

Історичні та сучасні аспекти методів ангіовізуалізації ішемічної хвороби серця (огляд літератури)

В. О. Губка *^{1,A,E,F}, Ю. М. Вайло ^{1,B-E}, А. М. Матерухін ^{1,A,B,E}, А. Л. Макаренко ^{2,C,E}

¹Запорізький державний медико-фармацевтичний університет, Україна, ²КНП «Запорізька обласна клінічна лікарня» ЗОР, Україна

A – концепція та дизайн дослідження; B – збір даних; C – аналіз та інтерпретація даних; D – написання статті; E – редагування статті; F – остаточне затвердження статті

Ішемічна хвороба серця (ІХС) – надзвичайно поширене клінічне серцево-судинне захворювання, що зумовлене атеросклерозом субепікардіальних вінцевих артерій (ВА) та може мати гострий і хронічний перебіг. Захворюваність на ІХС зростає з кожним роком, а пацієнти стають молодшими. ІХС має високий рівень не тільки захворюваності, але й смертності. В Україні ІХС є головною причиною смертності населення. Без своєчасної діагностики та ефективного лікування може виникнути інфаркт міокарда або настати раптова серцева смерть.

Мета роботи – узагальнити та розширити знання про сучасні методи, що застосовують для візуалізації вінцевих артерій, їхню еволюцію, можливості, ефективність, показання до використання, безпечність для пацієнта, які ґрунтуються на принципах доказової медицини.

Встановити етіологічну причину ішемії міокарда можна лише після візуалізації ВА. Лікар-практик має змогу візуалізувати ВА за допомогою рентгенконтрастної коронароангіографії або комп'ютерної томографії органів грудної клітки з контрастним підсиленням. Методи візуалізації ВА застосовують у клінічній практиці вже понад пів сторіччя. Постійно оновлюють апаратну частину та програмне забезпечення, удосконалюють і розширюють діагностичні можливості цих методів, оновлюють рекомендації щодо їх застосування у загальноклінічній практиці.

Головне завдання для клініциста – підтвердити чи спростувати наявність атеросклеротичного ураження ВА, а також встановити його локалізацію, поширення, ступінь стенозування, значущість для коронарного кровотоку, наявність кальцинозу ВА, колатеральних шляхів, склад бляшки та її внутрішню структуру. Лише після визначення усіх анатомічних і фізіологічних аспектів атеросклеротичного процесу в ВА можна обрати правильну стратегію лікування пацієнта мультидисциплінарною серцевою командою: фармакологічну терапію, метод реваскуляризації серця та заходи щодо первинної чи вторинної профілактики.

Висновки. ІХС поширена в усьому світі. Нині доступними є два методи ангіовізуалізації вінцевих судин – інвазивна коронароангіографія та неінвазивна КТ-коронарографія. Необхідні наступні дослідження щодо ефективності та безпеки різних методів візуалізації ВА при ІХС. Покращення результатів діагностичного пошуку залежить і від можливостей апаратної складової клініки, й від раціональної побудови лікарем оптимальної послідовності діагностичного процесу.

Ключові слова:
ішемічна хвороба серця, візуалізація вінцевих артерій, коронароангіографія, КТ-коронарографія.

Запорізький медичний журнал.
2023. Т. 25, № 6(141).
С. 541-547

*E-mail:
gubka.viktor@gmail.com

Historical and current aspects of angiovisualization methods in CAD (a literature review)

V. O. Hubka, Yu. M. Vailo, A. M. Materukhin, A. L. Makarenkov

The aim of the work. To summarize and expand knowledge about current methods used for visualization of coronary arteries, their evolution, capabilities, effectiveness, indications for use, safety for patients, guided by the principles of evidence-based medicine.

Coronary artery disease (CAD) is an extremely common clinical cardiovascular disease, which is caused by atherosclerosis of the subepicardial coronary arteries (CAs) and can have both acute and chronic course. The incidence of CAD is increasing every year and getting younger. CAD has not only a high morbidity rate, but also a high mortality rate. In Ukraine, mortality from CAD is the main cause of population mortality. Without timely diagnosis and effective treatment, myocardial infarction or sudden cardiac death may develop.

It is possible to ascertain the etiological cause of myocardial ischemia only after visualization of the CAs. A practicing physician is able to visualize the CAs using X-ray contrast coronary angiography or contrast-enhanced computed tomography of the chest. CA visualization methods have been used in clinical practice for more than half a century. The hardware and software are constantly upgraded, the diagnostic options of these methods are improved and expanded, and recommendations regarding their use in general clinical practice are updated. The main task for clinicians is to confirm or rule out the presence of a CA atherosclerotic lesion, as well as to determine its localization, extent, degree of stenosis and its significance for coronary blood flow, the presence of CA calcification, collateral pathways, plaque composition and its internal structure. Only after identifying the anatomical and physiological aspects of the atherosclerotic process in CA, it is possible to choose the right strategy for the treatment of patients by a multidisciplinary heart team including pharmacological therapy, a method of cardiac revascularization, and measures for primary or secondary prevention.

Conclusions. CAD is a common disease worldwide. Today, two methods of the CA visualization are available – invasive coronary angiography and non-invasive coronary CT angiography. Further research is needed on the efficacy and safety of different CA imaging methods in CAD. Better results of the diagnostic search depend on both the capabilities of the clinic hardware component and on the optimal sequence for diagnostic processes rationally constructed by physicians.

Key words:
coronary artery disease, visualization of coronary artery, coronary angiography, CT coronary angiography.

Zaporozhye medical journal,
2023. 25(6), 541-547

Ішемічна хвороба серця (ІХС) – надзвичайно поширене клінічне серцево-судинне захворювання, що зумовлене атеросклерозом субепікардіальних вінцевих артерій (ВА), може мати гострий і хронічний перебіг. Захворюваність на ІХС із кожним роком зростає, а пацієнти стають молодшими. ІХС має високий рівень не тільки захворюваності, але й смертності.

Серцево-судинні захворювання (ССЗ) є основною причиною смерті в усьому світі. За оцінками ВООЗ, у 2019 році від ССЗ померли 17,9 млн людей, що становить 32 % усіх смертей у світі. Із них 85 % осіб померли внаслідок серцевого нападу та інсульту [1]. Приблизно один із 30 пацієнтів зі стабільною ІХС щороку зазнає серцево-судинної смерті або інфаркту міокарда (ІМ) [2].

Внаслідок зміни способу життя та харчових звичок населення різних країн захворюваність на ІХС із кожним роком зростає. Головні фактори ризику ІХС – куріння, цукровий діабет, артеріальна гіпертензія, гіперхолестеринемія, надмірна маса тіла й ожиріння, зниження фізичної активності. Втім, патогенез хвороби досі остаточно не з'ясовано. ІХС діагностують здебільшого в осіб середнього та похилого віку, але в останні роки спостерігають тенденцію до «помолодження» захворювання.

Основні клінічні прояви включають синдром болю та стиснення в грудній клітці з характерною іррадіацією після фізичного навантаження. Без своєчасної діагностики та ефективного лікування може виникнути раптова смерть або ІМ [3].

Мета роботи

Узагальнити та розширити знання про сучасні методи, що застосовують для візуалізації вінцевих артерій, їхню еволюцію, можливості, ефективність, показання до використання, безпечність для пацієнта, які ґрунтуються на принципах доказової медицини.

Патологія ВА стала об'єктом наукових досліджень на початку ХХ століття, коли встановили, що інфаркт міокарда пов'язаний з обструкцією ВА. Banchi A., анатом із Флоренції, у 1903 році опублікував статтю про субепікардіальні ВА, ввівши поняття про правий, лівий і збалансований типи кровопостачання серця. Ці анатомічні моделі коронарної артеріальної системи підтверджені G. Varoldi в 1956 році за допомогою посмертної ін'єкції та створення зліпків ВА. Селективна коронароангіографія (КАГ) дала змогу візуалізувати ці артеріальні структури *in vivo* як основний субстрат хвороби, її діагностики та наступного лікування [4].

Оскільки в переважній більшості випадків ІХС пов'язана з атеросклеротичним ураженням субепікардіальних ВА, абсолютно необхідними та важливими для діагностики є методи візуалізації, що можуть надати інформацію про наявність такого ураження, його локалізацію, ступінь звуження, кальциноз атероматозної бляшки, негативний вплив стенозу на коронарний кровообіг, наявність колатеральних шляхів кровотоку, стан дистального коронарного русла, а також дадуть змогу визначити необхідність коронарної реваскуляризації та об'єм, обрати адекватний метод її виконання. Такими інструментальними методами діагностики з анговізуалізацією субепікардіальних ВА є інвазивна рентген-контрастна селективна КАГ і неінвазивна комп'ютерна

томографічна коронарографія (КТ-КГ) з контрастним посиленням.

Розробник методу катетеризації серця – W. Forstmann, який катетеризував праві порожнини серця за допомогою сечового катетера завдовжки 65 см через ліву кубітальну вену та зафіксував це на рентгенівському знімку (м. Еберсвальд, Німеччина) [5].

Розробка S. Seldinger нової, простішої та зручнішої техніки черезшкірної катетеризації судин у 1953 році за допомогою голки та провідника стала революційною. Надалі стали широко застосовувати катетерні методи візуалізації судин багатьох судинних басейнів, у тому числі ВА [6].

Селективна ін'єкція контрастної речовини в праву коронарну артерію лікарем M. Sones 30 жовтня 1958 року (м. Клівленд, США) стала підґрунтям до заснування методики селективної черезшкірної КАГ. До цього контрастну речовину вводили в корінь аорти, оскільки передбачали, що припинення коронарного кровотоку, пов'язане з ін'єкцією контрасту до ВА, призведе до виникнення фатальної шлуночкової аритмії. Це було підтверджено експериментальними даними, що одержали на собаках. Для посилення ефекту контрастування коронарних артерій зупиняли серце з ацетилхоліном (Lehman et al.), застосовували оклюзійний балон для висхідної аорти (Dotter and Frische), фазове введення контрастної речовини щодо серцевого ритму (Richard and Thal) [7].

Наступний крок в еволюції цієї методики – спрощення здійснення процедури КАГ через розроблення й застосування конфігурованих катетерів із кінчиком, який попередньо зігнутий під певним кутом для полегшення пошуку гирла ВА, окремо правої та лівої. Використання таких катетерів, а також їх введення шляхом трансформальної пункції описані M. Judkins та K. Amplatz у 1967 році. Поліуретановий катетер завдовжки 100 см із внутрішньою опліткою з неіржавної сталі модифікували при нагріванні у воді, що кипить, протягом 2 хвилин. Такі катетери попередньо формували у праву та ліву конфігурацію, окремо під кожною з ВА [8]. Селективна методика введення контрастної речовини в коронарне русло дала змогу чіткіше візуалізувати ВА, стала першим надійним маркером для верифікації стенотичних та оклюзійних уражень ВА у пацієнта.

Техніка катетеризації, описана раніше M. Sones, змінена K. Amplatz et al.; процедуру здійснювали шляхом введення катетерів черезшкірно в підключичну, пахову або стегнову артерію. Катетеризацію через стегнову артерію визначили як оптимальну. Автори зазначили, що успіх процедури значною мірою залежить від точного знання анатомії та адаптації конфігурації катетера до анатомічних варіацій у відходженні ВА від коронарних синусів аорти [9]. З того часу селективна черезшкірна КАГ стала доступною для широкого кола інтервенціоністів, які тривалий час застосовували переважно трансформальний доступ для пункції судин.

Починаючи з 1989 року, почали використовувати і трансрадіальний доступ, який показав свої переваги для виконання селективної КАГ і черезшкірного коронарного втручання (ЧКВ) через нижчий ризик судинних і геморагічних ускладнень. Уперше трансрадіальну катетеризацію серця й аорти шляхом артеріотомії про-

меневої артерії описав S. Radner у 1948 році [10]. Лише через чотири десятиріччя повернулися до застосування такого доступу, але використовуючи вже не хірургічну, а пункційну методику.

У 1989 році L. Campeau et al. у дослідженні за участю 100 пацієнтів отримали результати щодо застосування черезшкірного доступу до променевої артерії в дистальній частині передпліччя для здійснення діагностичної КАГ [11]. У 1993 році F. Kiemeneij et al. використали результати дослідження L. Campeau et al., застосувавши ЧКВ при гострому коронарному синдромі (ГКС) [12].

Променевий доступ став кращим шляхом здійснення коронарографії та інвазивних черезшкірних втручань. Ця техніка також дає можливість ранньої активізації пацієнта після процедури, покращує його самопочуття, є менш витратною. Одне з важливих обмежень променевого доступу – підвищена схильність променевої артерії до спазму; крім того, звивистості променевої, плечової та підключичної артерій ускладнюють просування катетера та канюляцію гирла ВА, збільшуючи променеве навантаження на пацієнта та персонал [13].

У 2017 році F. Kiemeneij опублікував звіт про дистальний трансрадіальний доступ у ділянці анатомічної табакерки на кисті. Такий доступ стає все поширенішим. Порівняно з проксимальним доступом до променевої артерії, нова методика має переваги щодо комфорту й пацієнта, й оператора. Крім того, визначають значно меншу імовірність ішемічних пошкоджень кисті через зменшення ризику оклюзії долонної артеріальної дуги та можливість використання швидшого гемостазу в ділянці такої пункції. Важливим є також збереження променевої артерії для її використання як судинного доступу під час наступних інвазивних процедур [14].

Незважаючи на малоінвазивність, КАГ спричиняє низку перипроцедуральних ускладнень, як-от судинні ускладнення в місці пункції, алергічні реакції, контраст-індукована нефропатія, порушення серцевого ритму, та має певні особливості, зокрема характеризується високим променевим навантаженням на пацієнта. З часом внаслідок удосконалення технології, інструментарію, професійних навичок і досвіду операторів, які здійснювали КАГ, відсоток ускладнень поступово знижувався. Так, на початку 1960-х років під час діагностичної катетеризації рівень смертності становив 1 %, а в 1990-х роках він зменшився до 0,08 %; кількість судинних ускладнень з 1998 до 2007 року знизилася під час виконання цієї процедури з 1,7 % до 0,2 %, а під час ЧКВ – з 3,1 % до 1,0 % [15].

КАГ залишається методом «за замовчуванням» для визначення анатомії ВА та оцінювання ступеня стенозу ВА завдяки високій просторовій роздільній здатності ангіографів (до 0,1 мм), є оптимальною для вивчення анатомії дрібних артерій дистального коронарного русла. Незважаючи на те, що її вважають «золотим стандартом» діагностики ІХС, ця методика має певні обмеження та недоліки. Одне з них – суб'єктивізм під час оцінювання ступеня стенозу ВА. Візуальне визначення ступеня стенозу залежить від порівняння з сусіднім, незмінним (референтним) сегментом ВА. У разі дифузного ураження відсутність такого референтного сегмента може зумовити недооцінку вираженості стенозу під час ангіографії. Визначена істотна варіабельність

під час оцінювання стенозу ВА, що виконане різними операторами. Зазначимо, що ступінь стенозу візуально переоцінюють, якщо стеноз ВА становить ≥ 50 % [16].

Стенози, визначені як 90 % і більше, завжди впливають на гемодинаміку. Але багато стенозів, які вважають гемодинамічно значущими за візуальним оцінюванням коронарних ангіограм (≥ 70 % звуження просвіту), можуть не обмежувати коронарний кровотік, а інші, які оцінили як «незначні» (< 70 % звуження просвіту), можуть бути гемодинамічно значущими [17].

Нині функціональна оцінка гемодинамічної значущості стенозу може бути визначена за допомогою методів FFR/iFR, що інтегровані в апаратну частину ангіографа. Таке інвазивне оцінювання функціонального резерву коронарного кровотоку необхідно здійснювати під час КАГ, доповнювати її в пацієнтів зі ступенем стенозу 50–90 % або багатосудинним ураженням, враховуючи часту невідповідність між ангіографічним і гемодинамічним ступенем коронарного стенозу [18]. Такий підхід нівелює суб'єктивізм під час візуального оцінювання стенозу ВА, дає змогу вирішити, коли ЧКВ буде необхідним і корисним та коли його можна безпечно відтермінувати. Встановлено, що інтеграція FFR/iFR у рутинну КАГ спричиняє зміну стратегії лікування у 30–50 % пацієнтів, яким здійснюють планову діагностику ІХС [19].

За допомогою КАГ не можна визначити, стабільною чи «вразливою» (тобто може розірватися і спричинити ГКС) є атеросклеротична бляшка, оскільки її морфологічна будова має прямий зв'язок із виникненням майбутніх складних серцево-судинних подій (MACE) [20]. Щоб вирішити це складне завдання, застосовують технології внутрішньосудинної візуалізації: ультразвукове дослідження (IVUS) та оптичну когерентну томографію (OCT). У режимі реального часу вони дають інформацію про стінку коронарної судини та склад бляшок (розмір ліпідного ядра, товщина фіброзної покривки, наявність кальцинозу, крововиливу, розриву покривки, тромбу на її поверхні), мають найвищу просторову роздільну здатність серед усіх методів ангіовізуалізації (до 0,01 мм – OCT, 0,10–0,15 мм – IVUS). Крім того, ці методи оптимальні під час планування процедури стентування та контролю якості виконаної коронарної інтервенції (визначення діаметра ВА, оцінювання дисекції інтими й оптимізація імплантації стенту) [21]. Втім, інвазивний характер і висока вартість втручання істотно обмежують можливості широкого рутинного застосування таких технологій візуалізації в повсякденній клінічній практиці.

Ручна рутинна інтерпретація великої кількості зображень потребує істотних витрат часу і певного рівня компетенцій, досвіду лікаря. Це спонукало до розроблення методів штучного інтелекту для опрацювання зображень, визначення ознак, ідентифікації та характеристики стабільних і нестабільних бляшок у ВА [22].

Виконання КАГ як перший крок візуалізації ВА доцільне в пацієнтів із високою клінічною ймовірністю ІХС, коли є симптоми ішемії, що не контролюється чи погано контролюється медикаментозно, у хворих із типовою стенокардією при низькому рівні фізичного навантаження. Особливо це стосується виявлення уражень, до яких може бути застосована стратегія коронарної реваскуляризації. Не слід виконувати КАГ у пацієнтів зі стенокардією, у яких реваскуляризація потенційно не

покращить функціональний стан або якість життя, котрі відмовляються від інвазивних процедур та не є кандидатами на ЧКВ або аортокоронарне шунтування (АКШ).

Рутинну селективну КАГ треба доповнювати сучасними інвазивними тестами (FFR/iFR, OCT, IVUS). Вони сприяють покращенню анатомічної складової візуалізації, визначенню фізіологічних, морфологічних показників і характеру атеросклеротичного ураження ВА в пацієнтів. Такий підхід показав свою прогностичну значущість і є визнаним «золотим стандартом» у діагностиці та реваскуляризації пацієнтів зі стабільною ІХС.

З часом усе більш актуальним ставало застосування надійного неінвазивного методу ранньої діагностики стенозичного ураження субепікардіальних ВА. Таким методом стала комп'ютерна томографія коронарних артерій із контрастуванням (КТ-КГ). У 1972 році методику комп'ютерної томографії запропонували G. Hounsfield (Велика Британія) та A. Cormack (ПАР), нагороджені за цю розробку Нобелівською премією в 1979 році. Метод ґрунтується на вимірюванні та передбачає складне комп'ютерне опрацювання різниці ослаблення рентгенівського випромінювання різними за щільністю тканинами тіла людини. Складність діагностики та візуалізації ВА за цією методикою пов'язана з невеликим діаметром цих судин, які постійно рухаються внаслідок скорочень серця й екскурсії грудної клітки під час дихання. Це ставить певні вимоги до апаратів, що повинні мати високі показники просторової та часової роздільної здатності. Через це ранні моделі сканерів мали істотні обмеження щодо їх використання для оцінювання міокарда, камер серця та кальцинозу ВА [23].

Надалі технологію спіральної КТ удосконалювали в напрямі покращення просторової роздільної здатності по поздовжній осі («z-вісь»), збільшення швидкості обертання рентгенівської трубки, зменшення розмірів детекторів і збільшення кількості площин зрізів у таких системах. На якість зображення можуть впливати різні артефакти від пацієнта (рухи, наявність металевих речей на тілі або всередині організму) та від самого апарата КТ (результат недосконалої системи під час реконструкції зображень). Деяких артефактів можна уникнути завдяки удосконаленню конструкції апаратної частини, програмного забезпечення, ретельному позиціонуванню пацієнта та вибору оптимальних параметрів сканування [24].

Із запровадженням багатозрізових мультиспіральних КТ-сканерів (МСКТ), починаючи від чотиризрізових КТ-сканерів у 1998 році до 64-зрізових КТ-сканерів у 2004 році, відбулося істотне покращення просторової та часової роздільної здатності. Це дало змогу оцінювати клінічно значущі гілки ВА [25]. Завдяки малому розміру детектора та високій швидкості обертання рентгенівської трубки (гентрі) у 64-зрізових (і більше) апаратів для МСКТ стало можливим власне дослідження ВА та широке застосування реконструкції зображень ВА. З цього часу мультидетекторна КТ-КГ стає важливим інструментом для неінвазивного оцінювання серцевої патології [26]. Сучасні 64-зрізові КТ-сканери, що мають покращену часову та просторову роздільну здатність, мають чудову діагностичну точність щодо проксимальних відділів вінцевих судин і менших за діаметром дистальних гілок ВА [27].

Визначили кілька обмежень, що знижують точність МСКТ, зокрема в хворих на аритмію та в пацієнтів із коронарними стентами або сильно кальцинованими ВА. Ці обмеження подолані завдяки впровадженню першого покоління КТ-сканерів із подвійним джерелом випромінювання (DSCT) у 2006 році та розробленню широкодетекторних КТ-сканерів у 2008 році. Це дало змогу швидше отримувати зображення з меншою кількістю артефактів руху та покращило якість зображення. Дослідження, де вивчали діагностичну точність DSCT для оцінювання ІХС у популяції зі значним коронарним кальцинозом без контролю серцевого ритму, показало загальну чутливість, специфічність, позитивні та негативні прогностичні значення цієї методики на рівні 96,4 %, 97,5 %, 85,7 % і 99,4 % відповідно [28].

Істотний недолік технології МСКТ – вплив іонізуючого випромінювання на пацієнта під час процедури. Нові технологічні досягнення призвели до створення ще більш швидкісних КТ-сканерів, починаючи від 640-зрізових динамічних об'ємних КТ-сканерів до DSCT-сканерів третього покоління та спектральної КТ. З кожним наступним поколінням КТ-сканерів доза опромінення, доза контрасту та час опрацювання зображень при КТ-КГ зменшуються, а якість зображення покращується. Використовуючи останній 640-зрізовий КТ-сканер або DSCT-сканер третього покоління, дозу опромінення можна знизити до субмілізівертних доз (еквівалент <50 рентгенограм грудної клітки) і для КТ-оцінювання кальцинозу ВА, і для КТ-КГ [29]. Такі сканери також дали змогу зменшити контрастне навантаження з 80 мл до 35 мл; це сприяло зниженню ризику індукованої контрастом нефропатії [30].

Під час КТ-КГ можна визначити ступінь кальцинозу ВА з використанням методу оцінювання коронарного індексу (KI) Агатстона, який є цінним тестом для визначення ризику серцево-судинних подій і може виявляти пацієнтів, яким буде корисно модифікувати цей ризик. У дослідженні MESA показано: оцінка KI за Агатстоном «0» є доказом низького ризику (<5 %) усіх атеросклеротичних серцево-судинних подій протягом 10 років [31]. Отже, визначення ступеня кальцинозу ВА може стати новим кроком до персоналізованого підходу в стратифікації кардіоваскулярного ризику для первинної профілактики в пацієнтів внаслідок невисокої вартості, неінвазивності, відсутності контрастного навантаження та низької дози іонізуючого опромінення. Це сприятиме широкому застосуванню методу в клінічній практиці [32].

КТ-КГ дає змогу точно й неінвазивно визначити ступінь стенозу ВА, склад атеросклеротичної бляшки. Метод використовують для оцінювання ВА у пацієнтів із симптомами ішемії та низькою або середньою передтестовою імовірністю ІХС, вперше діагностованою серцевою недостатністю, під час передопераційного оцінювання стану ВА.

Протягом діагностики стабільної ІХС можуть бути використані алгоритми визначення фракційного резерву кровотоку, що одержали за допомогою КТ (КТ-FFR і КТ-перфузії), для оцінювання функціональної значущості проміжних стенозів на КТ-КГ (стеноз 30–90 %), які краще описують коронарний кровотік та індуковану ішемію міокарда [33]. Такі функціональні тести додають

до анатомічної інформації фізіологічні дані про вінцевий кровотік і перфузію, підвищуючи точність діагностики ІХС порівняно з лише КТ-КГ [34].

Під час КТ-КГ добре візуалізуються венозні й артеріальні шунти після хірургічної реваскуляризації міокарда, оскільки вони мають менші артефакти руху, більший діаметр, і в них рідко виникає кальциноз атеросклеротичних бляшок. Американська асоціація серця (АНА) рекомендує виконання МСКТ для візуалізації трансплантатів після АКШ, якщо в пацієнта посилюються симптоми стенокардії або виникають нові [35]. На відміну від шунтів, оцінювання імплантованих коронарних стентів і кальцинованих стенозів ВА за допомогою КТ-КГ є складнішим, дає недостовірний результат щодо ступеня стенозу [36].

Нині КТ-КГ є важливою неінвазивною методикою для визначення морфологічних характеристик коронарної бляшки, що може виявляти нестабільні та вразливі бляшки, які мають ознаки ремоделювання. Аналіз складу атеросклеротичних бляшок на КТ-КГ може визначити їхню динаміку, розмір фіброзного ядра, товщину покривки, васкуляризацію, крововилив, кальциноз і тромбоз на поверхні бляшки тощо, а також дає змогу виявляти хворих із високим ризиком наступних подій, прогнозувати майбутні МАСЕ. Багатоцентрове дослідження ROMICAT-II, де використовували КТ-КГ для діагностики інфаркту міокарда, показало: наявність бляшок «високого ризику» в пацієнтів з ІХС збільшує імовірність ГКС [37]. Крім того, фіброатерома з тонкою покривкою є незалежним предиктором майбутніх МАСЕ [38].

Загальними позитивними ознаками КТ-КГ є неінвазивний характер методики, точність і чутливість, коротка тривалість обстеження пацієнта, економічна доцільність, можливість використання у хворих із металевими імплантатами в тілі, менше променеве навантаження на обстеженого порівняно з інвазивною КАГ. Разом із тим, істотною залишається доза опромінення, можливі алергічні реакції на контраст. Це обмежує застосування КТ із контрастним посиленням в осіб з алергією на йодовмісні препарати, в пацієнтів із хронічною хворобою нирок і зниженою швидкістю клубочкової фільтрації, у вагітних та хворих на гіпертиреоз.

У рекомендаціях Європейського товариства кардіологів (ESC) 2019 року щодо застосування неінвазивної та інвазивної коронарографії для діагностики хронічної ІХС наведено:

1. Коронарна КТ є методом вибору при низькій клінічній імовірності ІХС або без анамнезу ІХС у пацієнтів, коли прогнозується хороша якість зображення, є можливості її виконання та інтерпретації знімків. КТ-КГ може виключити й анатомічно, й функціонально значущу ІХС, а також виявити субклінічний коронарний атеросклероз. КТ-КГ також слід вважати альтернативою КАГ, якщо інші неінвазивні тести є сумнівними або неінформативними;

2. КТ-КГ не рекомендована, коли є виражений кальциноз ВА, нерегулярний серцевий ритм, значне ожиріння, якщо пацієнт не здатний затримати дихання на тривалий час;

3. Інвазивна КАГ рекомендована пацієнтам із високою клінічною імовірністю ІХС, рефрактерною або типовою стенокардією при низькому рівні фізичного навантаження [39].

Ще один сучасний метод обстеження серця, що є «золотим стандартом» для оцінювання структури, об'єму, функції, перфузії міокарда, – МРТ серця з гадолінієм. Використовуючи цей метод, клініцисти мають змогу точніше оцінити скоротливу здатність міокарда при хронічній ІХС і визначити пацієнтів, яким необхідна коронарна реваскуляризація [40].

Включення візуального оцінювання й анатомічних характеристик стенотичного ураження ВА до стандартного протоколу МРТ серця, а також відмова від використання контрастної речовини сприятимуть тому, що це дослідження стане альтернативою попереднім методам коронарної візуалізації, оскільки не має променевого навантаження та не потребує використання контрасту (його роль виконує кров). Широкому клінічному впровадженню цієї процедури перешкоджають такі фактори: нижча просторова роздільна здатність МРТ порівняно з КТ-КГ (1,0 мм проти 0,4–0,6 мм), більша тривалість обстеження, вища вартість, складнощі планування сканування, погіршення якості зображення через скорочення серця, дихання та рухи пацієнта. Це спричиняє нижчу чутливість і специфічність порівняно з КТ-КГ [41].

Зважаючи на ці обмеження, безконтрастну МРТ вінцевих артерій виконують пацієнтам для оцінювання проксимальних відділів коронарних судин, якщо є припущення про аномалію чи аневризму ВА (наприклад, при хворобі Кавасакі). Проте збільшення кількості та посилення доступності потужних (3,0 Тл і більше) і сучасних МР-сканерів може надати клініцистам новий, безпечніший та універсальний метод для візуалізації характеру ураження субепікардіальних ВА з визначенням скоротливої функції міокарда в пацієнтів із хронічною ІХС без істотних ризиків.

Отже, нині в рутинній клінічній практиці доступні дві альтернативні методики ангіовізуалізації ІХС із можливістю анатомічного та функціонального оцінювання субепікардіальних ВА – неінвазивна (КТ-КГ) та інвазивна (КАГ). Клініцист може обрати оптимальний діагностичний метод, спираючись на прояви та перебіг захворювання, його прогноз, коморбідний статус пацієнта, дані попереднього неінвазивного обстеження, можливі потенційні ризики процедур візуалізації, а також враховуючи можливості й побажання пацієнта.

Висновки

1. Нині доступними є два методи ангіовізуалізації вінцевих судин – інвазивна коронароангіографія та неінвазивна КТ-коронарографія.

2. Необхідні наступні дослідження щодо ефективності та безпеки різних методів візуалізації вінцевих артерій при ішемічній хворобі серця.

3. Покращення результатів діагностичного пошуку залежить від можливостей апаратної складової клініки та раціональної побудови лікарем оптимальної послідовності діагностичного процесу.

Перспективи подальших досліджень. Враховуючи поширеність і високий рівень смертності пацієнтів з ІХС, необхідні нові дослідження для оптимізації вибору діагностичної стратегії. Це сприятиме підвищенню ефективності роботи серцевої команди, а також покращить результати діагностичного процесу й лікування.

Конфлікт інтересів: відсутній.

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

Надійшла до редакції / Received: 18.09.2023

Після доопрацювання / Revised: 06.10.2023

Схвалено до друку / Accepted: 11.10.2023

Відомості про авторів:

Губка В. О., д-р мед. наук, професор, в. о. зав. каф. госпітальної хірургії, Запорізький державний медико-фармацевтичний університет, Україна.

ORCID ID: 0000-0002-6912-8577

Вайло Ю. М., асистент каф. госпітальної хірургії, Запорізький державний медико-фармацевтичний університет, Україна.

ORCID ID: 0000-0003-3132-1352

Матерухін А. М., канд. мед. наук, доцент каф. госпітальної хірургії, Запорізький державний медико-фармацевтичний університет, Україна.

ORCID ID: 0000-0003-2856-6703

Макаренков А. Л., лікар-хірург відділення інтервенційної кардіології та рентгеноангіографії, КНП «Запорізька обласна клінічна лікарня» ЗОР, Україна.

ORCID ID: 0000-0003-2132-3776

Information about authors:

Hubka V. O., MD, PhD, DSc, Professor, Acting Head of the Department of Hospital Surgery, Zaporizhzhia State Medical and Pharmaceutical University, Ukraine.

Vailo Yu. M., MD, Assistant of the Department of Hospital Surgery, Zaporizhzhia State Medical and Pharmaceutical University, Ukraine.

Materukhin A. M., MD, PhD, Associate Professor of the Department of Hospital Surgery, Zaporizhzhia State Medical and Pharmaceutical University, Ukraine.

Makarenkov A. L., MD, Surgeon, Department of Interventional Cardiology and Angiography, MNE "Zaporizhzhia Regional Clinical Hospital" ZRC, Ukraine.

References

- World Health Organization. (2021, June 11). *Cardiovascular diseases (CVDs)*. Retrieved from <https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-cvds>
- Steg, P. G., Bhatt, D. L., Wilson, P. W., D'Agostino, R., Sr, Ohman, E. M., Röther, J., Liao, C. S., Hirsch, A. T., Mas, J. L., Ikeda, Y., Pencina, M. J., Goto, S., & REACH Registry Investigators (2007). One-year cardiovascular event rates in outpatients with atherosclerosis. *JAMA*, 297(11), 1197-1206. <https://doi.org/10.1001/jama.297.11.1197>
- Zhang, N., & Wei, D. (2021). Efficacy and safety of coronary stent intervention for coronary heart disease and its impact on short-term and long-term prognosis. *American journal of translational research*, 13(9), 10729-10736. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC850708/>
- Thiene, G., Frescura, C., Padalino, M., Basso, C., & Rizzo, S. (2021). Coronary Arteries: Normal Anatomy With Historical Notes and Embryology of Main Stems. *Frontiers in cardiovascular medicine*, 8, 649855. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2021.649855>
- Forssmann-Falck R. (1997). Werner Forssmann: a pioneer of cardiology. *The American journal of cardiology*, 79(5), 651-660. [https://doi.org/10.1016/s0002-9149\(96\)00833-8](https://doi.org/10.1016/s0002-9149(96)00833-8)
- Seldinger, S. I. (1953). Catheter replacement of the needle in percutaneous arteriography; a new technique. *Acta radiologica*, 39(5), 368-376. <https://doi.org/10.3109/00016925309136722>
- Ryan, T. J. (2002). The coronary angiogram and its seminal contribution to cardiovascular medicine over five decades. *Circulation*, 106(6), 752-756. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.0000024109.12658.D4>
- Judkins, M. P. (1967). Selective coronary arteriography. Part I. A percutaneous transfemoral technic. *Radiology*, 89(5), 815-824. <https://doi.org/10.1148/89.5.815>
- Amplatz, K., Formanek, G., Stanger, P., & Wilson, W. (1967). Mechanics of selective coronary artery catheterization via femoral approach. *Radiology*, 89(6), 1040-1047. <https://doi.org/10.1148/89.6.1040>
- Radner, S. (1948). Thoracic aortography by catheterization from the radial artery; preliminary report of a new technique. *Acta radiologica*, 29(2), 178-180. <https://doi.org/10.3109/00016924809132437>
- Campeau, L. (1989). Percutaneous radial artery approach for coronary angiography. *Catheterization & cardiovascular interventions*, 16(1), 3-7. <https://doi.org/10.1002/ccd.1810160103>
- Kiemeneij, F., & Laarman, G. J. (1993). Percutaneous transradial artery approach for coronary stent implantation. *Catheterization & cardiovascular interventions*, 30(2), 173-178. <https://doi.org/10.1002/ccd.1810300220>
- Papadopoulos, K., Kerner, A., Yalonetsky, S., Nikolsky, E., Feld, Y., & Roguin, A. (2020). Strategies to overcome challenges of transradial coronary angiography and intervention. *Reviews in cardiovascular medicine*, 21(4), 501-505. <https://doi.org/10.31083/rm.2020.04.252>
- Kiemeneij, F. (2017). Left distal transradial access in the anatomical snuffbox for coronary angiography (IdTRA) and interventions (IdTRI). *EuroIntervention*, 13(7), 851-857. <https://doi.org/10.4244/EIJ-D-17-00079>
- Tavakol, M., Ashraf, S., & Brener, S. J. (2012). Risks and complications of coronary angiography: a comprehensive review. *Global journal of health science*, 4(1), 65-93. <https://doi.org/10.5539/gjhs.v4n1p65>
- Fleming, R. M., Kirkeeide, R. L., Smalling, R. W., & Gould, K. L. (1991). Patterns in visual interpretation of coronary arteriograms as detected by quantitative coronary arteriography. *Journal of the American College of Cardiology*, 18(4), 945-951. [https://doi.org/10.1016/0735-1097\(91\)90752-u](https://doi.org/10.1016/0735-1097(91)90752-u)
- Nallamothu, B. K., Spertus, J. A., Lansky, A. J., Cohen, D. J., Jones, P. G., Kureshi, F., Dehmer, G. J., Drozda, J. P., Jr, Walsh, M. N., Brush, J. E., Jr, Koenig, G. C., Waites, T. F., Gantt, D. S., Kichura, G., Chazal, R. A., O'Brien, P. K., Valentine, C. M., Rumsfeld, J. S., Reiber, J. H., Elmore, J. G., ... Krumholz, H. M. (2013). Comparison of clinical interpretation with visual assessment and quantitative coronary angiography in patients undergoing percutaneous coronary intervention in contemporary practice: the Assessing Angiography (A2) project. *Circulation*, 127(17), 1793-1800. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.113.001952>
- Escaned, J., Echavarría-Pinto, M., García-García, H. M., van de Hoef, T. P., de Vries, T., Kaul, P., Raveendran, G., Altman, J. D., Kurz, H. I., Brechtken, J., Tulli, M., Von Birgelen, C., Schneider, J. E., Khashaba, A. A., Jeremias, A., Baucum, J., Moreno, R., Meuwissen, M., Mishkel, G., van Geuns, R. J., ... ADVISE II Study Group (2015). Prospective Assessment of the Diagnostic Accuracy of Instantaneous Wave-Free Ratio to Assess Coronary Stenosis Relevance: Results of ADVISE II International, Multicenter Study (ADenosine Vasodilator Independent Stenosis Evaluation II). *JACC. Cardiovascular interventions*, 8(6), 824-833. <https://doi.org/10.1016/j.jcin.2015.01.029>
- Curzen, N., Rana, O., Nicholas, Z., Gollidge, P., Zaman, A., Oldroyd, K., Hanratty, C., Banning, A., Wheatcroft, S., Hobson, A., Chitkara, K., Hildick-Smith, D., McKenzie, D., Calver, A., Dimitrov, B. D., & Corbett, S. (2014). Does routine pressure wire assessment influence management strategy at coronary angiography for diagnosis of chest pain?: the RIPCOR study. *Circulation. Cardiovascular interventions*, 7(2), 248-255. <https://doi.org/10.1161/CIRCINTERVENTIONS.113.000978>
- Fihn, S. D., Blankenship, J. C., Alexander, K. P., Bittl, J. A., Byrne, J. G., Fletcher, B. J., Fonarow, G. C., Lange, R. A., Levine, G. N., Maddox, T. M., Naidu, S. S., Ohman, E. M., & Smith, P. K. (2014). 2014 ACC/AHA/AATS/PCNA/SCAI/STS focused update of the guideline for the diagnosis and management of patients with stable ischemic heart disease: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines, and the American Association for Thoracic Surgery, Preventive Cardiovascular Nurses Association, Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, and Society of Thoracic Surgeons. *Journal of the American College of Cardiology*, 64(18), 1929-1949. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2014.07.017>
- Rathod, K. S., Hamshere, S. M., Jones, D. A., & Mathur, A. (2015). Intravascular Ultrasound Versus Optical Coherence Tomography for Coronary Artery Imaging – Apples and Oranges?. *Interventional cardiology*, 10(1), 8-15. <https://doi.org/10.15420/icr.2015.10.1.8>
- Gudigar, A., Nayak, S., Samantha, J., Raghavendra, U., A. J. A., Barua, P. D., Hasan, M. N., Ciaccio, E. J., Tan, R. S., & Rajendra Acharya, U. (2021). Recent Trends in Artificial Intelligence-Assisted Coronary Atherosclerotic Plaque Characterization. *International journal of environmental research and public health*, 18(19), 10003. <https://doi.org/10.3390/ijerph181910003>
- Hurlock, G. S., Higashino, H., & Mochizuki, T. (2009). History of cardiac computed tomography: single to 320-detector row multislice computed tomography. *The International journal of cardiovascular imaging*, 25 Suppl 1, 31-42. <https://doi.org/10.1007/s10554-008-9408-z>
- Barrett, J. F., & Keat, N. (2004). Artifacts in CT: recognition and avoidance. *RadioGraphics*, 24(6), 1679-1691. <https://doi.org/10.1148/rg.246045065>
- Meijboom, W. B., Meijis, M. F., Schuijff, J. D., Cramer, M. J., Mollet, N. R., van Mieghem, C. A., Nieman, K., van Werkhoven, J. M., Pundziute, G., Weustink, A. C., de Vos, A. M., Pugliese, F., Rensing, B., Jukema, J. W.,

- Bax, J. J., Prokop, M., Doevendans, P. A., Hunink, M. G., Krestin, G. P., & de Feyter, P. J. (2008). Diagnostic accuracy of 64-slice computed tomography coronary angiography: a prospective, multicenter, multivendor study. *Journal of the American College of Cardiology*, 52(25), 2135-2144. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2008.08.058>
26. Sun, Z., Aziz, Y. F., & Ng, K. H. (2012). Coronary CT angiography: how should physicians use it wisely and when do physicians request it appropriately?. *European journal of radiology*, 81(4), e684-e687. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2011.06.040>
27. Hoffmann, U., Ferencik, M., Cury, R. C., & Pena, A. J. (2006). Coronary CT angiography. *Journal of nuclear medicine*, 47(5), 797-806.
28. Scheffel, H., Alkadhi, H., Plass, A., Vachenaue, R., Desbiolles, L., Gaemperli, O., Schepis, T., Frauenfelder, T., Schertler, T., Husmann, L., Grunenfelder, J., Genoni, M., Kaufmann, P. A., Marincek, B., & Leschka, S. (2006). Accuracy of dual-source CT coronary angiography: First experience in a high pre-test probability population without heart rate control. *European radiology*, 16(12), 2739-2747. <https://doi.org/10.1007/s00330-006-0474-0>
29. Halliburton, S. S., Abbara, S., Chen, M. Y., Gentry, R., Mahesh, M., Raff, G. L., Shaw, L. J., Hausleiter, J., & Society of Cardiovascular Computed Tomography (2011). SCCT guidelines on radiation dose and dose-optimization strategies in cardiovascular CT. *Journal of cardiovascular computed tomography*, 5(4), 198-224. <https://doi.org/10.1016/j.jcct.2011.06.001>
30. Zhang, F., Yang, L., Song, X., Li, Y. N., Jiang, Y., Zhang, X. H., Ju, H. Y., Wu, J., & Chang, R. P. (2016). Feasibility study of low tube voltage (80kVp) coronary CT angiography combined with contrast medium reduction using iterative model reconstruction (IMR) on standard BMI patients. *The British journal of radiology*, 89(1058), 20150766. <https://doi.org/10.1259/bjr.20150766>
31. Budoff, M. J., Young, R., Burke, G., Jeffrey Carr, J., Detrano, R. C., Folsom, A. R., Kronmal, R., Lima, J., Liu, K. J., McClelland, R. L., Michos, E., Post, W. S., Shea, S., Watson, K. E., & Wong, N. D. (2018). Ten-year association of coronary artery calcium with atherosclerotic cardiovascular disease (ASCVD) events: the multi-ethnic study of atherosclerosis (MESA). *European heart journal*, 39(25), 2401-2408. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehy217>
32. Kolesnyk, M. Yu. (2023). Rol vyznachennia kaltsiu v koronarnykh arteriakh u stratehii pervynnoi profilaktyky sertsevo-sudynnykh zakhvoriuvan [The role of coronary artery calcium estimation in the primary prevention strategy for cardiovascular diseases]. *Zaporozhye medical journal*, 25(5), 447-454. [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.14739/2310-1210.2023.5.285583>
33. Narula, J., Chandrashekar, Y., Ahmadi, A., Abbara, S., Berman, D. S., Blankstein, R., Leipsic, J., Newby, D., Nicol, E. D., Nieman, K., Shaw, L., Villines, T. C., Williams, M., & Hecht, H. S. (2021). SCCT 2021 Expert Consensus Document on Coronary Computed Tomographic Angiography: A Report of the Society of Cardiovascular Computed Tomography. *Journal of cardiovascular computed tomography*, 15(3), 192-217. <https://doi.org/10.1016/j.jcct.2020.11.001>
34. Gonzalez, J. A., Lipinski, M. J., Flors, L., Shaw, P. W., Kramer, C. M., & Salerno, M. (2015). Meta-Analysis of Diagnostic Performance of Coronary Computed Tomography Angiography, Computed Tomography Perfusion, and Computed Tomography-Fractional Flow Reserve in Functional Myocardial Ischemia Assessment Versus Invasive Fractional Flow Reserve. *The American Journal of Cardiology*, 116(9), 1469-1478. <https://doi.org/10.1016/j.amjcard.2015.07.078>
35. Ngam, P. I., Ong, C. C., Chai, P., Wong, S. S., Liang, C. R., & Teo, L. (2020). Computed tomography coronary angiography – past, present and future. *Singapore medical journal*, 61(3), 109-115. <https://doi.org/10.11622/smedj.2020028>
36. Maintz, D., Seifarth, H., Raupach, R., Flohr, T., Rink, M., Sommer, T., Ozgün, M., Heindel, W., & Fischbach, R. (2006). 64-slice multidetector coronary CT angiography: in vitro evaluation of 68 different stents. *European radiology*, 16(4), 818-826. <https://doi.org/10.1007/s00330-005-0062-8>
37. Puchner, S. B., Liu, T., Mayrhofer, T., Truong, Q. A., Lee, H., Fleg, J. L., Nagurney, J. T., Udelson, J. E., Hoffmann, U., & Ferencik, M. (2014). High-risk plaque detected on coronary CT angiography predicts acute coronary syndromes independent of significant stenosis in acute chest pain: results from the ROMICAT-II trial. *Journal of the American College of Cardiology*, 64(7), 684-692. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2014.05.039>
38. Xie, Y., Mintz, G. S., Yang, J., Doi, H., Iñiguez, A., Dangas, G. D., Serruys, P. W., McPherson, J. A., Wennerblom, B., Xu, K., Weisz, G., Stone, G. W., & Maehara, A. (2014). Clinical outcome of nonculprit plaque ruptures in patients with acute coronary syndrome in the PROSPECT study. *JACC. Cardiovascular imaging*, 7(4), 397-405. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2013.10.010>
39. Knuuti, J., Wijns, W., Saraste, A., Capodanno, D., Barbato, E., Funck-Brentano, C., Prescott, E., Storey, R. F., Deaton, C., Cuisset, T., Agewall, S., Dickstein, K., Edvardsen, T., Escaned, J., Gersh, B. J., Svtil, P., Gilard, M., Hasdai, D., Hatala, R., Mahfoud, F., ... ESC Scientific Document Group (2020). 2019 ESC Guidelines for the diagnosis and management of chronic coronary syndromes: The Task Force for the diagnosis and management of chronic coronary syndromes of the European Society of Cardiology (ESC). *European heart journal*, 41(3), 407-477. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehz425>
40. Mangla A., Oliveros E., Williams K.A., Dinesh K. Kalra D. K. (2017). Cardiac Imaging in the Diagnosis of Coronary Artery Disease. *Current Problems in Cardiology*, 42(10), 316-366. <https://doi.org/10.1016/j.cpcardiol.2017.04.005>.
41. Hajhosseiny, R., Bustin, A., Munoz, C., Rashid, I., Cruz, G., Manning, W. J., Prieto, C., & Botnar, R. M. (2020). Coronary Magnetic Resonance Angiography: Technical Innovations Leading Us to the Promised Land? *JACC. Cardiovascular imaging*, 13(12), 2653-2672. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2020.01.006>