієнтів коливався від 43 до 88 років, середній вік становив  $67 \pm 11$  років. У досліджувану групу увійшли 34 пацієнти старших вікових груп (75 років та більше). Розподіл заключних діагнозів виглядав таким чином: 29 (25 %) пацієнтів з діагнозом гострого інфаркту міокарда без елевації сегмента ST, 60 (51,7 %) пацієнтів з діагнозом нестабільної стенокардії та 27 (23,3 %) пацієнтів з іншими діагнозами, зокрема клапанними патологіями (стеноз аортального клапана, недостатність мітрального клапана, недостатність аортального клапана) аневризми аорти, порушення ритму серця та кардіоміопатії. У групі пацієнтів з гострим інфарктом міокарда у 27 (93,1 %) інфаркт-пов'язане ураження виявлено в нативній артерії, в 1 пацієнта – у шунті і ще в 1 пацієнта інфаркт-пов'язане ураження не було локалізоване. У групі пацієнтів без інфаркту міокарда у 41 (68,3 %) гемодинамічно значуще ураження виявлено в нативній артерії, у 7 (11,7 %) пацієнтів – у шунті і у 12 (20 %) пацієнтів гемодинамічно значуще ураження не було локалізоване. В групі пацієнтів з інфарктом міокарда ангиографічні ознаки коронарного тромбозу були виявлені у 51,7 % пацієнтів, в той час як у групі без інфаркту міокарда ознаки тромбозу мали лише 5 % пацієнтів. У 68,9 % випадків гострого інфаркту міокарда пацієнтам було проведено перкутанне коронарне втручання, у 17,2 % – коронарне шунтування, 13,9 % пацієнтів отримали консервативне лікування. У групі без інфаркту міокарда у 50 % пацієнтів було проведено перкутанне коронарне втручання, в 11,6 % – коронарне шунтування, 38,4 % пацієнтів отримали консервативне лікування. Пацієнти з інфарктом міокарда мали таке розподілення обсягу уражень: 51,7 % – односудинне ураження, 27,5 % – двосудинне ураження і 20,6 % – трисудинне ураження. У групі пацієнтів без інфаркту міокарда 33,3 % мали ураження однієї судини, 11,6 % – двох судин, 31,6 % – трьох судин і у 23,3 % пацієнтів не було виявлено гемодинамічно значущих стенозів коронарних артерій. Середній відсоток звуження внутрішнього просвіту симптом-залежної артерії становив 97 % у групі пацієнтів з інфарктом міокарда і 73 % у групі пацієнтів без інфаркту міокарда. При оцінюванні кровоплину за шкалою ТІМІ серед пацієнтів з інфарктом міокарда 72,4 % мали ангиографічні ознаки порушення кровоплину в дистальних відділах уражених артерій (оцінка за шкалою ТІМІ від 0 до 2 балів), а серед пацієнтів без інфаркту міокарда лише 16,6 % мали ангиографічно підтверджене обмеження дистального коронарного кровоплину. Рівень креатинкінази-МВ у всіх пацієн-

тів при поступленні коливався від 5 до 466 одиниць із середнім значенням  $40 \pm 56$  одиниць, а рівень загальної креатинкінази коливався від 24 до 2500 одиниць із середнім значенням  $240 \pm 354$  одиниць. Під час госпіталізації показники рівня креатинкінази-МВ становили від 6 до 798 одиниць із середнім значенням  $72 \pm 119$  одиниць, а пікові рівні загальної креатинкінази коливались у межах від 26 до 5095 одиниць із середнім значенням  $490 \pm 806$  одиниць.

На підставі порівняння результатів інтерпретації ЕКГ моделлю штучного інтелекту «ОМІ AI» з клінічно та ангіографічно підтвердженою коронарною оклюзією інфаркт-залежної судини, істинно позитивні результати були отримані в 23 випадках (19,8 %), істинно негативні результати – в 76 випадках (65,5 %), хибнопозитивні результати – в 11 випадках (9,5 %) та хибнонегативні – в 6 випадках (5 %). Відповідно до розрахунків, чутливість моделі за результатами дослідження становить 67 %, специфічність – 93 %. Позитивне та негативне прогностичні значення для досліджуваної моделі становлять 0,793 та 0,874 відповідно. Загальна точність моделі глибокого навчання сягає 85,34 %, а довірчий інтервал 95 % для цієї точності, розрахований за допомогою інтервалу оцінок Вілсона, становить від 77,78 до 90,64 %.

Ці результати потрібно інтерпретувати з обережністю, зважаючи на обмеження, що накладав одноцентровий ретроспективний дизайн дослідження, великий відсоток пацієнтів, які були виключені з дослідження через невідповідність визначеним критеріям включення, а також обмежений перелік клінічних параметрів, що були включені в аналіз.

**Висновки.** Інструменти штучного інтелекту мають широкий потенціал до інтеграції в клінічну практику завдяки своїй доступності, швидкості роботи та придатності до масштабування. Випробування моделі штучного інтелекту «ОМІ AI» на досліджуваній вибірці показало її високу специфічність і точність (93 % та 85,34 % відповідно), а також відносно нижчу чутливість (67 %) до виявлення інфаркт-пов'язаної коронарної оклюзії на підставі ізольованого аналізу однієї електрокардіограми. Згорткові нейронні мережі можуть бути застосовані як допоміжний інструмент у прийнятті клінічних рішень у випадках, коли такі рішення приймаються на підставі вивчення візуальної інформації, оскільки ці мережі здатні класифікувати та інтерпретувати візуальні дані. Проведення подальших досліджень, зокрема з проспективним та мультицентровим дизайном, а також включення в них більшої кількості пацієнтів може надати важливу інформацію про потенційне місце цього інструменту в процесі надання невідкладної допомоги пацієнтам з гострим коронарним синдромом.

**Конфлікт інтересів.** Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

### Список використаних джерел

#### References

1. Number of deaths by specific causes of death 2021. Kyiv: State Statistics Service of Ukraine; c2022 [cited 2024 Apr 13]. Available from: [https://ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2021/ds/kpops/arh\\_kpops2021\\_u.html](https://ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2021/ds/kpops/arh_kpops2021_u.html)
2. Reports of the NHSU on the fulfillment of contracts for medical services under the medical guarantees program 2022. Kyiv: National Health Service of Ukraine; c2022 [cited 2024 Apr 13]. Available from: <https://edata.e-health.gov.ua/e-data/zviti>
3. Byrne RA, Rossello X, Coughlan JJ, Barbato E, Berry C, Chieffo A, et al.; ESC Scientific Document Group. 2023 ESC Guidelines for the management of acute coronary syndromes. *Eur Heart J.* 2023;44(38):3720-3826. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehad191>
4. Bhatt DL, Lopes RD, Harrington RA. Diagnosis and Treatment of Acute Coronary Syndromes: A Review. *JAMA.* 2022;327(7):662-675. <https://doi.org/10.1001/jama.2022.0358>
5. Haq IU, Chhatwal K, Sanaka K, Xu B. Artificial Intelligence in Cardiovascular Medicine: Current Insights and Future Prospects. *Vasc Health Risk Manag.* 2022;18:517-528. <https://doi.org/10.2147/VHRM.S279337>
6. Somani S, Russak AJ, Richter F, Zhao S, Vaid A, Chaudhry F, et al. Deep learning and the electrocardiogram: review of the current state-of-the-art. *Europace.* 2021;23(8):1179-1191. <https://doi.org/10.1093/europace/euaa377>
7. Siontis KC, Noseworthy PA, Attia ZI, Friedman PA. Artificial intelligence-enhanced electrocardiography in cardiovascular disease management. *Nat Rev Cardiol.* 2021;18(7):465-478. <https://doi.org/10.1038/s41569-020-00503-2>
8. Herman R, Meyers HP, Smith SW, Demolder A, Bertolone DT, Leone A, et al. ECG-based deep learning for detecting epicardial coronary occlusion in acute myocardial infarction. *Eur Heart J.* 2023;44 Suppl 2:ehad655.2930. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehad655.2930>
9. Howie-Esquivel J, White M. Biomarkers in Acute Cardiovascular Disease. *J Cardiovasc Nurs.* 2008;23(2):124-131. <https://doi.org/10.1097/01.JCN.0000305072.49613.92>
10. McErlean ES, Deluca SA, van Lente F, Peacock F 4th, Rao JS, Balog CA, et al. Comparison of troponin T versus creatine kinase-MB in suspected acute coronary syndromes. *Am J Cardiol.* 2000;85(4):421-426. [https://doi.org/10.1016/s0002-9149\(99\)00766-3](https://doi.org/10.1016/s0002-9149(99)00766-3)
11. Herman R, Meyers HP, Smith SW, Bertolone DT, Leone A, Bermpeis K, et al. International evaluation of an artificial intelligence-powered electrocardiogram model detecting acute coronary occlusion myocardial infarction. *Eur Heart J Digit Health.* 2023;5(2):123-133. <https://doi.org/10.1093/ehjdh/ztd074>

## Application of the Artificial Intelligence Model for Detection of Electrocardiographic Signs of Coronary Occlusion in Patients with Non ST-Elevation Acute Coronary Syndrome

Sviatoslav A. Kalashnikov, Sergii V. Salo, Andrii V. Stepaniuk, Sabi Sandu, Vasyl V. Lazoryshynets

National Amosov Institute of Cardiovascular Surgery of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

### Abstract

**The aim.** This study aimed to determine the effectiveness of the OMI AI deep learning model for the diagnosis of myocardial infarction in patients with non ST-elevation acute coronary syndrome.

**Materials and methods.** This single-center retrospective observational study analyzed the data of 238 patients admitted to the National Amosov Institute of Cardiovascular Surgery of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine with a primary diagnosis of non ST-elevation acute coronary syndrome. The inclusion criteria for the study were: age  $\geq 18$  years, symptoms of acute coronary syndrome, at least one 10-second 12-lead electrocardiography on admission, no changes typical of ST-segment elevation myocardial infarction on electrocardiography, and at least one laboratory blood test for biomarkers of myocardial damage.

**Results.** The final analysis included data from 116 patients, 69 (59.5%) men and 47 (40.5%) women aged 43 to 88 years (mean age  $67 \pm 11$  years), of whom 34 were older patients ( $\geq 75$  years). Of these, 29 (25%) patients were discharged with a diagnosis of acute myocardial infarction, 60 (51.7%) with a diagnosis of unstable angina, and 27 (23.3%) patients with other diagnoses. When analyzing electrocardiographic data by the OMI AI model, true positive results were obtained in 23 cases (19.8%), true negative results in 76 cases (65.5%), false positive results in 11 cases (9.5%), and false negative results in 6 cases (5%). Accordingly, the model's sensitivity was 67% and specificity was 93%. The positive and negative predictive values for the model under study were 0.793 and 0.874, respectively. The accuracy of the model was 85.34% (95% CI: 77.78% to 90.64%).

**Conclusions.** The use of the artificial intelligence tools has the potential to improve the accuracy of diagnosis of myocardial infarction during hospitalization, accelerate the provision of specialized care and improve prognosis in patients with non ST-elevation acute coronary syndrome.

**Keywords:** *coronary heart disease, myocardial infarction, unstable angina, percutaneous coronary intervention, coronary artery occlusion.*

Стаття надійшла в редакцію / Received: 04.04.2024

Після доопрацювання / Revised: 30.05.2024

Прийнято до друку / Accepted: 23.06.2024