

Визначення коронарного кальцинозу як інструмент персоналізації терапії та прогнозування ризику при гіпертонічній хворобі

А. М. Фроленко^{А,В,С,D}, М. Ю. Колесник^{Е,F}

Запорізький державний медико-фармацевтичний університет, Україна

А – концепція та дизайн дослідження; В – збір даних; С – аналіз та інтерпретація даних; D – написання статті; Е – редагування статті; F – остаточне затвердження статті

Ключові слова:

гіпертонічна хвороба, первинна профілактика, серцево-судинні захворювання, коронарний кальциноз, кальцієвий індекс, комп'ютерна томографія, аспірин, дисліпідемія, статини, стратифікація ризику.

Запорізький медичний журнал. 2026. Т. 28, № 3(156). С. 250-256

Гіпертонічна хвороба є одним із провідних чинників розвитку атеросклеротичних серцево-судинних захворювань, але традиційні шкали ризику не завжди дають змогу точно оцінити індивідуальний прогноз. Кальциноз коронарних артерій, визначений методом комп'ютерної томографії (КТ), – високоспецифічний маркер субклінічного атеросклерозу та важливий інструмент персоналізації серцево-судинного ризику.

Мета роботи – систематизувати й узагальнити сучасні дані міжнародних клінічних настанов, рекомендацій і наукових статей щодо клінічного застосування визначення коронарного кальцинозу як інструмента персоналізації терапії та прогнозування ризику при гіпертонічній хворобі.

Матеріали і методи. Проаналізували міжнародні клінічні настанови, рекомендації та наукові статті, що індексуються в наукометричних базах даних PubMed, Scopus, Web of Sciences та Google Scholar. Пошук здійснено за ключовими словами: артеріальна гіпертензія, дисліпідемія, коронарний кальциноз, стратифікація серцево-судинного ризику, цукровий діабет, комп'ютерна томографія серця, первинна профілактика, скринінг асимптомних дорослих.

Результати. На підставі аналізу фахової літератури підтверджено прогностичну цінність кальцієвого індексу (КІ), а також місце тесту в сучасних міжнародних настановах. Наведено клінічні аспекти застосування КІ, показання до проведення тесту, використання для рекласифікації пацієнтів за ризиком, ухвалення рішень щодо призначення ліпідознижувальної терапії та оцінювання доцільності застосування аспірину в первинній профілактиці. Викладено історію розвитку методики кількісного оцінювання коронарного кальцію, технічні аспекти КТ-сканування, опрацювання даних із застосуванням спеціального програмного забезпечення, а також показано роль індексу Агатстона як стандартизованого показника для кількісного визначення коронарного кальцинозу. Встановлено переваги методу: доступність, відсутність контрасту, низька доза опромінення. Наведено обмеження тесту, зокрема неможливість виявлення «м'яких» некальцинованих бляшок і обмежену придатність для динамічного моніторингу ефективності терапії. Підтверджено перспективи масового скринінгу з використанням автоматизованого аналізу КТ-знімків грудної клітки та інструментів штучного інтелекту для раннього виявлення субклінічного атеросклерозу, персоналізації оцінювання серцево-судинного ризику та профілактичних заходів.

Висновки. Визначення коронарного кальцинозу у пацієнтів із гіпертонічною хворобою є високоспецифічним методом для виявлення субклінічного атеросклеротичного ураження, має високу прогностичну цінність для стратифікації кардіоваскулярного ризику та персоналізованого підходу до лікування і профілактики.

Keywords:

hypertension, primary prevention, cardiovascular diseases, coronary artery calcification, coronary artery calcium score, computed tomography, aspirin, dyslipidemias, statins, risk assessment.

Zaporozhye Medical Journal. 2026;28(3):250-256

Assessment of coronary calcification as a tool for personalizing therapy and risk prediction in arterial hypertension

A. M. Frolenko, M. Yu. Kolesnyk

Arterial hypertension (AH) is one of the leading contributors to the development of atherosclerotic cardiovascular disease; however, traditional risk assessment scales often fail to provide an accurate estimation of individual prognosis. Coronary artery calcification (CAC), detected by computed tomography (CT), is a highly specific marker of subclinical atherosclerosis and serves as a valuable tool for personalized cardiovascular risk stratification.

Aim: to systematize and summarize current evidence from international clinical guidelines, recommendations, and scientific publications regarding the clinical use of coronary artery calcium assessment as a tool for personalized therapy and risk prediction in patients with arterial hypertension.

Materials and methods. An analysis was conducted of international clinical guidelines, recommendations, and scientific publications indexed in the scientometric databases PubMed, Scopus, Web of Science, and Google Scholar. The following keywords were used: "arterial hypertension", "dyslipidemia", "coronary calcification", "cardiovascular risk stratification", "diabetes mellitus", "cardiac computed tomography", "primary prevention", "screening of asymptomatic adults".

Results. Based on the analysis of the professional literature, the prognostic value of the calcium index (CI) has been confirmed, as well as the place of the test in modern international guidelines. The clinical applications of the CI encompass test indications, patient risk reclassification, guidance for initiating lipid-lowering therapy, and evaluation of aspirin use in primary prevention. The evolution of quantitative coronary calcium assessment methods has been reviewed, alongside technical considerations for CT scanning and specialized software-based data processing. The Agatston score has been highlighted as the standardized metric for quantifying CAC. Key advantages of the method include the absence of contrast agent requirement, low radiation exposure,

and increasing availability. Acknowledged limitations of the test include inability to detect non-calcified (“soft”) plaques and limited suitability for serial monitoring of therapy efficacy. The prospects of mass screening using automated analysis of chest CT images and artificial intelligence for early detection of subclinical atherosclerosis as well as personalization of cardiovascular risk assessment with preventive measures have been proven.

Conclusions. The detection of coronary calcification in patients with hypertension is a highly specific method for identifying subclinical atherosclerotic lesions with strong prognostic value for cardiovascular risk stratification and for a personalized approach to treatment and prevention.

Серцево-судинні захворювання (ССЗ) тривалий час є провідною причиною інвалідизації та смертності в усьому світі, зокрема в Україні. Такі висновки отримано зі звітів досліджень Глобального тягара серцево-судинних захворювань і ризиків (Global Burden of Cardiovascular Diseases and Risks) за 1990–2022 та 1990–2023 рр., що опубліковані у 2023 і 2025 роках у журналі Американського коледжу кардіології (Journal of the American College of Cardiology) [1,2]. Глобальна кількість смертей від серцево-судинних захворювань зросла з 12,4 млн в 1990 році до 19,8 млн в 2022 році. Модифіковані фактори ризику, як-от високий систолічний артеріальний тиск, дієтичні ризики, високий рівень холестерину ліпопротеїдів низької щільності (ЛПНЩ), ожиріння, гіперглікемія та екологічні чинники, зумовили 79,6 % глобального тягара ССЗ у 2023 році [1].

Враховуючи високу поширеність, ССЗ залишаються головною глобальною проблемою охорони здоров'я. Відомо, що майже 80 % випадків можна запобігти через контроль модифікованих факторів ризику, і найважливішу роль серед них відіграє високий артеріальний тиск. Тому доцільним є персоналізований підхід до оцінювання кардіоваскулярного ризику та первинної профілактики.

Мета роботи

Систематизувати й узагальнити сучасні дані міжнародних клінічних настанов, рекомендацій і наукових статей щодо клінічного застосування визначення коронарного кальцинозу як інструмента персоналізації терапії та прогнозування ризику при гіпертонічній хворобі.

Матеріали і методи дослідження

Проаналізували міжнародні клінічні настанови, рекомендації та наукові статті, що індексуються в наукометричних базах даних PubMed, Scopus, Web of Sciences та Google Scholar. Пошук здійснено за ключовими словами: артеріальна гіпертензія, дисліпідемія, коронарний кальциноз, стратифікація серцево-судинного ризику, цукровий діабет, комп'ютерна томографія серця, первинна профілактика, скринінг асимптомних дорослих.

Результати

У керівних настановах European Society of Cardiology (ESC) щодо профілактики ССЗ (2021) рекомендують використовувати такі калькулятори ризику, як SCORE2 та SCORE2-OP, а також враховувати наявність цукрового діабету, ожиріння, сімейний анамнез ССЗ тощо [3]. Разом із тим, ці шкали мають суттєві обмеження, оскільки ґрунтуються на популяційних даних, що не валідовані в Україні, повноцінно не враховують індиві-

дуальні особливості пацієнта та безпосередні маркери ураження судин, що призводить до недооцінювання або переоцінки кардіоваскулярного ризику.

Тому в сучасних рекомендаціях ESC щодо лікування підвищеного артеріального тиску та гіпертензії (2024) та оновлених рекомендаціях ESC щодо лікування дисліпідемії (2025) більше уваги приділено методам, що дають змогу здійснити індивідуалізоване оцінювання кардіоваскулярного ризику [4,5]. Одним із них є визначення кальцинозу коронарних артерій, що покращує прогнозування ризику ССЗ, якщо його використовувати разом із традиційними моделями [4]. Застосування цього методу дає важливу інформацію для діагностики субклінічного атеросклерозу [6].

Патоморфологічні аспекти кальцифікації артерій.

Вперше науковий опис про зв'язання судин представив німецький патологоанатом Йоганс Георг Мьонкеберг у 1903 році [7]. Надалі механізм кальцифікації доволі детально вивчили, особливо в контексті атеросклерозу й артеріальної гіпертензії.

За сучасними даними щодо кальцифікації артерій, тригером процесу є ендотеліальна дисфункція внаслідок підвищеного механічного навантаження – тривалої артеріальної гіпертензії. Це створює умови для мікропошкоджень судинної стінки, ініціювання запалення, оксидативного стресу, активації ренін-ангіотензин-альдостеронової системи. В осередок пошкодження мігрують моноцити, макрофаги та ліпіди, спричиняючи формування атеросклеротичної бляшки, яка проходить дві морфологічні стадії – мікрокальцифікації (може дестабілізувати бляшку через перерозподіл тиску в фіброзній капсулі) та дифузної кальцифікації (стабілізує бляшку).

Під впливом запалення, оксидативного стресу та механічного тиску відбувається фенотипова модифікація клітин інтими та медії судин: вони набувають хондро- або остеогенного фенотипу, що супроводжується експресією білків кісткової тканини (остеокальцин, остеокальцин), що стимулює кальцифікацію позаклітинного матриксу. Паралельно активуються матриксні металопротеїнази, які руйнують еластичні волокна і замінюються на колагенові волокна.

Внаслідок втрати еластину та накопичення кальцію формується знижена здатність судини розтягуватися у відповідь на пульсову хвилю – так звана артеріальна жорсткість. Це спричиняє підвищення систолічного артеріального тиску, посилює ушкодження ендотелію та формує «хибне коло» прогресування гіпертензії [8,9].

Історія розвитку методу. Вперше методику визначення та кількісне оцінювання коронарного кальцинозу описав Arthur S. Agatston у праці «Quantification of Coronary Artery Calcium Using Ultrafast Computed Tomography» в 1990 році [10]. Автор розробив протокол для проведення

Таблиця 1. Відповідність коефіцієнта щільності та пікової щільності кальцифікату

Щільність ділянки кальцинозу, HU	Коефіцієнт (F)
130–199	1
200–299	2
300–399	3
≥400	4

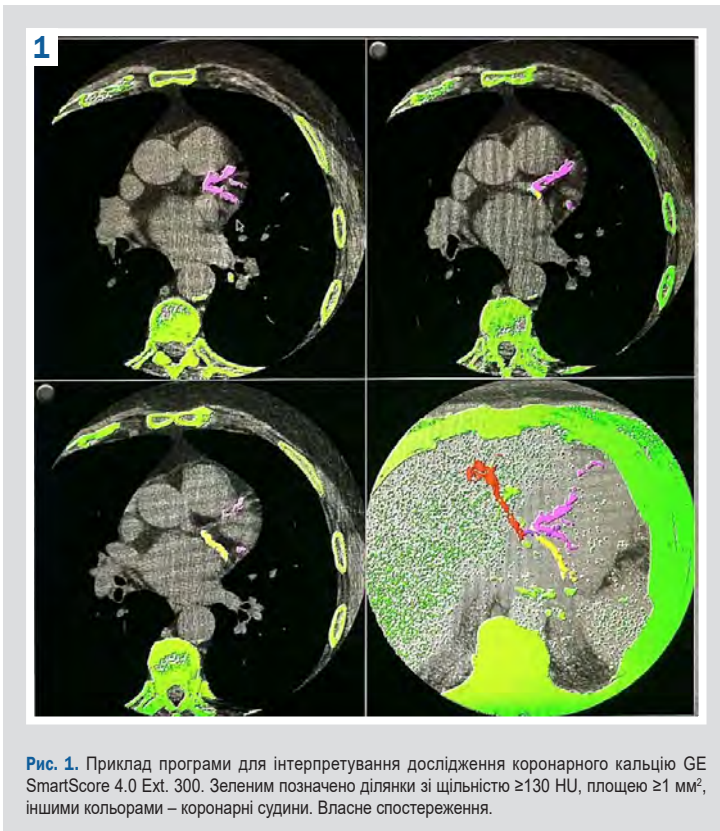


Рис. 1. Приклад програми для інтерпретування дослідження коронарного кальцію GE SmartScore 4.0 Ext. 300. Зеленим позначено ділянки зі щільністю ≥ 130 HU, площею ≥ 1 мм², іншими кольорами – коронарні судини. Власне спостереження.

комп'ютерно-томографічного (КТ) дослідження коронарних артерій, описав алгоритм обрахунку відкладень кальцію, запропонував формулу бального оцінювання, який визначено як індекс Агатстона.

У 2000-х роках розпочато великі когортні дослідження, як-от Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis (MESA) з використанням методу визначення коронарного кальцинозу. Під час наступного аналізу підтверджено його потужну прогностичну цінність [11]. У 2010 році вперше визначення коронарного кальцинозу включено в рекомендації з оцінювання кардіоваскулярного ризику в асимптомних дорослих осіб, що розроблені American College of Cardiology Foundation (ACCF) та American Heart Association (AHA) [12].

Надалі метод визначення коронарного кальцинозу інтегровано у провідні міжнародні клінічні рекомендації, зокрема щодо лікування та ведення пацієнтів із гіпертонічною хворобою (ГХ), а отже поступово збільшувалася його клінічна значущість. Спочатку метод рекомендували лише як додатковий інструмент для оцінювання кардіоваскулярного ризику у пацієнтів із проміжним ризиком [13], а також як аргумент для призначення статинів залежно від кількісного показника – індексу Агатстона [14]. У 2018 році метод визначення коронарного кальцинозу включено до європейських настанов із

ГХ як маркер субклінічного ураження органів-мішеней, що характеризує ступінь атеросклеротичного ремоделювання; він став індивідуальним показником стратифікації кардіоваскулярного ризику [15].

Отже, з 1990 року, коли вперше описано експериментальну методику кількісного визначення кальцинозу коронарних артерій, минуло понад три десятиліття, і тепер метод представлений у провідних клінічних європейських (2024 р.) та американських настановах (2025 р.) з ведення та лікування ГХ [4, 16].

Сучасна методика оцінювання коронарного кальцинозу. Визначення коронарного кальцинозу в клінічній практиці нині здійснюють за допомогою мультиспіральної КТ (МСКТ). Дослідження не потребує контрастного підсилення, супроводжується низькою дозою іонізуючого опромінення (1,0–1,5 мЗв), його виконують, як правило, з кардіосинхронізацією. Несинхронізовані дослідження є більш суб'єктивними в інтерпретації, не дають змоги обчислити індекс Агатстона через артефакти руху. Для успішного сканування необхідно дотримуватися певних умов: регулярний ритм (оптимально – синусовий), частота серцевих скорочень <70 уд./хв, пацієнт може затримати дихання на 15–20 с. Виконують проспективне сканування з кардіосинхронізацією (напруга – 120 кВ, товщина зрізу – 2,5–3,0 мм).

Результати інтерпретують з використанням програмного забезпечення, що постачається разом із комп'ютерним томографом і залежить від виробника (GE-SmartScore, Siemens-syngo Calcium Scoring, Canon-CT VScore, Philips-IntelliSpace Portal Calcium Scoring тощо (рис. 1). Ці програми мають різний інтерфейс, але однаковий принцип аналізу, що складається з таких етапів:

1) виокремлюють ділянки зі щільністю ≥ 130 HU, площею ≥ 1 мм² у коронарних судинах (рис. 2, 3);

2) виконують автоматичний обрахунок програмним забезпеченням за формулою, що запропонована Агатстоном: обчислюють суму індексів на всіх КТ-зрізах, що дорівнюють добутку площі ділянки кальцифікації в проекції коронарної артерії на коефіцієнт щільності: $KI = (S1 \times F1) + (S2 \times F2) + (S3 \times F3) + \dots$, де S – площа кальцифікованої ділянки на конкретному КТ-зрізі (в мм²), F – коефіцієнт щільності, що залежить від пікової щільності кальцифікату в одиницях Гаунсфілда (HU) (табл. 1).

3) отриманий результат інтерпретують, використовуючи сучасну класифікацію CAC-DRS, запропоновану Society of Cardiovascular Computed Tomography (SCCT) [17].

Класифікація CAC-DRS клініко-рентгенологічна, розрізняє два типи оцінювання: за індексом Агатстона (A) та за візуальною оцінкою (V). Додатково використовують модифікатор кількості уражених судин (N), значення якого може становити N1–N4. Загалом оцінюють чотири судини: основний стовбур лівої коронарної артерії, передню низхідну, огинальну та праву коронарну артерію (табл. 2).

Переваги та обмеження методу визначення кальцієвого індексу. Перевагами методу є швидкість сканування й інтерпретації результатів із застосуванням спеціального програмного забезпечення, низьке променеве навантаження.

Таблиця 2. Класифікація CAC-DRS

Тип оцінювання	Код CAC-DRS	Agatston Score / візуальна оцінка	Рівень ризику	Рекомендоване лікування
Agatston (A)	A0	0	дуже низький	статини не рекомендовані
	A1	1–99	помірно підвищений	статини помірної інтенсивності
	A2	100–299	помірно підвищений	статини середньої, високої інтенсивності + аспірин 81 мг
	A3	≥300	помірно високий	статини високої інтенсивності + аспірин 81 мг
Візуальна оцінка (V)	V0	0	дуже низький	статини не рекомендовані
	V1	1	помірно підвищений	статинотерапія помірної інтенсивності
	V2	2	помірно підвищений	статинотерапія середньої, високої інтенсивності + аспірин 81 мг
	V3	3	помірно високий	статинотерапія високої інтенсивності + аспірин 81 мг

Таблиця 3. Клінічне значення порогових рівнів КІ в міжнародних клінічних рекомендаціях, консенсусах і ключових дослідженнях щодо первинної профілактики ССЗ, зокрема у пацієнтів із ГХ

Значення КІ	Клінічне значення	Джерело (рекомендації / настанова)
0	Низький кардіоваскулярний ризик, можна відтермінувати прийом ліпідознижувальної терапії та аспірину. Ризик кровотечі перевищує користь від приймання аспірину	– 2025 Focused Update of the 2019 ESC/EAS Guidelines for the management of dyslipidaemias [5]; – 2025 AHA/ACC Guideline for the Management of Hypertension [16]; – 2024 Am J Cardiol Review on Aspirin and CAC [20]; – 2023 ADA Standards of Care in Diabetes [22]
>0	Маркер субклінічного атеросклерозу. Включений до критеріїв ураження органів-мішеней при ГХ. Вказує на доцільність початку або інтенсифікації приймання статинів у пацієнтів із проміжним або навіть дещо нижчим ризиком та у хворих на діабет. Може бути значущим стимулом для модифікації способу життя	– 2025 Focused Update of the 2019 ESC/EAS Guidelines for the management of dyslipidaemias [5]; – 2025 BMJ Open Systematic Review on CAC Screening in Asymptomatic Adults [24]; – 2023 JACC Cardiovasc Imaging Major Global CAC Guidelines [25]; – 2023 ESH Guidelines for the Management of Arterial Hypertension [18]; – 2021 CCS Guidelines for the Management of Dyslipidemia [19]; – 2023 ADA Standards of Care in Diabetes [22]; – 2025 AHA Scientific Statement on Opportunistic CAC Detection [26]
≥100 або ≥75 перцентиль для віку та статі	Критерій, що підтверджує необхідність перекласифікації кардіоваскулярного ризику та більшого контролю за факторами ризику. Як критерій доцільності призначення профілактичної терапії (статинами й аспірином). Показання для ініціації терапії аспірином за умови низького ризику кровотечі	– 2024 ESC Guidelines for the Management of Elevated Blood Pressure and Hypertension [4]; – 2025 AHA/ACC Guideline for the Management of Hypertension [16]; – 2025 SCCT Expert Consensus on Cardiac CT in Cardio-Oncology [23]; – 2024 Am J Cardiol Review on Aspirin and CAC [20]
>220	Додатковий критерій для ідентифікації пацієнтів із гіпертензією, яким може бути доцільною інтенсифікація терапії ГХ	– 2024 CAC Consortium Study on Coronary Artery Calcium for Risk Stratification in Hypertension [27]
>300	Ризик значно збільшується: дорівнює або перевищує ризик у пацієнтів із діагнованими ССЗ, що пов'язані з атеросклеротичними ураженнями	– 2025 Focused Update of the 2019 ESC/EAS Guidelines for the management of dyslipidaemias [5]

Таблиця 4. Інтерпретація КІ коронарних артерій із практичними рекомендаціями, відповідно до настанов ACC / AHA (адаптовано з [28])

Стадія	КІ та рівень ураження	Терапевтичні рекомендації, за консенсусом ACC / AHA
0	– КІ – 0; – Немає кальцинованих бляшок; – Візуальне оцінювання: кальцію немає	– Дотримання принципів правил здорового способу життя – American Heart Association Life's Essential 8 для оптимізації факторів ризику; – Оцінити можливість не призначати статини, якщо немає цукрового діабету, рівень ЛПНЩ <190 мг/дл, пацієнт не є курцем, не має сімейного анамнезу передчасного ASCVD і 10-річного ризику ASCVD ≥20 % чи високого ліпопротеїну(a) Lp(a); – Повторна КТ для визначення КІ чи аналіз КТ без синхронізації з ЕКГ через 3 роки при цукровому діабеті або високому 10-річному ризику; 3–5 років – при середньому ризику; 5–7 років – при низькому ризику
1	– КІ – 1–99 або <75 перцентиль для віку та статі; – Легке атеросклеротичне ураження	– Дотримання принципів правил здорового способу життя – American Heart Association Life's Essential 8 для оптимізації факторів ризику; – Терапія статинами (± не статинами) для досягнення цільового рівня ЛПНЩ <100 мг/дл; – Регулярний моніторинг факторів ризику (ЛПНЩ, артеріальний тиск тощо) для досягнення ключових біометричних показників
2	– КІ – 100–299 або ≥75 перцентиль для віку та статі; – Помірне атеросклеротичне ураження	Усе вище зазначене плюс: – терапія статинами (± не статинами) для досягнення цільового рівня ЛПНЩ <70 мг/дл; – визначити доцільність призначення низьких доз ацетилсаліцилової кислоти
3	– КІ – 300–999; – Виражене атеросклеротичне ураження; – ≥300 подібний до ризику після перенесеного інфаркту міокарда	Усе вище зазначене плюс: – високоінтенсивна терапія статинами (± не статинами) для досягнення цільового рівня ЛПНЩ <55 мг/дл; – низькі дози ацетилсаліцилової кислоти
4	– КІ – ≥1000; – Вкрай виражене атеросклеротичне ураження; – Екстремальний ризик, подібний до повторних подій ASCVD	Усе вище зазначене, плюс: – статини (± не статини) для досягнення цільового рівня ЛПНЩ <55 мг/дл; – визначити доцільність застосування новітніх методів лікування



Рис. 2. ЕКГ-синхронізоване неконтрастне визначення коронарного кальцинозу методом МСКТ. Аксиальний переріз. Приклад локального кальцинозу передньої міжшлуночкової артерії. Власне спостереження.

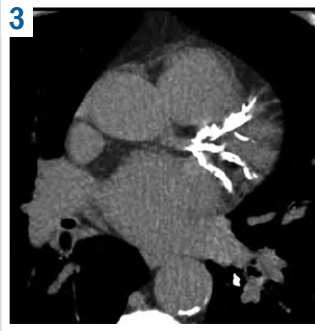


Рис. 3. ЕКГ-синхронізоване неконтрастне визначення коронарного кальцинозу методом МСКТ. Аксиальний переріз. Приклад вираженого дифузного кальцинозу коронарних судин. КІ = 5694. Власне спостереження.

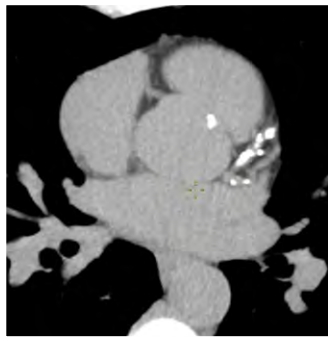
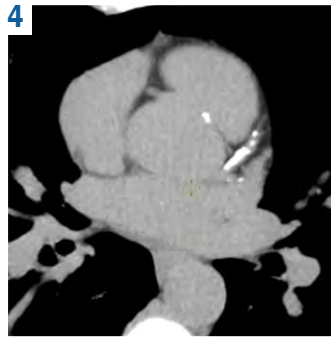


Рис. 4. ЕКГ-синхронізоване неконтрастне визначення коронарного кальцинозу методом МСКТ. Аксиальний переріз. Виражений кальциноз передньої міжшлуночкової артерії на різних рівнях. КІ-472. Власне спостереження.



Рис. 5. ЕКГ-синхронізоване неконтрастне визначення коронарного кальцинозу методом МСКТ. Аксиальний переріз. Відсутність кальцинозу коронарних артерій. Власне спостереження.

Обмеження методу зумовлені виконанням дослідження ділянки серця без використання контрастної речовини, внаслідок чого атеросклеротичні бляшки, що не містять у своїй структурі ділянок звапнення, – так звані м'які бляшки, не будуть диференційовані в просвіті судини. Визначення КІ не рекомендоване як рутинний метод динамічного спостереження або контролю терапії.

Клінічні показання до визначення коронарного кальцію для стратифікації кардіоваскулярного ризику та персоналізації терапії:

- в осіб із ГХ для уточнення кардіоваскулярного ризику та персоналізації фармакотерапії [4, 16, 18];
- в асимптомних осіб із проміжним або наближеним до порогового серцево-судинним ризиком для рішення щодо призначення ліпідознижувальної терапії [5, 19];
- для персоналізованого рішення про призначення або відтермінування терапії аспірином у первинній профілактиці [20];
- для покращення прогнозування атеросклеротичних серцево-судинних подій у дорослих із гетерозиготною сімейною гіперхолестеринемією [21];
- дорослим віком 40–75 років із цукровим діабетом без встановленого атеросклеротичного серцево-судинного захворювання, з проміжним / невизначеним / пороговим кардіоваскулярним ризиком для уточнення або перекласифікації ризику та ухвалення рішення щодо призначення ліпідознижувальної терапії [22];
- може бути оцінена в усіх онкологічних пацієнтів без відомого ASCVD (атеросклеротичного серцево-судинного захворювання), які не приймають ліпідознижувальної терапії, якщо ризик ASCVD становить 5–20 % (обчислений за допомогою онлайн калькулятора ASCVD Risk Estimator Plus) [23].

Клінічні аспекти інтерпретації визначення коронарного кальцію. Кальцифікацію коронарних артерій визначають як високоспецифічний індикатор атеросклеротичного ураження судини. Його кількість корелює з тяжкістю атеросклеротичного ураження та більшим кардіоваскулярним ризиком і в осіб без ССЗ, й у пацієнтів із діагностованою артеріальною гіпертензією, діабетом, онкологічними захворюваннями тощо.

У більшості сучасних рекомендацій показник КІ використовують переважно для стратифікації кардіоваскулярного ризику, ухвалення рішення щодо призначення ліпідознижувальної терапії (статинів) / аспірину у хворих на артеріальну гіпертензію, діабет, дисліпідемію, а також при первинній профілактиці.

У таблиці 3 наведено окремі узагальнені дані щодо клінічного застосування на основі міжнародних рекомендацій 2021–2025 років (ESH, ESC, AHA/ACC, CCS, ADA, SCCT) і ключових досліджень (A. Doshi et al. [20]; A. Gallo et al. [21]; V. Scheu et al. [24]) залежно від кількісного значення КІ.

Сучасніший універсальний алгоритм інтерпретації коронарного кальцію запропонували Jared Spitz et al. [28]. Цей алгоритм наведено в таблиці 4.

Приклади використання оцінки коронарного кальцинозу у пацієнтів із ГХ. Нижче наведемо приклад ситуації, коли визначення коронарного кальцинозу вплинуло на тактику ведення пацієнтів (табл. 5).

Так, у пацієнта № 1 індекс КІ дорівнював 472, що перевищує 300, а отже визначає обстеженого до категорії осіб із дуже високим ризиком. За даними шкали MESA Risk Score, 10-річний ризик несприятливих подій збільшився у 2,7 раза. Це потребує досягнення цільового рівня холестерину ЛПНЩ менше ніж 1,4 ммоль/л, що може потребувати інтенсифікації ліпідознижувальної терапії. Також можна оцінити можливість призначення низької дози ацетилсаліцилової кислоти, якщо немає протипоказань.

У пацієнтки № 2 отримали КІ = 0. Це означає, що 10-річний ризик коронарних хвороб серця значно

Таблиця 5. Клінічні випадки

Показник, одиниці вимірювання	Пацієнт № 1	Пацієнт № 2
Вік, роки	46	67
Стать	Чоловік	Жінка
Тривалість гіпертонічної хвороби, роки	3	7
Куріння	Не палить	Не палить
Сімейний анамнез	Не обтяжений	Не обтяжений
Цукровий діабет	Немає	Немає
Гіпотензивна терапія	Приймає	Приймає
Ліпідознижувальна терапія	Не приймав	Не приймала
Офісний артеріальний тиск, мм рт. ст.	170/100	170/100
Загальний холестерин, ммоль/л	6,29	5,66
ЛПВЩ, ммоль/л	1,94	1,17
ЛПНЩ, ммоль/л	4,27	3,87
ТКІМ сонних артерій, мм	0,7	0,1
Атеросклеротичні бляшки	Немає	Немає
Кальцієвий індекс (Agatston)	472	0
ASCVD Risk Estimator Plus, %	3,7 – низький ризик	17,3 – проміжний ризик
MESA Risk Score (без KI), %	4,5	7,6
MESA Risk Score (з KI), %	12,5	3,1
Вплив KI на ризик	Значне підвищення в 2,7 раза ризику (з 4,5 % до 12,5 %)	Значне зниження в 2,5 раза ризику (з 7,6 % до 3,1 %)

знизився, і тому можливо відтермінувати призначення ліпідознижувальної терапії. Рекомендовано повторне оцінювання через 3–5 років.

Перспективи подальшого використання методу.

У 2025 році фахівці Американської асоціації серця опублікували статтю, що присвячена перспективам супульного визначення коронарного кальцію під час КТ-дослідження грудної клітки без ЕКГ-синхронізації [26]. Автори підкреслили, що щороку у США виконують понад 19 млн КТ грудної клітки без синхронізації з ЕКГ, що перевищує показник в 1 млн сканувань, спрямованих тільки на визначення коронарного кальцію. Таку саму тенденцію визначено і в інших країнах. Запропоновано використовувати вже виконані дослідження грудної клітки (без ЕКГ-синхронізації) для автоматизованого кількісного оцінювання кальцієвого індексу за допомогою ШІ. Визначено можливі обмеження під час аналізу таких КТ-даних: артефакти руху, утруднене виокремлення кальцію на фоні контрастування, відмінності за параметрами сканування.

Втім, такий аналіз не потребує додаткових фінансових витрат, не спричиняє додаткового опромінення, зменшує навантаження на лікарів і відкриває можливості для масового скринінгу субклінічного атеросклерозу, своєчасного та персоналізованого підходу до визначення кардіоваскулярного ризику, призначення превентивної терапії.

Висновки

1. Визначення коронарного кальцинозу є клінічно значущим, що підтверджено включенням цього тесту до сучасних міжнародних клінічних рекомендацій і настанов. Це підкреслює його високу специфічність для виявлення субклінічного атеросклеротичного ураження у хворих на гіпертонічну хворобу, а також його прогностичну цінність для стратифікації кардіоваскулярного ризику.

2. Використання кальцієвого індексу дає змогу персоналізувати підхід до профілактики та лікування, зокрема

обґрунтувати призначення ліпідознижувальної терапії, аспірину та інтенсифікацію терапії гіпертонічної хвороби.

3. Враховуючи перспективи використання під час несинхронізованих з ЕКГ КТ-досліджень грудної клітки, визначення коронарного кальцинозу може стати методом масового скринінгу для виявлення субклінічного атеросклерозу, дасть змогу завчасно виокремити групу високого кардіоваскулярного ризику для подальшого мотивування до модифікації способу життя та посилення профілактичних, а не лікувальних заходів. Це може суттєво вплинути на зменшення глобального тягаря ССЗ.

Етичне схвалення

Комісія з питань біоетики Запорізького державного медико-фармацевтичного університету розглянула матеріали, наведені у статті, та не виявила порушень етичних стандартів, викладених у чинних нормативних документах, включаючи Гельсінську декларацію, Конвенцію Ради Європи про права людини та біомедицину, та інших правових актах (протокол від 13.02.2026 року № 3).

Фінансування

Дослідження здійснено без фінансової підтримки.

Конфлікт інтересів: відсутній.

Conflicts of interest: authors have no conflict of interest to declare.

Надійшла до редакції / Received: 17.02.2026

Після доопрацювання / Revised: 22.04.2026

Схвалено до друку / Accepted: 30.04.2026

Відомості про авторів:

Фроленко А. М., аспірант каф. терапії та кардіології, Навчально-науковий інститут післядипломної освіти, Запорізький державний медико-фармацевтичний університет, Україна.

ORCID ID: 0009-0005-1991-1538

Колесник М. Ю., д-р мед. наук, професор каф. терапії та кардіології, Навчально-науковий інститут післядипломної освіти, Запорізький державний медико-фармацевтичний університет, Україна.

ORCID ID: 0000-0001-7566-1899

Information about the authors:

Frolenko A. M., MD, PhD Student at the Department of Therapy and Cardiology, Educational and Scientific Institute of Postgraduate Education, Zaporizhzhia State Medical and Pharmaceutical University, Ukraine.

Kolesnyk M. Yu., MD, PhD, DSc, Professor of the Department of Therapy and Cardiology, Educational and Scientific Institute of Postgraduate Education, Zaporizhzhia State Medical and Pharmaceutical University, Ukraine.



Анатолій Фроленко (Anatolii Frolenko)
dr.frolenko.a.n@gmail.com

References

- Global Burden of Cardiovascular Diseases and Risks 2023 Collaborators. Global, Regional, and National Burden of Cardiovascular Diseases and Risk Factors in 204 Countries and Territories, 1990-2023. *J Am Coll Cardiol.* 2025;86(22):2167-243. doi: [10.1016/j.jacc.2025.08.015](https://doi.org/10.1016/j.jacc.2025.08.015)
- Mensah GA, Fuster V, Murray C, Roth GA; Global Burden of Cardiovascular Diseases and Risks Collaborators. Global Burden of Cardiovascular Diseases and Risks, 1990-2022. *J Am Coll Cardiol.* 2023;82(25):2350-473. doi: [10.1016/j.jacc.2023.11.007](https://doi.org/10.1016/j.jacc.2023.11.007)
- Visseren F, Mach F, Smulders YM, Carballo D, Koskinas KC, Bäck M, et al. 2021 ESC Guidelines on cardiovascular disease prevention in clinical practice. *Eur Heart J.* 2021;42(34):3227-337. doi: [10.1093/eurheartj/ehab484](https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehab484)
- McEvoy JW, McCarthy CP, Bruno RM, Brouwers S, Canavan MD, Ceconi C, et al. 2024 ESC Guidelines for the management of elevated blood pressure and hypertension. *Eur Heart J.* 2024;45(38):3912-4018. doi: [10.1093/eurheartj/ehae178](https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehae178)
- Mach F, Koskinas KC, Roeters van Lennepe JE, Tokgözoğlu L, Badimon L, Baigent C, et al. 2025 Focused Update of the 2019 ESC/EAS Guidelines for the management of dyslipidaemias. *Eur Heart J.* 2025;46(42):4359-78. doi: [10.1093/eurheartj/ehaf190](https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehaf190)
- Adelhoefer S, Uddin S, Osei AD, Obisesan OH, Blaha MJ, Dzaye O. Coronary Artery Calcium Scoring: New Insights into Clinical Interpretation. *Radiol Cardiothorac Imaging.* 2020;2(6):e200281. doi: [10.1148/ryct.2020200281](https://doi.org/10.1148/ryct.2020200281)
- Fishbein GA, Fishbein MC. Arteriosclerosis: rethinking the current classification. *Arch Pathol Lab Med.* 2009;133(8):1309-16. doi: [10.5858/133.8.1309](https://doi.org/10.5858/133.8.1309)
- Onnis C, Virmani R, Kawai K, Nardi V, Lerman A, Cademartiri F, et al. Coronary Artery Calcification: Current Concepts and Clinical Implications. *Circulation.* 2024 Jan 16;149(3):251-66. doi: [10.1161/CIRCULATIONAHA.123.065657](https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.123.065657)
- Kim HL. Arterial stiffness and hypertension. *Clin Hypertens.* 2023;29(1):31. doi: [10.1186/s40885-023-00258-1](https://doi.org/10.1186/s40885-023-00258-1)
- Agatston AS, Janowitz WR, Hildner FJ, Zusmer NR, Viamonte M Jr, Detrano R. Quantification of coronary artery calcium using ultrafast computed tomography. *J Am Coll Cardiol.* 1990;15(4):827-32. doi: [10.1016/0735-1097\(90\)90282-t](https://doi.org/10.1016/0735-1097(90)90282-t)
- Polonsky TS, McClelland RL, Jorgensen NW, Bild DE, Burke GL, Guerci AD, et al. Coronary artery calcium score and risk classification for coronary heart disease prediction. *JAMA.* 2010;303(16):1610-6. doi: [10.1001/jama.2010.461](https://doi.org/10.1001/jama.2010.461)
- Greenland P, Alpert JS, Beller GA, Benjamin EJ, Budoff MJ, Fayad ZA, et al. 2010 ACCF/AHA guideline for assessment of cardiovascular risk in asymptomatic adults: a report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines. *J Am Coll Cardiol.* 2010;56(25):e50-103. doi: [10.1016/j.jacc.2010.09.001](https://doi.org/10.1016/j.jacc.2010.09.001)
- Piepoli MF, Hoes AW, Agewall S, Albus C, Brotons C, Catapano AL, et al. 2016 European Guidelines on cardiovascular disease prevention in clinical practice: The Sixth Joint Task Force of the European Society of Cardiology and Other Societies on Cardiovascular Disease Prevention in Clinical Practice (constituted by representatives of 10 societies and by invited experts) Developed with the special contribution of the European Association for Cardiovascular Prevention & Rehabilitation (EACPR). *Eur Heart J.* 2016;37(29):2315-81. doi: [10.1093/eurheartj/ehw106](https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehw106)
- Arnett DK, Blumenthal RS, Albert MA, Buroker AB, Goldberger ZD, Hahn EJ, et al. 2019 ACC/AHA Guideline on the Primary Prevention of Cardiovascular Disease: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Clinical Practice Guidelines. *Circulation.* 2019;140(11):e596-e646. doi: [10.1161/CIR.0000000000000678](https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000000678)
- Williams B, Mancia G, Spiering W, Agabiti Rosei E, Azizi M, Burnier M, et al. 2018 ESC/ESH Guidelines for the management of arterial hypertension. *Eur Heart J.* 2018;39(33):3021-104. doi: [10.1093/eurheartj/ehy339](https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehy339)
- Jones DW, Ferdinand KC, Taler SJ, Johnson HM, Shimbo D, Abdalla M, et al. 2025 AHA/ACC/AANP/AAPA/ABC/ACCP/ACPM/AGS/AMA/ASPC/NMA/PCNA/SGIM Guideline for the Prevention, Detection, Evaluation, and Management of High Blood Pressure in Adults: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Joint Committee on Clinical Practice Guidelines. *J Am Coll Cardiol.* 2025;86(18):1567-678. doi: [10.1016/j.jacc.2025.05.007](https://doi.org/10.1016/j.jacc.2025.05.007)
- Hecht HS, Blaha MJ, Kazerooni EA, Cury RC, Budoff M, Leipsic J, et al. CAC-DRS: Coronary Artery Calcium Data and Reporting System. An expert consensus document of the Society of Cardiovascular Computed Tomography (SCCT). *J Cardiovasc Comput Tomogr.* 2018;12(3):185-91. doi: [10.1016/j.jcct.2018.03.008](https://doi.org/10.1016/j.jcct.2018.03.008)
- Mancia G, Kreutz R, Brunström M, Burnier M, Grassi G, Januszewicz A, et al. 2023 ESH Guidelines for the management of arterial hypertension The Task Force for the management of arterial hypertension of the European Society of Hypertension: Endorsed by the International Society of Hypertension (ISH) and the European Renal Association (ERA). *J Hypertens.* 2023;41(12):1874-2071. doi: [10.1097/HJH.0000000000003480](https://doi.org/10.1097/HJH.0000000000003480)
- Pearson GJ, Thanassoulis G, Anderson TJ, Barry AR, Couture P, Dayan N, et al. 2021 Canadian Cardiovascular Society Guidelines for the Management of Dyslipidemia for the Prevention of Cardiovascular Disease in Adults. *Can J Cardiol.* 2021;37(8):1129-50. doi: [10.1016/j.cjca.2021.03.016](https://doi.org/10.1016/j.cjca.2021.03.016)
- Doshi A, Gandhi H, Patel KN, Majmundar M, Doshi R. Aspirin for Primary Prevention in Patients With Elevated Coronary Artery Calcium Score: A Systematic Review of Current Evidences. *Am J Cardiol.* 2024;220:9-15. doi: [10.1016/j.amjcard.2024.03.021](https://doi.org/10.1016/j.amjcard.2024.03.021)
- Gallo A, Pérez de Isla L, Charrière S, Vimont A, Alonso R, Muñoz-Grijalvo O, et al. The Added Value of Coronary Calcium Score in Predicting Cardiovascular Events in Familial Hypercholesterolemia. *JACC Cardiovasc Imaging.* 2021;14(12):2414-24. doi: [10.1016/j.jcmg.2021.06.011](https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2021.06.011)
- ElSayed NA, Aleppo G, Aroda VR, Bannuru RR, Brown FM, Brummer D, et al. 10. Cardiovascular Disease and Risk Management: Standards of Care in Diabetes-2023. *Diabetes Care.* 2023;46(Suppl 1):S158-S190. doi: [10.2337/dc23-S010](https://doi.org/10.2337/dc23-S010)
- Lopez-Mattei J, Yang EH, Baldassarre LA, Agha A, Blankstein R, Choi AD, et al. Cardiac computed tomographic imaging in cardio-oncology: An expert consensus document of the Society of Cardiovascular Computed Tomography (SCCT). Endorsed by the International Cardio-Oncology Society (ICOS). *J Cardiovasc Comput Tomogr.* 2023;17(1):66-83. doi: [10.1016/j.jcct.2022.09.002](https://doi.org/10.1016/j.jcct.2022.09.002)
- Scheu V, Alwan L, Gräni C, Gencer B, Rodondi N, Blum MR. Coronary atherosclerosis screening in asymptomatic adults using coronary artery calcium for cardiovascular prevention: a systematic review of randomised controlled trials and prospective cohorts. *BMJ Open.* 2025;15(7):e01472. doi: [10.1136/bmjopen-2025-101472](https://doi.org/10.1136/bmjopen-2025-101472)
- Golub IS, Termeie OG, Kristo S, Schroeder LP, Lakshmanan S, Shafter AM, et al. Major Global Coronary Artery Calcium Guidelines. *JACC Cardiovasc Imaging.* 2023;16(1):98-117. doi: [10.1016/j.jcmg.2022.06.018](https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2022.06.018)
- Foraker R, Sperling L, Bratzke L, Budoff M, Leppert M, Razavi AC, et al. Opportunistic Detection of Coronary Artery Calcium on Noncardiac Chest Computed Tomography: An Emerging Tool for Cardiovascular Disease Prevention: A Scientific Statement From the American Heart Association. *Circulation.* 2025;152(19):e391-e401. doi: [10.1161/CIR.0000000000001382](https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000001382)
- Mortada I, Odigie-Okon E, Motiwala A, Allencherril J, Qadeer A, Gaalema D, et al. Coronary artery calcium clinical utilization: An update. *Curr Probl Cardiol.* 2026;51(4):103258. doi: [10.1016/j.cpcardi.2026.103258](https://doi.org/10.1016/j.cpcardi.2026.103258)
- Spitz J, Patel J, Agarwala A, Sharma G, Mehta A, Natarajan P, et al. A Critical Appraisal of Lipid Management in the Post-Statins Era: Comparison on Guidelines, Therapeutic Targets, and Screening in a Case-Based Framework of Lipid Management. *JACC Adv.* 2025;4(6 Pt 2):101823. doi: [10.1016/j.jacadv.2025.101823](https://doi.org/10.1016/j.jacadv.2025.101823)