

Історія методів коронарної реваскуляризації при хронічній ішемічній хворобі серця (огляд літератури)

В. О. Губка^{id}F, Ю. М. Вайло^{id}B-E, А. М. Матерухін^{id}A,E

Запорізький державний медико-фармацевтичний університет, Україна

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

Ключові слова:

ішемічна хвороба серця, реваскуляризація міокарда, аорто-вінцеве шунтування, коронарне стентування.

Запорізький
медичний журнал.
2026. Т. 28, № 4(157).
С. 348-357

Мета роботи – на основі відомостей фахової літератури висвітлити питання щодо виникнення, розвитку та сучасний стан методів коронарної реваскуляризації, які застосовують при хронічній ішемічній хворобі серця (ІХС), а також ефективність і безпеку процедур, що ґрунтуються на принципах доказової медицини.

Матеріали і методи. Під час дослідження застосовано бібліосемантичний метод. Здійснено пошук наукових статей в електронних базах даних медичних публікацій PubMed, Google Scholar, Scopus і Web of Science. Пошук здійснили за такими ключовими словами: coronary artery disease, myocardial revascularization, coronary artery bypass grafting, coronary stenting. До роботи додатково залучено праці, що мають історичне значення для дослідження цієї теми.

Результати. ІХС – поширене серцево-судинне захворювання, що прогресує та може загрожувати життю пацієнта навіть у разі стабільного перебігу. Головною причиною цього стану є критичне зниження вінцевого кровотоку через розвиток стенозуювальних атеросклеротичних бляшок у великих субепікардіальних вінцевих артеріях (ВА). Лікування ІХС передбачає призначення оптимальної медикаментозної терапії та виконання інвазивних втручань на ВА, як-от реваскуляризації міокарда. До методів реваскуляризації належать операції з аорто-вінцевого шунтування (АВШ) та інтервенційні процедури – черезшкірні коронарні втручання (ЧКВ). Методи реваскуляризації міокарда стали одними з найбільш поширених втручань у сучасній медицині. Так, АВШ – це оптимальний метод реваскуляризації міокарда, а ЧКВ є альтернативним мініінвазивним методом під час лікування пацієнтів з ІХС. Заходи з реваскуляризації ефективно зменшують прояви стенокардії, покращуючи якість життя, та позитивно впливають на прогноз пацієнтів. За останні роки технології хірургічних та інтервенційних втручань зазнали значних змін: постійно відбувається процес їх удосконалення й оптимізації, підвищується загальна доступність процедур.

Висновки. Враховуючи зниження якості життя, толерантності до фізичних навантажень і підвищений ризик виникнення несприятливих серцевих подій, що можуть призвести до смерті пацієнтів з ІХС, необхідною умовою є застосування ефективних методів лікування та профілактики цього захворювання. Реваскуляризація міокарда як доповнення до оптимальної медикаментозної терапії залишається ключовою стратегією лікування для полегшення симптомів, покращення якості життя та віддалених клінічних результатів у пацієнтів із хронічною ІХС.

Keywords:

coronary artery disease, myocardial revascularization, coronary artery bypass grafting, coronary stenting.

Zaporozhye
Medical Journal.
2026;28(4):348-357

History of coronary revascularization methods in chronic coronary artery disease (a literature review)

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

Aim. To describe the emergence, development, and current evidence base for coronary revascularization methods, and to evaluate their effectiveness and safety in patients with chronic coronary artery disease (CAD) in accordance with the principles of evidence-based medicine.

Materials and methods. A literature review was conducted using a bibliographic-semantic method. Electronic databases (PubMed, Google Scholar, Scopus, and Web of Science) were searched. Search terms included: coronary artery disease, myocardial revascularization, coronary artery bypass grafting, coronary stenting. Seminal historical publications relevant to the chronological development of revascularization techniques were also included.

Results. CAD is a prevalent, progressive cardiovascular disease that threatens patient's lives even during a stable course of the pathology and characterized by a critical reduction in coronary blood flow due to stenotic atherosclerotic plaques in the subepicardial coronary arteries (CA). Treatment of CAD encompasses optimal medical therapy and invasive myocardial revascularization, including coronary artery bypass grafting (CABG) and percutaneous coronary intervention (PCI). According to current evidence-based guidelines, CABG is the reference standard for complex multivessel or left main CAD, particularly in patients with diabetes or reduced left ventricular function, while PCI is an effective minimally invasive alternative for selected anatomical and clinical subgroups. Revascularization effectively reduces the burden of angina and improves health-related quality of life, with beneficial effects on long-term prognosis. Surgical and interventional technologies have undergone substantial evolution and advances in stent design and intravascular imaging guidance.

Conclusions. Given the decrease in the quality of life, exercise tolerance, and the risk of adverse cardiac events from which patients with CAD suffer and die, a necessary condition is the use of effective methods of treatment and prevention of this disease. Myocardial revascularization, as a complement to optimal medical therapy, remains a key treatment strategy for symptom relief and improvement of long-term clinical outcomes in patients with chronic CAD.

Ішемічна хвороба серця (ІХС) є найпоширенішим серцево-судинним захворюванням та однією з провідних причин смертності у всьому світі [1].

Морфологічним субстратом захворювання є розвиток атеросклеротичних бляшок у субепікардіальних (великих) вінцевих артеріях (ВА). На початкових стадіях хвороба клінічно має безсимптомний перебіг. Поступово бляшка збільшується (від 50 % до 70 % діаметра просвіту), звужуючи просвіт артерії, та призводить до зменшення кровотоку по ВА та появи відповідної ділянки ішемізованого міокарда з порушенням надалі його основної скоротливої функції – гіпокінезії, акінезії чи дискінезії окремих сегментів. Клінічно стенозуювальне ураження ВА виявляють за симптомами стенокардії напруження, а розрив бляшки може призвести до симптомів гострого інфаркту міокарда. Відповідно, перебіг ІХС має певну періодизацію, коли стабільний період (хронічний коронарний синдром) змінюється нестабільним (гострий коронарний синдром).

Захворювання має хронічний, прогресивний характер і може становити загрозу для життя пацієнта навіть у фазу відносно стабільного перебігу, без явних клінічних ознак. Вплинути на клініку та прогноз перебігу хвороби можна шляхом корекції факторів ризику, фармакологічної терапії та інвазивних втручань, спрямованих на досягнення стабілізації або регресу захворювання. Така корекція має на меті покращення якості життя та клінічне зменшення симптомів, профілактику серцево-судинних подій і підвищення виживаності пацієнтів.

Лікувальні стратегії при ІХС передбачають застосування лише оптимальної медикаментозної терапії (ОМТ) або її поєднання з методами реваскуляризації міокарда. До цих методів належать операції з аорто-вінцевого шунтування (АВШ) та інтервенційні процедури – черезшкірні коронарні втручання (ЧКВ).

Медикаментозна терапія є провідним елементом у лікуванні ІХС і може покращити якість життя та прогноз у багатьох пацієнтів. Цілі ОМТ включають контроль стенокардії, уповільнення прогресування атеросклеротичного процесу та зниження ризику атеротромботичних подій. Оптимальна медикаментозна терапія відіграє ключову роль під час лікування ІХС і показана усім пацієнтам, як наведено і в американських, і європейських рекомендаціях з лікування хронічних коронарних синдромів [2,3].

Реваскуляризація може бути запропонована додатково до ОМТ окремих пацієнтів для полегшення симптомів, поліпшення працездатності та якості життя або для покращення клінічних результатів лікування шляхом зменшення частки тяжких серцево-судинних подій [4]. Ключове завдання реваскуляризації міокарда – відновлення прохідності та адекватного кровопостачання ішемізованої ділянки міокарда, що виникає внаслідок тяжкого стенозу чи оклюзії ВА. Основною метою застосування цього методу є усунення симптомів стенокардії та/або покращення виживаності шляхом зниження ризику серцево-судинних подій. Реваскуляризація міокарда може значно ефективніше за ОМТ полегшити клініку стенокардії, зменшити використання антиангінальних препаратів, покращити якість життя, фізичну активність і позитивно вплинути на прогноз у пацієнтів із відповідними показаннями.

Разом із тим, жоден із методів реваскуляризації не впливає на прогресування та перебіг основної причини захворювання – атеросклероз [3].

Мета роботи

На основі відомостей фахової літератури висвітлити питання щодо виникнення, розвитку та сучасний стан методів коронарної реваскуляризації, які застосовують при хронічній ішемічній хворобі серця, а також ефективність і безпеку процедур, що ґрунтуються на принципах доказової медицини.

Матеріали і методи дослідження

Під час дослідження застосовано бібліосемантичний метод. Здійснено пошук наукових статей в електронних базах даних медичних публікацій PubMed, Google Scholar, Scopus і Web of Science. Пошук здійснили за такими ключовими словами: coronary artery disease, myocardial revascularization, coronary artery bypass grafting, coronary stenting. До роботи додатково залучено праці, що мають історичне значення для дослідження цієї теми.

Результати

Від часу впровадження методи реваскуляризації набули значної клінічної значущості у світі та посіли провідне місце серед найпоширеніших втручань на серці. АВШ є оптимальним методом реваскуляризації міокарда, а низька травматичність ЧКВ сприяє її альтернативному застосуванню у широкого кола пацієнтів із ІХС. В останні роки технології хірургічних та інтервенційних втручань істотно розвинулися.

У 1899 році F. Franck запропонував ідею лікування стенокардії перев'язкою симпатичних нервових шляхів, що призводило до зменшення больового синдрому. Через кілька десятиліть хірурги почали виконувати симпатектомію, що дійсно зменшувала клінічну симптоматику ішемії, але не виликувала пацієнта від ІХС [5].

У 1932 році група науковців на чолі з A. Moritz спричиняли виникнення спайок між перикардом та епікардом, механічно стираючи перикард або засипаючи в його порожнину абразивні речовини (тальк, азбест, пісок, перетерті яловичі кістки) [6]. Як джерело колатеральних судин також використовували тканини людини: грудний м'яз, великий чіпець, легені, ніжку кишківника. Ці органи підшивали до серця, шляхом неоангіогенезу утворювалися нові судини, які проникали в міокард і забезпечували додатковий кровотік до нього.

Усі ці операції були спрямовані на створення додаткових шляхів притоку крові до серця, втім більшість цих методів призводили лише до незначного покращення кровопостачання міокарда.

Технічну можливість проведення операцій з аорто-вінцевого шунтування довів A. Carrel в 1910 році, коли здійснив першу експериментальну спробу коронарної реваскуляризації, з'єднавши низхідну аорту з лівою ВА у собаки та використавши як кондукт частину її власної сонної артерії [7].

Хірург з Італії D. Fieschi в 1939 році застосував перев'язку *a. thoracica interna* (внутрішня грудна артерія,

ВГА) у другому міжребер'ї справа, щоб збільшити притік крові до серця через бічні гілки ВГА та наявні екстракоронарні анастомози. Для посилення ефективності процедури почали виконувати білатеральну перев'язку ВГА. Після проведення такого втручання 95 % пацієнтів відчували зменшення больової симптоматики [8].

У 1946 році хірург з Канади А. Vineberg уперше скелетував ВГА та вшив її в міокард поруч із передньою міжшлуночковою гілкою (ПМШГ). Через п'ять років спостереження майже у 70 % пацієнтів стан помітно покращився, і вони повернулися до роботи; рівень смертності був достатньо низький – 4,3 % [9].

У 1946 р. С. Бек застосував системний аорто-венозний анастомоз, накладаючи його між низхідною аортою та коронарним синусом за допомогою сегмента сонної артерії (перший етап, операція Бек-1), а потім через 2–3 тижні виконував перев'язку коронарного синуса (другий етап, операція Бек-2). Таким чином, кровотік до ВА відбувався у ретроградному напрямку – через вінцеві вени [10]. У 1953 році G. Murray запропонував застосовувати такий анастомоз не з коронарним синусом, а з ВА [11].

У 1953 році В. Деміхов успішно провів експериментальне накладення анастомозу між ВГА та ВА у собаки, а G. Murray виконав таке втручання на людині. У 1960 році R. Goetz та його колеги у шпиталі Ван Еттен, у Бронксі (Нью-Йорк), виконали анастомоз між правою ВА та правою ВА за допомогою безшовної техніки. Для з'єднання судин вони скористалися танталовим кільцем «Rosenak» малого діаметра. Час накладання такого анастомозу надзвичайно короткий – лише приблизно 17 секунд [12]. Однак, це була єдина така операція, яку здійснив R. Goetz.

Перші втручання на ВА виконали С. Bailey і колеги у 1957 році [13]. Це була методика ендартеректомії з ВА, за аналогією з ендартеректомією зі стенової артерії, яку вперше здійснив J. C. Dos Santos з Португалії у 1947 році. У 1961 році A. Senning, хірург зі Швеції, виконав пластику лівої ВА за допомогою перикардіальної латки, збільшивши просвіт стовбура лівої ВА [14]. Через кілька місяців у м. Клівленд (США) D. Effler застосував таку саму техніку перикардіальної патча до лівої та правої ВА [15]. На жаль, коронарна ендартеректомія та пластика не показали переконливих результатів у реваскуляризації міокарда.

Операцію з анастомозування ВГА з ВА з використанням шовної методики накладення анастомозу на серці, що працює, з використанням лівої передньої торакотомії уперше виконав В. Колесов 25 лютого 1964 року [16]. Згодом ця процедура отримала назву мамаро-вінцевий анастомоз, а В. Колесова визнано родоначальником методики прямої реваскуляризації міокарда – мамаро-вінцевого шунтування. З цього часу втручання, які покращували кровотік по ураженій ВА, визначають як прямі методи реваскуляризації міокарда, а інші, які посилюють колатеральне кровопостачання серця, – непрямі.

Пізніше ВГА визначено як золотий стандарт для трансплантації при АВШ, а застосування обох ВГА має перевагу над використанням тільки лівої ВГА. Так, у метааналізі показано: п'ятирічна виживаність трансплантата при білатеральному шунтуванні з залученням обох ВГА становила 85,15 %, а при використанні однієї ВГА – 80,77 %, і ця тенденція зберігалася до 15 років

спостереження; рівень смертності становив 2,41 % проти 1,71 % випадків відповідно, хоча з дещо вищими показниками повторних післяопераційних втручань через кровотечу (3,75 % проти 2,91 % відповідно) та інфекції рани груднини (3,02 % та 1,95 % відповідно) [17]. У рекомендаціях ESC / EACTS з реваскуляризації міокарда показано альтернативне (щодо променевої артерії) використання обох ВГА, яке слід розглядати у пацієнтів, які не мають високого ризику інфекції рани груднини [18].

У США 9 травня 1967 року хірург з Аргентини R. Favaloro виконав першу документально підтверджену операцію з шунтування із застосуванням великої підшкірної вени у 51-річної жінки з повною оклюзією проксимальної третини правої коронарної артерії. Це була операція «венозної інтерпозиції», коли уражену частину правої ВА резектували і протезували аутовеною, накладаючи анастомози за типом кінець у кінець. Особисто R. Favaloro виконав п'ятнадцять таких процедур. Під час п'ятнадцятої операції (19 жовтня 1967 року) йому довелося проксимальну ділянку аутовени вшити у висхідний відділ аорти через анатомічні особливості ураження ВА у пацієнта. Саме така техніка виявилася оптимальною методикою втручання [19]. Тому в галузі кардіохірургії саме R. Favaloro вважають першим хірургом, який почав системно застосовувати операцію аутовенозного АВШ із відтворенням результатом. Порівняно з ендартеректомією та пластикою ВА шматком вени чи перикарда ця операція дає змогу отримати сприятливіші результати.

Мікрохірургічну техніку операції із застосуванням інтраопераційного мікроскопа при накладанні мамаро-вінцевого анастомозу вперше використав G. Green у 1968 році в США [20]. Потім цю методику він поширив і на аутовенозне АВШ. Green G. уперше виконав накладення дистального анастомозу між кондуїтом і ВА за типом кінець у бік, що потім стало стандартом при операціях з шунтування ВА.

Для реваскуляризації під час АВШ може бути використаний венозний та/або артеріальний трансплантат, але віддалені результати прохідності цих кондуїтів відрізняються. Згідно з результатами дослідження F. Loop et al., десятирічна виживаність трансплантата у групі, яка отримувала ліву ВГА до ПМШГ, порівняно з групою, яка отримала аутовену, становила 93,4 % проти 88,0 % для пацієнтів з одностудинним ураженням, 90,0 % проти 79,5 % – з двостудинним ураженням, 82,6 % проти 71,0 % – із трістудинним ураженням. У пацієнтів, які мали лише венозні трансплантати зафіксовано вищі ризики смерті протягом 10 років – у 6,1 раза, пізнього інфаркту міокарда – в 1,41 раза, госпіталізації з приводу серцевих подій – в 1,25 раза, повторної операції – вдвічі, пізніх серцевих подій – в 1,27 раза порівняно з пацієнтами, котрі отримали ВГА як артеріальний графт [21]. Ці дані зумовили доцільність продовження пошуку інших джерел артеріальних трансплантатів.

У 1972 році A. Carpentier вперше використав променеву артерію (*a. radialis*) як трансплантат для АВШ [22]. Вона має показники прохідності до 92 % через рік та 80 % через 5 років, коли шунтована цільова ВА має стеноз понад 90 % [23]. У 15-річному рандомізованому дослідженні RAPCO повідомили про значно нижчі

показники смертності, інфаркту міокарда та повторної реваскуляризації у разі використання для АВШ променевої артерії порівняно з трансплантатами підшкірної вени та правої ВГА [24].

Згідно з рекомендаціями ACC / AHA / SCAI 2021 року з реваскуляризації вінцевих артерій, променеву артерію переважно використовують як трансплантат до другої за значущістю цільової вінцевої артерії після ПМШГ зі значним стенозом. Це зумовлено її вищою прохідністю, зниженням частоти несприятливих серцевих подій і кращою виживаністю [25].

У 1987 році Н. Suma повідомив про застосування правої шлунково-чепцевої артерії (*a. gastroepiploica dextra*) для реваскуляризації міокарда [26]. Її використання можливе для пацієнтів з атеросклеротичним ураженням висхідного відділу аорти та при повторних втручаннях на ВА із залученням мезентеріальних судин для реваскуляризації діафрагмальної поверхні серця. Ця артерія має високу доступність для АВШ, низьку частоту атеросклерозу, достатню пропускну здатність кровотоку та зберігає свою прохідність у 97,1 % випадків через 1 місяць, 92,3 % – через 1 рік, 85,5 % – через 5 років, 80,9 % – через 7 років і 66,5 % пацієнтів через 10 років після операції [27]. У 1990 році L. Puig застосував нижню надчеревну артерію (*a. epigastrica inferior*) та отримав зіставні результати, однак такі артеріальні графти використовують значно рідше, ніж ВГА та променеву артерію [28].

Нині взяття трансплантата для АВШ – мінімально інвазивна процедура з підтримкою ендоскопічної техніки для створення підшкірного тунелю, що дає змогу виконувати точну дисекцію судини, мінімізуючи травму графта та навколишніх тканин.

Ендоскопічний забір великої підшкірної вени вперше описали A. Lumsden et al. у 1996 році [29]. У систематичному огляді ISMICS встановлено, що ендоскопічний метод виокремлення підшкірної вени та променевої артерії як стандарт лікування порівняно з відкритою методикою має не меншу ефективність щодо прохідності, якості та тяжких несприятливих серцевих подій. У разі його використання визначено істотне зниження частоти ранових інфекцій і збільшення задоволеності пацієнтів щодо косметичного ефекту та низького рівня післяопераційного болю. Це дає підстави рекомендувати ендоскопічний забір підшкірної вени та променевої артерії як стандарт лікування порівняно з відкритим способом [30].

Розвиток ендоскопічної техніки отримання графтів призвів до впровадження атравматичного методу взяття підшкірної вени «без дотику» (no touch), що передбачає мінімізацію маніпуляцій із трансплантатом шляхом виділення вени разом із навколишніми периваскулярними тканинами. Згідно з результатами рандомізованого дослідження, виявлено статистично значуще покращення прохідності в групі пацієнтів із використанням техніки «без дотику» порівняно з традиційним методом отримання трансплантатів підшкірної вени, що зберігалось протягом 16 років (83 % проти 64 % випадків відповідно) та зіставне із прохідністю трансплантата лівої ВГА (88 %) [31]. Ця атравматична методика сприяє покращенню прохідності, зменшує гіперплазію інтими та прогресування атеросклерозу в шунті завдяки захисним властивостям оксиду азоту [32]. Цей спосіб виділен-

ня підшкірної вени передбачає також використання ультразвукового скальпеля, який зменшує термічне пошкодження трансплантата [33].

Для артеріальних і венозних кондуїтів характерні прогресивна гіперплазія інтими, спазм, запалення та подальший розвиток атеросклерозу в їхній стінці, виникнення тромбозу та непрохідності шунта, що асоційована з нефатальними серцевими подіями, а також зі смертністю після АВШ [34]. Тому методи забору кондуїтів, збереження їх до реімплантації в коронарний кровообіг і фармакологічна підтримка в інтра- та післяопераційному періоді є головними факторами для збереження структурної, функціональної цілісності та тривалої ефективної роботи графтів [35].

Нині розроблено та активно впроваджують у практику малоінвазивні методи АВШ із застосуванням мінідоступів, відеоасистенції, роботизованої техніки, гібридних підходів у хірургії ВА, виконанням операції на серці, що працює, без використання апарату штучного кровообігу тощо. Для уникнення довгих і травматичних розрізів груднини почали використовувати хірургічний доступ на основі торакотомії. Малоінвазивне пряме аорто-вінцеве шунтування (minimally invasive coronary artery bypass grafting, MIDCAB) розроблено у середині 1990-х років із застосуванням передньої мініторакотомії. Таку процедуру АВШ у 1996 році виконав A. Calafiore (Італія) у 155 пацієнтів з ізольованими ураженнями ПМШГ [36]. Пізніше методику операції MIDCAB стандартизовано й описано V. Subramanian у 2001 році [37]. АВШ з використанням техніки MIDCAB досі широко не застосовують, однак підтверджено безпечність методу та отримано сприятливі показники виживаності у ретельно відібраних пацієнтів. Ці дані обґрунтовують доцільність використання цієї техніки у великих спеціалізованих центрах [38].

Для істотнішого зниження рівня операційної травми кардіохірурги впровадили торакокопічну методику виконання операції АВШ, а згодом – роботизовані технології. Зокрема, розроблено методику операції TECAB (totally endoscopic coronary artery bypass grafting) – повністю ендоскопічне АВШ, коли всі етапи операції виконують у закритій грудній клітці під повним ендоскопічним контролем із роботизованою асистенцією. Вперше таке втручання виконала команда під керівництвом D. Loulmet у Франції в 1998 році [39].

Еволюція роботизованих систем у хірургії відбувалася послідовно від застосування автоматизованої ендоскопічної системи оптичного позиціонування (AESOP, робот-маніпулятор для управління ендоскопом), роботизованої хірургічної системи «Zeus» (робот із кількома маніпуляторами для лапароскопічних втручань), до сучасної та єдиної комерційної клінічно доступної роботизованої хірургічної платформи «da Vinci», що схвалена Управлінням з контролю за харчовими продуктами та лікарськими засобами (FDA) США у 2000 році. Проведення роботизованої процедури АВШ на серці, що працює, стало можливим завдяки успішній розробці хірургічного інструментарію, зокрема стабілізаторів серця та степлера, що роблять можливим і спрощують виконання надважливого для кардіохірургів етапу процедури АВШ – накладення дистального анастомозу між графтом і ВА. Ці заходи забезпечують високий ступінь прохідності трансплантата [40].

Такі малотравматичні хірургічні підходи до ревааскуляризації міокарда мають усі переваги мініінвазивної хірургії, зокрема пов'язані з уникненням стернотомії, меншими за довжиною розрізами, мінімізацією використання штучного кровообігу, зменшеною потребою в переливанні крові, нижчою частотою інфекцій у місці хірургічного втручання, швидшою реабілітацією та вищим рівнем комфорту пацієнта, коротшим періодом відновлення та повернення до повної фізичної активності. Разом із тим, застосування таких технологій обмежене високою вартістю процедур, технічними труднощами, можливостями закладів щодо їх впровадження та недостатністю рандомізованих контрольованих досліджень ефективності та безпеки цих технологій [41].

Порівняно з АВШ стентування є новою методикою ревааскуляризації. Лише через 10 років після застосування аутовенозного АВШ R. Favaloro, у 1977 році A. Grüntzig (Німеччина) описав абсолютно новий метод ревааскуляризації ВА шляхом ендovasкулярної дилатації балонним катетером стенотичного ураження стовбура лівої ВА [42]. Цьому передували роботи C. Dotter, який за допомогою коаксіальних катетерів виконував ендovasкулярну дилатацію стенозованих периферичних судин. Так, у 1964 році він виконав ангіопластику поверхневої стегнової артерії за допомогою системи коаксіальних катетерів і врятував пацієнтку від ампутації нижньої кінцівки [43]. Роботу у цьому напрямі продовжив саме A. Grüntzig, який у 1974 році розробив балонний катетер, що при роздуванні набував форми циліндра, а не кулі. Вибір матеріалу для стінок балона ґрунтувався на результатах численних експериментальних досліджень, які науковець виконав особисто у домашніх умовах. Таким матеріалом став не м'який латекс, як у балонному катетері Фоґарті, який уже широко використовували у судинній хірургії, а більш жорсткий полівінілхлорид. Діаметр цього балонного катетера був завеликим для застосування у ВА, тому його використовували тільки для дилатації периферичних артерій: здухвинних, стегнових і ниркових. Кожен такий балонний катетер виготовляли вручну й індивідуально, під розмір цільової судини конкретного пацієнта.

Через три роки A. Grüntzig вдалося виготовити балонні катетери необхідного розміру для ВА. Ангіопластику ВА дослідник виконав 9 травня 1977 року безпосередньо перед АВШ: інтраопераційно, через відкриту грудну клітку пацієнтам проводили артеріотомію субепікардіальної ВА, всередину її просвіту заводили балонний катетер із наступним його розширенням. Першу черезшкірну коронарну ангіопластику A. Grüntzig виконав 16 вересня 1977 року пацієнтові віком 38 років зі стенозом стовбура лівої ВА, досягнуто сприятливих клінічних результатів [44].

На честь цієї події у 2022 році Організація Об'єднаних Націй проголосила 16 вересня Міжнародним днем інтервенційної кардіології. Таку процедуру A. Grüntzig назвав черезшкірною транслімінальною коронарною ангіопластиком і запровадив низку щорічних курсів для кардіологів з усього світу за новою методикою ревааскуляризації ВА.

Проте невдовзі з'ясувалося, що результат ангіопластики є доволі короткотривалим через розвиток рестенозу у місці втручання. У його основі – процеси негативного

ремоделювання судини разом із проліферацією ендотелію, міграцією гладеньком'язових елементів у неоінтиму, а також прогресування атеросклерозу. Це зумовило необхідність застосування підтримувальних каркасів для судинної стінки після ангіопластики.

Так виникла нова процедура – стентування, що полягає у забезпеченні механічної підтримки стінок артерії шляхом імплантації стента в ділянці бляшки після балонної ангіопластики для збереження достатнього діаметра просвіту артерії, підтримки адекватного кровотоку по ВА, притиснення пошкодженої балоном інтими та запобігання можливому подальшому її відшаруванню через дисекцію, яка завжди виникає при дії балона з високим тиском на стінку судини.

Термін стент, імовірно, походить від імені британського стоматолога C. Stent, відомого за досягненнями в галузі виготовлення зубних зліпків і протезів. У 1964 році C. Dotter розробив концепцію ендovasкулярних шин, запропонував імплантувати їх для підвищення стабільності ураженої артерії та вперше назвав такі пристрої словом стент [45].

Перший коронарний стент, який спочатку називали «коронарний ендопротез», імплантований J. Puel в Університетській лікарні в м. Тулузі (Франція) 26 березня 1986 року та U. Sigwart, у Лозанні (Швейцарія) 12 червня 1986 року. Ці хірурги першими повідомили про клінічне використання стентів для запобігання гострій оклюзії та рестенозу після черезшкірної транслімінальної ангіопластики [46]. Ускладнення стентування вперше описав також U. Sigwart: через 3 місяці після імплантації стента в ПМШГ у пацієнта відновився періодичний біль у грудях, а за даними коронарографії виявлено рестеноз у стенті.

У США у цей період також розробляли та випробовували такі пристрої. Інтервенційний радіолог J. Palmaz винайшов стент, що розширюється балоном. Цей винахід запатентовано та включено до списку 10 найважливіших винаходів людства. J. Palmaz і R. Schatz зменшили розміри стента Palmaz, щоб його можна було використовувати у ВА, та здійснили дослідження на тваринах [47]. У жовтні 1987 року J. Palmaz імплантував перший балонорозширюваний стент пацієнтові в Німеччині. У тому самому році в м. Сан-Паулу (Бразилія) імплантовано перший коронарний стент Palmaz–Schatz.

У цей самий час група вчених з Університету Еморі (Атланта, США) під керівництвом G. Roubin дослідила на тваринах саморозширюваний стент, розроблений S. Gianturco, винахідником оклюзійних спіралей із нітінолу [48]. У результаті досліджень STRESS і BENESTENT доведено, що імплантація стента може значно знизити частоту рестенозу після ангіопластики. Так, у результаті порівняння груп пацієнтів після ангіопластики та після стентування зафіксовано зменшення відсотка рестенозу – з 42,1% до 31,6 % у дослідженні STRESS і з 32 % до 22 % у BENESTENT відповідно. Виявлено зниження частоти небажаних клінічних подій через 6 місяців і зменшення необхідності у повторній ревааскуляризації, але зафіксовано більшу кількість судинних ускладнень у місці доступу (гематома, кровотеча) та триваліше перебування пацієнта в стаціонарі [49,50].

Після цих досліджень стент Palmaz–Schatz затверджено FDA у 1994 році для клінічного застосування, а

стент Gianturco–Roubin схвалений цією організацією лише у 2002 році [51].

Незважаючи на такі позитивні результати стентування ВА, відсоток рестенозу в стенті все одно становив 20–40 %. Клінічно це призводило до повторних ішемічних епізодів, що найчастіше потребують повторної ревааскуляризації. Тригером рестенозу під час стентування є місцева запальна реакція у відповідь на баротравму стінки судини з агресивною гіперплазією ендотелію, гладеньком'язових клітин, фібробластів. Вирішити цю проблему дослідники намагалися шляхом застосування інших матеріалів і сплавів для каркасу стента, зменшення товщини його балок, використання антипроліферативних речовин, які наносили на стент для тривалої місцевої цитостатичної дії на ендотелій судини і полімерних матеріалів, що сприяли поступовому контрольованому вивільненню фармакологічних препаратів у стінку судини.

Стенти можуть бути ефективними системами для цільової доставки ліків, оскільки забезпечують точкове, місцеве вивільнення активного інгредієнта в зону пошкодження стінки судини. Крім того, препарат, що вивільняється зі стента, може пригнічувати складний каскад подій, які призводять до покриття стента шаром неоінтими. Потенційними цілями такого впливу є обмеження проліферації клітин неоінтими та міграції гладеньком'язових клітин із медії (антипроліферативна й антиміграційна функції), пригнічення запальних механізмів (протизапальна функція), що пов'язані з процесом загоєння, а також стимуляція процесів відновлення судини (репаративна функція).

У 1999 році Е. Sousa (Бразилія) імплантував перший стент із покриттям сиролімусом, який уже з 2002 року став клінічно доступним. Так з'явилися стенти з лікувальним покриттям (drug-eluting stent, DES), які пройшли кілька етапів розвитку, адже нині застосовують платформи третьої генерації, що вкриті біорозкладним полімером – біолімусом [52]. Запровадження в клінічну практику DES порівняно з голометалевими стентами (bare-metal stent, BMS) сприяло покращенню результатів ЧКВ, оскільки дало змогу знизити рівень рестенозу в стенті та частоту повторних ревааскуляризацій [53].

Ще одним обмеженням стентування є наявність чужорідного металевго каркасу, який залишається всередині судини та безпосередньо контактує з її стінками та елементами крові, потенційно підвищуючи ризики гострого чи підгострого тромбозу стента. Подолання цього ризику обґрунтовує застосування й удосконалення антитромбоцитарних препаратів і призначення подвійної антитромбоцитарної терапії після процедури стентування як стандарту ведення пацієнтів після ЧКВ. Склад і тривалість подвійної антитромбоцитарної терапії значно змінилися за останні роки, трансформувалися в індивідуальну стратегію, що ґрунтується на визначенні ризику ішемії та кровотечі з індивідуальним балансуванням між ними [54].

Крім того, техніка імплантації стента з високим тиском у балоні різко знизилася частоту підгострого тромбозу стента. Використання сучасних технологічних методів внутрішньокоронарної візуалізації під час процедури ЧКВ дає змогу виявляти ускладнення під час імплантації стента, вживати заходів для усунення цих проблем; це також сприяє покращенню результатів стентування [55].

Як перспективні напрями розвитку технології стентування вивчали біодеградувальні стенти на основі полімолочної кислоти (Poly-L-lactic acid, PLLA), що могли би сприяти резорбції металевго каркаса з ВА та звільненню стінки судини від стороннього тіла для забезпечення її нормального фізіологічного функціонування. Однак, на жаль, вони асоційовані з високими показниками післяпроцедурних ускладнень. Такі стенти певний час використовували в клінічній практиці, але нині їх виробництво припинене, хоча експериментальні дослідження біодеградувальних каркасів із полімолочної, полігліколевої кислоти, магнію та його сплавів продовжуються [56].

Сучасні стент-системи мають нові технологічні платформи для доставки лікарського препарату, який поступово вивільняється завдяки біорозкладному полімеру. Вони мають вищі показники безпеки, керованості та доставки. Процедура стентування також зазнала значних змін, передбачає ретельну підготовку місця встановлення стента й оптимізацію його розширення після імплантації [57]. Застосування методів внутрішньокоронарної візуалізації рекомендоване під час ЧКВ у пацієнтів з ураженням стовбура лівої ВА й анатомічно складними змінами, незалежно від клінічного синдрому [58].

Окремо слід розглянути безстентову методику доставки ліків – елютовані балонні катетери (drug-eluting balloon, DEB). Мета лікування передбачає місцеву доставку ліків до судинної стінки за короткий проміжок часу, коли балон роздувається і притискається до інтими без імплантації постійного металевго каркасу в судину. Фактично, замість армування судини стентом ця технологія реалізує принцип «leave nothing behind» – не залишати нічого після себе (металу у стінці судини).

Забезпечуючи гомогенну доставку антипроліферативних препаратів без використання металевих і полімерних каркасів у ВА, DEB мають переваги над технологією DES, зокрема сприяють збереженню анатомії та функції судин, не спричиняють хронічного запалення й уповільненого загоєння ендотелію, а також забезпечують можливість позитивного ремоделювання ВА після такої «безстентової» процедури [59]. Такі балонні катетери повинні мати достатню гнучкість, тонкі стінки і високу механічну міцність.

Критичним параметром безпеки й ефективності нанесеного на балон лікарського препарату є те, що він має вивільнятися рівномірно з бажаною швидкістю за короткий період часу і без втрати ефективності. Успішне застосування DEB потребує також ретельної підготовки атеросклеротичного ураження перед аплікацією балонном із лікарським покриттям. Нині DEB застосовують для лікування ІХС *de novo*, рестенозів у стентах, захворювань дрібних судин, довгих, біфуркаційних і дифузних уражень, після реканалізації хронічних тотальних оклюзій ВА [60]. Крім того, пацієнти з високим ризиком кровотечі, діабетом і гострим коронарним синдромом також можуть отримати певну користь від ангіопластики з використанням DEB [61]. Втім, незважаючи на потенційні клінічні переваги платформи DEB, їх широке впровадження у повсякденну практику нині ускладнене, і головним чином через суттєво вищу вартість порівняно з DES.

Окремим напрямом розвитку стентів є створення на їхній основі ендопротезів з оболонкою – стент-графтів. Така конструкція дає змогу надійно відділяти від внутрішнього просвіту судини та кровотоку порожнину можливої аневризми чи зону пошкодженої стінки судини.

Видатний хірург із м. Харків професор М. Л. Володось у 1984 році першим у світі створив і запатентував модель самофіксувального синтетичного ендопротеза. Професор використав його у клінічній практиці 4 травня 1985 року під час дистанційного протезування лівої здухвинної артерії у пацієнта з атеросклеротичним стенозним ураженням. У прооперованого хворого досягнуто позитивних клінічних результатів. Це був так званий металевий Z-стент, який замкнутим кільцем розміщували на обох кінцях лінійного синтетичного судинного протеза для надійної фіксації до стінок судини. Під час процедури використано також оригінальну розробку транспортної системи, що необхідна для забезпечення доставки та розташування пристрою у просвіті ураженої судини [62]. Професор М. Л. Володось розробив та успішно виконав різні варіанти ендovasкулярного протезування при аневризмах і стенозних ураженнях аорти різних локалізацій і ґенезу.

Практичне використання стент-графтів набуває все більшого поширення у пацієнтів з аневризмою грудного / черевного відділу аорти та периферичних судин, при клапанних вадах серця, артеріо-венозних норицях, пошкодженнях стінки судин, зокрема і ВА. Імплантація ендопротезів має нижчий рівень травми, інфекції, болю та перипроцедурної смертності порівняно з відкритим хірургічним відновленням, хоча потребує ретельного відбору пацієнтів для виконання процедури за анатомічними критеріями та регулярного спостереження в післяопераційному періоді [63].

Крім стентів і балонів, розроблено технології транскатетерного лікування атеросклерозу ВА з використанням катетера, за допомогою якого можна руйнувати атеросклеротичні бляшки зсередини судини, застосовуючи механічну силу, лазерне опромінення чи ультразвук.

У 1988 році J. Simpson ввів поняття атеректомії (видалення атеросклеротичних бляшок), розробив методику прямої атеректомії та впровадив її в клінічну практику [64]. Високошвидкісна ротаційна атеректомія, що розроблена D. Hansen та D. Auth, виявилася ефективною при вираженій кальцифікації, ексцентричному, біфуркаційному та дифузному ураженні, звивистості та малому калібрі ВА, тобто при підвищеній складності ураження та ризиках інтервенційного втручання, хоча частота рестенозу була зрівняна з традиційною балонною ангіопластикою [65].

Останньою розробкою у цьому напрямі є технологія внутрішньосудинної літотрипсії «Shok-wave» із застосуванням балонного катетера, який діє на кальциновані бляшки у ВА шляхом ударно-хвильового впливу, руйнуючи кальцій у стінці судини [66]. Використання таких високотехнологічних методів розширює можливості інтервенційних кардіологів для лікування значно кальцинованих і складних уражень ВА під час процедури ЧКВ [67]. На жаль, обладнання є високовартісним, і використання цих пристроїв в Україні нині залишається обмеженим.

Реваскуляризація міокарда, яку виконують не за чіткими показаннями, може значно нашкодити пацієнту. Так, лікування гемодинамічно незначущих уражень за

допомогою АВШ може призвести до прогресування основної ІХС, а невідповідне використання ЧКВ може збільшити частку перипроцедурних інфарктів міокарда [68]. Реваскуляризацію рекомендують для пацієнтів із хронічним коронарним синдромом, які на фоні ОМТ мають симптоми стенокардії та/або у яких реваскуляризація може покращити прогноз. Така реваскуляризація є терапією другої лінії після того, як ОМТ виявилася недостатньою.

АВШ має переваги щодо ЧКВ у пацієнтів із тяжким атеросклеротичним ураженням (багатосудинна хвороба, стеноз стовбура лівої вінцевої артерії, супутній цукровий діабет), анатомічно більш складною ВА та з дисфункцією лівого шлуночка, а також у тих, хто не має тяжких супутніх захворювань, слабкості або обмеженої очікуваної тривалості життя [69]. Покращені результати внаслідок виконання АВШ значною мірою зумовлені зниженням ризику спонтанного інфаркту міокарда та повторної реваскуляризації порівняно з ЧКВ [70].

Відмінності між цими методами реваскуляризації за впливом на зниження частоти серцевих подій пов'язують із суттєвою різницею механізмів, за допомогою яких процедури покращують кровотік у цільовій судині. ЧКВ безпосередньо усуває звуження та збільшує просвіт лише в окремому, локальному сегменті ураженої ВА. Надалі процедура не впливатиме на запобігання прогресуванню атеросклерозу або розриву бляшки в інших уражених сегментах цієї ВА. Шунтування створює альтернативний шлях для крові, фактично забезпечуючи «хірургічну колатералізацію», збільшуючи вінцевий кровотік і захищаючи дистальні відділи міокарда від майбутнього можливого ішемічного впливу, зумовленого прогресуванням атеросклеротичного процесу або розривом бляшки у проксимальному сегменті шунтованої артерії [71].

ЧКВ є методом вибору для лікування гострого коронарного синдрому при гемодинамічній нестабільності. При хронічному коронарному синдромі ЧКВ рекомендоване для осіб, які мають надмірний хірургічний ризик, з обмеженою очікуваною тривалістю життя, тяжкими вихідними супутніми захворюваннями та слабкістю. Інвазивна стратегія у таких пацієнтів пов'язана з меншою кількістю реваскуляризацій і полегшенням симптомів стенокардії [72]. При цьому рішення про стентування треба ухвалювати за даними щодо критичності стенозу та його гемодинамічної значущості (стеноз ВА >90 % або фракційний резерв кровотоку $\leq 0,80$) [3].

Для отримання максимальної користі від реваскуляризації під час АВШ слід використовувати множинні артеріальні трансплантати, включно з ВГА та променевою артерією, а при ЧКВ рекомендована пункція променевої артерії та використання стентів із лікувальним покриттям під контролем внутрішньосудинної візуалізації [25,73].

Отже, реваскуляризація міокарда доцільна, коли очікувана користь щодо виживання пацієнта або клінічних результатів такого втручання (полегшення симптомів, поліпшення функціонального стану або якості життя) перевищує очікувані негативні наслідки процедури. Вибір методу втручання (ЧКВ або АВШ) має залежати від оцінки співвідношення ризику та користі цих видів лікування. Вибір між АВШ і ЧКВ залежить від анатомічної складності та функціональної тяжкості ІХС, а також від

супутніх захворювань, уподобань та очікувань пацієнта. Рішення щодо цього ухвалює мультидисциплінарна серцева команда (Heart Team) з інформуванням пацієнта про доступні процедури, їхні переваги та ризики; хворого залучають до цього процесу та враховують його індивідуальні особливості та побажання.

Висновки

1. Враховуючи зниження якості життя, толерантності до фізичних навантажень і ризик розвитку несприятливих серцевих подій, що призводять до погіршення стану та підвищення смертності пацієнтів із хронічною ІХС, необхідною умовою їх ведення є застосування ефективних методів лікування та профілактики цього захворювання.

2. Можливості покращення результатів лікування залежать від правильного вибору стратегії – лише консервативної або поєднаної з хірургічними методами корекції вінцевого кровотоку.

3. Реваскуляризація міокарда як доповнення до оптимальної медикаментозної терапії залишається ключовою стратегією лікування для полегшення симптомів, покращення якості життя та досягнення сприятливих віддалених клінічних результатів у пацієнтів із хронічною ІХС.

Перспективи подальших досліджень. Враховуючи поширеність і високий рівень смертності пацієнтів із ІХС, необхідно продовжити дослідження щодо вибору серцевою командою лікувальної стратегії, а також для визначення чітких показань до медикаментозного, хірургічного чи ендоваскулярного лікування.

Фінансування

Дослідження здійснено без фінансової підтримки.

Конфлікт інтересів: відсутній.

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

Надійшла до редакції / Received: 23.01.2026

Після доопрацювання / Revised: 25.03.2026

Схвалено до друку / Accepted: 31.03.2026

Відомості про авторів:

Губка В. О., д-р мед. наук, професор, 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

Information about the authors:

Hubka V. O., MD, PhD, DSc, Professor, 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.



Юрій Вайло (Yurii Vailo)
vaylo.25@live.com

References

1. Timmis A, Vardas P, Townsend N, Torbica A, Katus H, De Smedt D, et al. European Society of Cardiology: cardiovascular disease statistics. *Eur Heart J*. 2021;43(8):716-99. doi: [10.1093/eurheartj/ehab892](https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehab892)
2. Virani SS, Newby LK, Arnold SV, Bittner V, Brewer LC, Demeter SH, et al. 2023 AHA/ACC/ACCP/ASPC/NLA/PCNA Guideline for the Management of Patients With Chronic Coronary Disease: A Report of the American Heart Association/American College of Cardiology Joint Committee on Clinical Practice Guidelines. *Circulation*. 2023;148(9):e9-e119. doi: [10.1161/CIR.0000000000001168](https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000001168)
3. Vrints C, Andreotti F, Koskinas KC, Rossello X, Adamo M, Ainslie J, et al. 2024 ESC Guidelines for the management of chronic coronary syndromes. *Eur Heart J*. 2024;45(36):3415-537. doi: [10.1093/eurheartj/ehae177](https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehae177)
4. Pham V, Moroni A, Gall E, Benedetti A, Zivelonghi C, Picard F. Revascularization and Medical Therapy for Chronic Coronary Syndromes: Lessons Learnt from Recent Trials, a Literature Review. *J Clin Med*. 2023;12(8):2833. doi: [10.3390/jcm12082833](https://doi.org/10.3390/jcm12082833)
5. Head SJ, Milojevic M, Taggart DP, Puskas JD. Current Practice of State-of-the-Art Surgical Coronary Revascularization. *Circulation*. 2017;136(14):1331-1345. doi: [10.1161/CIRCULATIONAHA.116.022572](https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.116.022572)
6. Moritz AR, Hudson CL, Orgain ES. Augmentation of the extracardiac anastomoses of the coronary arteries through pericardial adhesions. *J Exp Med*. 1932;56(6):927-31. doi: [10.1084/jem.56.6.927](https://doi.org/10.1084/jem.56.6.927)
7. Carrel A. On the Experimental Surgery of the Thoracic Aorta and Heart. *Ann Surg*. 1910;52(1):83-95. doi: [10.1097/00000658-191007000-00009](https://doi.org/10.1097/00000658-191007000-00009)
8. Battezzati M, Tagliaferro A, Cattaneo AD. Clinical evaluation of bilateral internal mammary artery ligation as treatment of coronary heart disease. *J Am Cardiol*. 1959;4(2):180-3. doi: [10.1016/0002-9149\(59\)90245-0](https://doi.org/10.1016/0002-9149(59)90245-0)
9. Vineberg A, Munro DD, Cohen H, Buller W. Four years' clinical experience with internal mammary artery implantation in the treatment of human coronary artery insufficiency including additional experimental studies. *J Thorac Surg*. 1955;29(1):1-36. doi: [10.1016/S0096-5588\(20\)30730-3](https://doi.org/10.1016/S0096-5588(20)30730-3)
10. Beck CS, Stanton E, et al. Revascularization of heart by graft of systemic artery into coronary sinus. *J Am Med Assoc*. 1948;137(5):436-42. doi: [10.1001/jama.1948.02890390014003](https://doi.org/10.1001/jama.1948.02890390014003)
11. Murray G, Hilario J, Porcheron R, Roschlau W. Surgery of coronary heart disease. *Angiology*. 1953;4(6):526-31. doi: [10.1177/000331975300400608](https://doi.org/10.1177/000331975300400608)
12. Goetz RH, Rohman M, Haller JD, Dee R, Rosenak SS. Internal mammary-coronary artery anastomosis: A nonsuture method employing tantalum rings. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 1961;41(3):378-86. doi: [10.1016/S0022-5223\(20\)31701-3](https://doi.org/10.1016/S0022-5223(20)31701-3)
13. Bailey CP, May A, Lemmon WM. Survival after coronary endarterectomy in man. *J Am Med Assoc*. 1957;164(6):641-46. doi: [10.1001/jama.1957.02980060017005](https://doi.org/10.1001/jama.1957.02980060017005)
14. Senning A. Strip grafting in coronary arteries. Report of a case. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 1961;41(4):542-9. doi: [10.1016/S0022-5223\(20\)31685-8](https://doi.org/10.1016/S0022-5223(20)31685-8)
15. Effler DB, Groves LK, Sones Jr FM, Shirey EK. Endarterectomy in the treatment of coronary artery disease. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 1964;47(1):98-108. doi: [10.1016/S0022-5223\(19\)33522-6](https://doi.org/10.1016/S0022-5223(19)33522-6)
16. Kolessov VI. Mammary artery-coronary artery anastomosis as method of treatment for angina pectoris. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 1967;54(4):535-44. doi: [10.1016/S0022-5223\(19\)43061-4](https://doi.org/10.1016/S0022-5223(19)43061-4)
17. Parissis H, Ahmed S, Al Nasir J, Kha, J, Ferwana M. Bilateral versus single internal mammary artery in diabetic patients: systematic review and meta-analysis. *Asian Cardiovasc Thorac Ann*. 2023;31(9):781-94. doi: [10.1177/02184923231209364](https://doi.org/10.1177/02184923231209364)
18. Neumann FJ, Sousa-Uva M, Ahlsson A, Alfonso F, Banning AP, Benedetto U, et al. 2018 ESC/EACTS Guidelines on myocardial revascularization. *Eur Heart J*. 2018;40(2):87-165. doi: [10.1093/eurheartj/ehy394](https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehy394)
19. Favaloro RG. Saphenous vein autograft replacement of severe segmental coronary artery occlusion: operative technique. *Ann Thorac Surg*. 1968;5(4):334-9. doi: [10.1016/s0003-4975\(10\)66351-5](https://doi.org/10.1016/s0003-4975(10)66351-5)
20. Green GE, Stertzer SH, Gordon RB, Tice DA. Anastomosis of the internal mammary artery to the distal left anterior descending coronary artery. *Circulation*. 1970;41(5 Suppl), II79-II85. doi: [10.1161/01.cir.41.5s2.ii-79](https://doi.org/10.1161/01.cir.41.5s2.ii-79)
21. Loop FD, Lytle BW, Cosgrove DM, Stewart RW, Goormastic M, Williams GW, et al. Influence of the internal-mammary-artery graft on 10-year survival and other cardiac events. *N Engl J Med*. 1986;314(1):1-6. doi: [10.1056/NEJM198601023140101](https://doi.org/10.1056/NEJM198601023140101)
22. Carpentier A, Guermontprez JL, Deloche A, Frechette C, DuBost C. The aorta-to-coronary radial artery bypass graft. A technique avoiding

- pathological changes in grafts. *Ann Thorac Surg.* 1973;16(2):111-21. doi: [10.1016/s0003-4975\(10\)65825-0](https://doi.org/10.1016/s0003-4975(10)65825-0)
23. Maestri F, Formica F, Galligani A, Gripsi F, Nicolini F. Radial Artery Versus Saphenous Vein as Third Conduit in Coronary Artery Bypass Graft Surgery for Multivessel Coronary Artery Disease: a Ten-Year Literature Review. *Acta Biomed.* 2022;93(2):e2022049. doi: [10.23750/abm.v93i2.11370](https://doi.org/10.23750/abm.v93i2.11370)
 24. Hamilton GW, Raman J, Moten S, Matalanis G, Rosalion A, Dimagli A, et al. Radial artery vs. internal thoracic artery or saphenous vein grafts: 15-year results of the RAPCO trials. *Eur Heart J.* 2023;44(26):2406-8. doi: [10.1093/eurheartj/ehad108](https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehad108)
 25. Lawton JS, Tamis-Holland JE, Bangalore S, Bates ER, Beckie TM, Bischoff JM, et al. 2021 ACC/AHA/SCAI Guideline for Coronary Artery Revascularization: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Joint Committee on Clinical Practice Guidelines. *Circulation.* 2022;145(3):e18-e114. doi: [10.1161/CIR.0000000000001038](https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000001038)
 26. Suma H, Fukumoto H, Takeuchi A. Coronary artery bypass grafting by utilizing in situ right gastroepiploic artery: basic study and clinical application. *Ann Thorac Surg.* 1987;44(4):394-7. doi: [10.1016/s0003-4975\(10\)63799-x](https://doi.org/10.1016/s0003-4975(10)63799-x)
 27. Suma H, Tanabe H, Takahashi A, Horii T, Isomura T, Hirose H, et al. Twenty years experience with the gastroepiploic artery graft for CABG. *Circulation.* 2007;116(11 Suppl):1188-1191. doi: [10.1161/CIRCULATIONAHA.106.678813](https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.106.678813)
 28. Gaudino M, Bakaeen FG, Sandner S, Aldea GS, Arai H, Chikwe J, et al. Expert systematic review on the choice of conduits for coronary artery bypass grafting: endorsed by the European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS) and The Society of Thoracic Surgeons (STS). *Eur J Cardiothorac Surg.* 2023;64(2):ezad163. doi: [10.1093/ejcts/ezad163](https://doi.org/10.1093/ejcts/ezad163)
 29. Lumsden AB, Eaves FF 3rd, Ofenloch JC, Jordan WD. Subcutaneous, video-assisted saphenous vein harvest: report of the first 30 cases. *Cardiovasc Surg.* 1996;4(6):771-6. doi: [10.1016/s0967-2109\(96\)00055-5](https://doi.org/10.1016/s0967-2109(96)00055-5)
 30. Ferdinand FD, MacDonald JK, Balkhy HH, Bisleri G, Hwang HY, Northrup P, et al. Endoscopic Conduit Harvest in Coronary Artery Bypass Grafting Surgery: An ISMICS Systematic Review and Consensus Conference Statements. *Innovations (Phila).* 2017;12(5):301-19. doi: [10.1097/IMI.0000000000000410](https://doi.org/10.1097/IMI.0000000000000410)
 31. Samano N, Geijer H, Liden M, Fremes S, Bodin L, Souza D. The no-touch saphenous vein for coronary artery bypass grafting maintains a patency, after 16 years, comparable to the left internal thoracic artery: A randomized trial. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2015;150(4):880-8. doi: [10.1016/j.jtcvs.2015.07.027](https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2015.07.027)
 32. Saito T, Kurazumi H, Suzuki R, Matsunaga K, Tsubone S, Lv B, et al. Perivascular Adipose Tissue Is a Major Source of Nitric Oxide in Saphenous Vein Grafts Harvested via the No-Touch Technique. *J Am Heart Assoc.* 2022;11(3):e020637. doi: [10.1161/JAHA.120.020637](https://doi.org/10.1161/JAHA.120.020637)
 33. Sakurai H, Someya T, Yamamoto S, Kasahara I, Kuroki H, Shirai T. Short-Term Evaluation of a Novel No-Touch Technique for Harvesting Saphenous Veins With Long-Shafted Ultrasonic Scalpel. *Innovations (Phila).* 2022;17(1):56-63. doi: [10.1177/15569845221074463](https://doi.org/10.1177/15569845221074463)
 34. Gaudino M, Di Franco A, Bhatt DL, Alexander JH, Abbate A, Azzalini L, et al. The association between coronary graft patency and clinical status in patients with coronary artery disease. *Eur Heart J.* 2021;42(14):1433-41. doi: [10.1093/eurheartj/ehab096](https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehab096)
 35. Sandner S, Antoniadou C, Caliskan E, Czerny M, Dayan V, Fremes SE, et al. Intra-operative and post-operative management of conduits for coronary artery bypass grafting: a clinical consensus statement of the European Society of Cardiology Working Group on Cardiovascular Surgery and the European Association for Cardio-Thoracic Surgery Coronary Task Force. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2024;66(6):eae400. doi: [10.1093/ejcts/ezae400](https://doi.org/10.1093/ejcts/ezae400)
 36. Calafiore AM, Giammarco GD, Teodori G, Bosco G, D'Annunzio E, Barsotti A, et al. Left anterior descending coronary artery grafting via left anterior small thoracotomy without cardiopulmonary bypass. *Ann Thorac Surg.* 1996;61(6):1658-65. doi: [10.1016/0003-4975\(96\)00187-7](https://doi.org/10.1016/0003-4975(96)00187-7)
 37. Subramanian VA, Patel NU. Current status of MIDCAB procedure. *Curr Opin Cardiol.* 2001;16(5):268-70. doi: [10.1097/00001573-200109000-00002](https://doi.org/10.1097/00001573-200109000-00002)
 38. Sef D, Thet MS, Hashim SA, Kikuchi K. Minimally Invasive Coronary Artery Bypass Grafting for Multivessel Coronary Artery Disease: A Systematic Review. *Innovations (Phila).* 2024;19(4):351-9. doi: [10.1177/15569845241265867](https://doi.org/10.1177/15569845241265867)
 39. Loulmet D, Carpentier A, d'Attellis N, Berrebi A, Cardon C, Ponzio O, et al. Endoscopic coronary artery bypass grafting with the aid of robotic assisted instruments. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 1999;118(1):4-10. doi: [10.1016/S0022-5223\(99\)70133-9](https://doi.org/10.1016/S0022-5223(99)70133-9)
 40. Balkhy HH, Wann LS, Krienbring D, Arnsdorf SE. Integrating coronary anastomotic connectors and robotics toward a totally endoscopic beating heart approach: review of 120 cases. *Ann Thorac Surg.* 2011;92(3):821-7. doi: [10.1016/j.athoracsur.2011.04.103](https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2011.04.103)
 41. Fatehi Hassanabad A, Kang J, Maitland A, Adams C, Kent W. Review of Contemporary Techniques for Minimally Invasive Coronary Revascularization. *Innovations (Phila).* 2021;16(3):231-43. doi: [10.1177/15569845211010767](https://doi.org/10.1177/15569845211010767)
 42. Grüntzig AR, Senning A, Siegenthaler WE. Nonoperative dilatation of coronary-artery stenosis: percutaneous transluminal coronary angioplasty. *N Engl J Med.* 1979;301(2):61-8. doi: [10.1056/NEJM197907123010201](https://doi.org/10.1056/NEJM197907123010201)
 43. Dotter CT, Judkins MP. Transluminal treatment of arteriosclerotic obstruction: description of a new technic and a preliminary report of its application. *Circulation.* 1964;30(5):654-70. doi: [10.1161/01.cir.30.5.654](https://doi.org/10.1161/01.cir.30.5.654)
 44. Barton M, Grüntzig J, Husmann M, Rösch J. Balloon Angioplasty – The Legacy of Andreas Grüntzig, M.D. (1939-1985). *Front Cardiovasc Med.* 2014;1:15. doi: [10.3389/fcvm.2014.00015](https://doi.org/10.3389/fcvm.2014.00015)
 45. Dotter CT, Buschmann RW, McKinney MK, Rösch J. Transluminal expandable nitinol coil stent grafting: preliminary report. *Radiology.* 1983;147(1):259-60. doi: [10.1148/radiology.147.1.6828741](https://doi.org/10.1148/radiology.147.1.6828741)
 46. Sigwart U, Puel J, Mirkovitch V, Joffe F, Kappenberger L. Intravascular stents to prevent occlusion and restenosis after transluminal angioplasty. *N Engl J Med.* 1987;316(12):701-6. doi: [10.1056/NEJM198703193161201](https://doi.org/10.1056/NEJM198703193161201)
 47. Schatz RA, Palmaz JC, Tio FO, Garcia F, Garcia O, Reuter SR. Balloon-expandable intracoronary stents in the adult dog. *Circulation.* 1987;76(2):450-7. doi: [10.1161/01.cir.76.2.450](https://doi.org/10.1161/01.cir.76.2.450)
 48. Roubin GS, Robinson KA, King SB 3rd, Gianturco C, Black AJ, Brown JE, et al. Early and late results of intracoronary arterial stenting after coronary angioplasty in dogs. *Circulation.* 1987;76(4):891-7. doi: [10.1161/01.cir.76.4.891](https://doi.org/10.1161/01.cir.76.4.891)
 49. Serruys PW, de Jaegere P, Kiemeneij F, Macaya C, Rutsch W, Heyndrickx G, et al. A comparison of balloon-expandable-stent implantation with balloon angioplasty in patients with coronary artery disease. Benestent Study Group. *N Engl J Med.* 1994;331(8):489-95. doi: [10.1056/NEJM199408253310801](https://doi.org/10.1056/NEJM199408253310801)
 50. Fischman DL, Leon MB, Baim DS, Schatz RA, Savage MP, Penn I, et al. A randomized comparison of coronary-stent placement and balloon angioplasty in the treatment of coronary artery disease. Stent Restenosis Study Investigators. *N Engl J Med.* 1994;331(8):496-501. doi: [10.1056/NEJM199408253310802](https://doi.org/10.1056/NEJM199408253310802)
 51. Roguin A. Stent: the man and word behind the coronary metal prosthesis. *Circ Cardiovasc Interv.* 2011;4(2):206-9. doi: [10.1161/CIRCINTERVENTIONS.110.960872](https://doi.org/10.1161/CIRCINTERVENTIONS.110.960872)
 52. Condello F, Spaccarotella C, Sorrentino S, Indolfi C, Stefanini GG, Polimeni A. Stent Thrombosis and Restenosis with Contemporary Drug-Eluting Stents: Predictors and Current Evidence. *J Clin Med.* 2023;12(3):1238. doi: [10.3390/jcm12031238](https://doi.org/10.3390/jcm12031238)
 53. Frederiks P, Castaldi G, McCutcheon K, Bennett J. Platinum chromium everolimus-eluting stents for the treatment of (complex) coronary artery disease; from SYNERGY™ to the MEGATRON™. *Expert Rev Med Devices.* 2024;21(7):601-11. doi: [10.1080/17434440.2024.2353722](https://doi.org/10.1080/17434440.2024.2353722)
 54. Landi A, De Servi S, De Luca L. Aspirin-free strategies after percutaneous coronary intervention: Old habits, consolidated evidence and future perspectives. *Eur J Intern Med.* 2025;133:35-8. doi: [10.1016/j.ejim.2025.01.012](https://doi.org/10.1016/j.ejim.2025.01.012)
 55. Mitsis A, Eftychiou C, Kadoglou NPE, Theodoropoulos KC, Karagiannis E, Nasoufidou A, et al. Innovations in Intracoronary Imaging: Present Clinical Practices and Future Outlooks. *J Clin Med.* 2024;13(14):4086. doi: [10.3390/jcm13144086](https://doi.org/10.3390/jcm13144086)
 56. Bergmann MW. Incremental Steps Toward the Holy Grail of Contemporary PCI: Leave Nothing Behind! *JACC Asia.* 2025;5(12):1587-9. doi: [10.1016/j.jacasi.2025.09.007](https://doi.org/10.1016/j.jacasi.2025.09.007)
 57. Parker W. Evolution of coronary stents: innovations, antithrombotic strategies and future directions. *Heart.* 2025;111(16):753-62. doi: [10.1136/heartjnl-2024-324744](https://doi.org/10.1136/heartjnl-2024-324744)
 58. McGarvey M, Silva K, Keeble TR, Johnson TW, O'Kane P, Ali ZA, et al. Lesion stratification with intracoronary imaging. *EuroIntervention.* 2026;22(2):e74-e89. doi: [10.4244/EIJ-D-25-00266](https://doi.org/10.4244/EIJ-D-25-00266)
 59. Marchetta M, Sasso S, Paragliola V, Maffi V, Chiricolo G, Massaro G, et al. Leaving Nothing Behind: Expanding the Clinical Frontiers of Drug-Coated Balloon Angioplasty in Coronary Artery Disease. *J Cardiovasc Dev Dis.* 2025;12(5):176. doi: [10.3390/jcdd12050176](https://doi.org/10.3390/jcdd12050176)
 60. Lu K, Ye X, Chen Y, Wang P, Gong M, Xuan B, et al. Research progress of drug eluting balloon in arterial circulatory system. *Front Cardiovasc Med.* 2024;11:1287852. doi: [10.3389/fcvm.2024.1287852](https://doi.org/10.3389/fcvm.2024.1287852)
 61. Camaj A, Leone PP, Colombo A, Vinayak M, Stone GW, Mehran R, et al. Drug-Coated Balloons for the Treatment of Coronary Artery Disease: A Review. *JAMA Cardiol.* 2025;10(2):189-98. doi: [10.1001/jamacardio.2024.4244](https://doi.org/10.1001/jamacardio.2024.4244)
 62. Volodos NL. Historical perspective: The first steps in endovascular aortic repair: how it all began. *J Endovasc Ther.* 2013;20 Suppl 1:I3-I23. doi: [10.1583/1545-1550-20.sp1.1-3](https://doi.org/10.1583/1545-1550-20.sp1.1-3)
 63. Ali Z, Kim L, Gupta K. Endovascular Abdominal Aortic Aneurysm Repair. *Interv Cardiol Clin.* 2025;14(2):173-90. doi: [10.1016/j.iccl.2024.11.005](https://doi.org/10.1016/j.iccl.2024.11.005)

64. Simpson JB, Selmon MR, Robertson GC, Cipriano PR, Hayden WG, Johnson DE, et al. Transluminal atherectomy for occlusive peripheral vascular disease. *Am J Cardiol.* 1988;61(14):96G-101G. doi: [10.1016/s0002-9149\(88\)80040-7](https://doi.org/10.1016/s0002-9149(88)80040-7)
65. Hansen DD, Auth DC, Hall M, Ritchie JL. Rotational endarterectomy in normal canine coronary arteries: preliminary report. *J Am Coll Cardiol.* 1988;11(5):1073-7. doi: [10.1016/s0735-1097\(98\)90067-5](https://doi.org/10.1016/s0735-1097(98)90067-5)
66. Wang Q, Ma W, Zhang D, Zhang W, An J, Dou K, et al. Effectiveness and Safety of a Novel Intravascular Lithotripsy System for Severe Coronary Calcification: The CALCI-CRACK Trial. *Can J Cardiol.* 2024;40(9):1657-67. doi: [10.1016/j.cjca.2024.04.012](https://doi.org/10.1016/j.cjca.2024.04.012)
67. Jurado-Román A, Gómez-Menchero A, Rivero-Santana B, Amat-Santos IJ, Jiménez-Valero S, Caballero-Borrego J, et al. Rotational Atherectomy, Lithotripsy, or Laser for Calcified Coronary Stenosis: The ROLLER COASTR-EPIC22 Trial. *JACC Cardiovasc Interv.* 2025;18(5):606-18. doi: [10.1016/j.jcin.2024.11.012](https://doi.org/10.1016/j.jcin.2024.11.012)
68. Ueki Y, Kuwahara K. Periprocedural myocardial infarction in patients undergoing percutaneous coronary intervention. *J Cardiol.* 2023;81(4):364-72. doi: [10.1016/j.jjcc.2022.11.005](https://doi.org/10.1016/j.jjcc.2022.11.005)
69. Zivkovic S, Mandic A, Krupnikov K, Obradovic A, Misevic V, Farkic M, et al. Myocardial Revascularization in Patients with Diabetes and Heart Failure-A Narrative Review. *Int J Mol Sci.* 2025;26(7):3398. doi: [10.3390/ijms26073398](https://doi.org/10.3390/ijms26073398)
70. Coerkamp CF, Hoogewerf M, van Putte BP, Appelman Y, Doevendans PA. Revascularization strategies for patients with established chronic coronary syndrome. *Eur J Clin Invest.* 2022;52(8):e13787. doi: [10.1111/eci.13787](https://doi.org/10.1111/eci.13787)
71. Spadaccio C, Nenna A, Rose D, Piccirillo F, Nusca A, Grigioni F, et al. The Role of Angiogenesis and Arteriogenesis in Myocardial Infarction and Coronary Revascularization. *J Cardiovasc Transl Res.* 2022;15(5):1024-48. doi: [10.1007/s12265-022-10241-0](https://doi.org/10.1007/s12265-022-10241-0)
72. Shah R, Nayyar M, Le FK, Labroo A, Nasr A, Rashid A, et al. A meta-analysis of optimal medical therapy with or without percutaneous coronary intervention in patients with stable coronary artery disease. *Coron Artery Dis.* 2022;33(2):91-7. doi: [10.1097/MCA.0000000000001041](https://doi.org/10.1097/MCA.0000000000001041)
73. Klein LW, Nathan S, Maehara A, Messenger J, Mintz GS, Ali ZA, et al. SCAI Expert Consensus Statement on Management of In-Stent Restenosis and Stent Thrombosis. *J Soc Cardiovasc Angiogr Interv.* 2023;2(4):100971. doi: [10.1016/j.jscai.2023.100971](https://doi.org/10.1016/j.jscai.2023.100971)