

УДК 616.127-005.8+616.127-005.4+616.124.2+616.132.2

DOI: <http://doi.org/10.31928/2305-3127-2021.2.517>**Н.В. Титаренко, М.П. Копиця, Ю.В. Родіонова, А.В. Кобець**

ДУ «Національний інститут терапії імені Л.Т. Малої НАМН України», Харків

Оцінка повздовжньої деформації лівого шлуночка і її зміни при інфаркті міокарда та ішемічній хворобі серця з обструктивним ураженням коронарних артерій

В огляді наведено дані щодо ролі нового методу ультразвукової діагностики – спекл-трекінг ехокардіографії – в діагностиці інфаркту міокарда та ішемічної хвороби серця з обструктивним ураженням коронарних артерій, описано переваги показника глобальної повздовжньої деформації (ГПД) порівняно з ехокардіографічними показниками глобальної систолічної та сегментарної систолічної функції. Цінність вимірювання ГПД при ішемічній хворобі серця полягає в кількісному виявленні порушень регіонарної скоротливості, коли фракція викиду лівого шлуночка є в межах нормальних значень і візуальна оцінка не виявляє порушень регіонарної скоротливості. При інфаркті міокарда без елевації сегмента ST вимірювання ГПД може допомогти у відборі пацієнтів, які потребують негайної реперфузійної терапії. При ішемічній хворобі серця ГПД може доповнити традиційну оцінку руху стінок, замінити необхідність додаткового неінвазивного тестування для деяких пацієнтів із субоптимальними тестами напруження. Описані межі норми ГПД для різних виробників ультразвукових сканерів, технічні характеристики для правильного отримання значення параметра ГПД. Значення ГПД поступово знижується при м'якій, помірній та тяжкій формах ішемічної хвороби серця, та є найнижчим у хворих з інфарктом міокарда з елевацією сегмента ST. Описано можливості виявлення басейну ураженої коронарної артерії за допомогою амплітуди сегментарної повздовжньої деформації та діаграми «бичаче око» при ізольованому ураженні однієї з коронарних артерій. Проведено аналіз кривих деформації, представлено характеристики кривої деформації в нормі та при ішемії. Ймовірними ознаками ішемії є феномени раннього систолічного подовження і постсistolічного укорочення на кривих повздовжньої деформації. Описано умови, за яких постсistolічне укорочення на кривій деформації є патологічним.

Ключові слова: глобальна повздовжня деформація, інфаркт міокарда, ішемічна хвороба серця, «бичаче око», раннє систолічне подовження, постсistolічне укорочення.

Посилання: Титаренко Н.В., Копиця М.П., Родіонова Ю.В., Кобець А.В. Оцінка повздовжньої деформації лівого шлуночка і її зміни при інфаркті міокарда та ішемічній хворобі серця з обструктивним ураженням коронарних артерій // Кардіохірургія та інтервенційна кардіологія.– 2021.– № 2.– С. 5–17.

To cite this article: Tytarenko NV, Kopytsya MP, Rodionova IV, Kobets AV. Evaluation of the longitudinal deformation of left ventricle and its changes in myocardial infarction and coronary heart disease with obstructive coronary artery lesions. *Cardiac Surgery and Interventional Cardiology*. 2021;2(33):5-17 (in Ukr.).

Ехокардіографічне дослідження є одним із найдоступніших інструментів візуалізації при багатьох серцево-судинних захворюваннях, а ехокардіографічні параметри можуть дати дуже важливу інформацію для діагностики,

лікування і прогностичної оцінки. Фракція викиду лівого шлуночка (ФВЛШ) є найчастіше використовуваним ехокардіографічним параметром систолічної функції лівого шлуночка (ЛШ), але має певні недоліки. Останнім часом

для об'єктивного вимірювання скоротливості міокарда застосовують спекл-трекінг ехокардіографію – відносно новий, перспективний метод оцінювання деформації міокарда. Деформація міокарда та її більш відомий показник – глобальна повздожня деформація (ГПД) – можуть дати точну інформацію про функцію скоротливості міокарда. ГПД описує скорочення повздожних волокон міокарда, що розташовані в ендокарді та найбільш рано уражуються при ішемії, тому зниження ГПД спостерігають при ішемічній хворобі серця (ІХС) [15, 22]. Визначення ГПД внесено в рекомендації Європейського товариства кардіологів щодо кількісної оцінки камер серця, як ранній і точний показник систолічної дисфункції лівого шлуночка [14, 21]. Використання параметрів повздожної деформації в діагностиці ІХС та інфаркту міокарда (ІМ) рекомендовано чинними настановами Європейського товариства кардіологів: 2019 ESC Guidelines for the diagnosis and management of chronic coronary syndrome, Fourth universal definition of myocardial infarction 2018, 2020 ESC Guidelines for the management of Acute Coronary Syndrome in patients presenting without persistent ST segment elevation [6, 12, 28].

Для діагностики ІХС зазвичай використовують визначення глобальної та локальної (сегментарної) систолічної функції серця. Хоча ФВЛШ найчастіше вимірюють у повсякденній практиці, цей показник розраховується на основі зміни об'ємів ЛШ, не відображаючи справжніх властивостей міокарда, а також залежить від перед- і післянавантаження, частоти серцевих скорочень та клапанної патології.

Зниження післянавантаження відзначається при тяжкій мітральній недостатності. Частина крові повертається назад у ліве передсердя, частина спрямована в аорту. Опір викиду знижується, і значення ФВЛШ виявляється значно вищим від реального, при цьому ударний об'єм може бути знижений. Закриття дефекту (усунення мітральної недостатності) зазвичай знижує абсолютне значення ФВЛШ.

Підвищене післянавантаження зазвичай фіксується при стенозі клапана аорти, оскільки існує перешкода для викиду крові з ЛШ. У цій клінічній ситуації, після хірургічного лікування стенозу аорти, ФВЛШ може збільшитися.

У пацієнтів із концентричною гіпертрофією міокарда ЛШ («маленький лівий шлуночок») ударний об'єм значно зменшений у хворих при задовільній ФВЛШ, тому в пацієнта з невеликими об'ємами ЛШ значення ФВЛШ не може бути адекватним показником систолічної функції ЛШ.

ФВЛШ у спокої не дає розуміння про контрактильний резерв, тобто збільшиться цей показник чи ні при навантаженні. Цю проблему може розв'язати стрес-ехокардіографія. Ехокардіографія з навантаженням має високу чутливість (80–85 %) і специфічність (80–88 %) у діагностиці ІХС [19]. Стрес-ехокардіографія дозволяє оцінити як глобальну, так і локальну скоротливість міокарда, але в клінічній практиці, як правило, спирається на візуальну оцінку скоротливості міокарда і залежить від досвіду дослідника.

При вимірюванні ФВЛШ за методом Simpson у двох позиціях – чотири- і двокамерній верхівкових позиціях (бі-план), у вимірюванні не залучається трикамерна верхівкова позиція (apical long-axis view) і, відповідно, антеросептальні та задньо-латеральні сегменти ЛШ не оцінюються при такому способі розрахунку ФВЛШ. Якщо в пацієнта є порушення локальної скоротливості у вищевказаних сегментах, вимірювання ФВЛШ буде вищою від реальної і не відобразить справжню картину.

Точність вимірювань ФВЛШ залежить від виду ультразвукового сканера, виробника й досвіду оператора. Існують досить великі внутрішньо- і міжлабораторні розбіжності в оцінюванні цього показника не тільки при реєстрації, а й під час аналізу записаних зображень. Помилка вимірювання ФВЛШ може досягати 10 %, тому дослідження в динаміці рекомендують проводити за можливості на одному приладі й одним оператором. Оскільки вимірювання ФВЛШ перебуває в межах такої помилки вимірювання, раннє зниження функції ЛШ, ймовірно, можна пропустити.

Для напівкількісного оцінювання сегментарної скоротливості використовують індекс порушення локальної скоротливості (wall motion score index, WMSI), але така оцінка є суб'єктивною, тому що спирається на візуальну оцінку локальної скоротливості. Крім того, всім відомо про труднощі, з якими стикається лікар ультразвукової діагностики, особливо початківець, при візуальному оцінюванні локальної скоротливості стінок ЛШ.

Методом кількісного оцінювання сегментарної скоротливості є визначення деформації за допомогою тканинної доплерографії, але методика залежить від кута та може недооцінювати рух стінки, який не паралельний до ультразвукової пучка [21].

Спекл-трекінг ехокардіографія дозволяє виміряти безпосередньо укорочення або подовження міокарда протягом серцевого циклу та не залежить від кута сканування. Таким чином, визна-

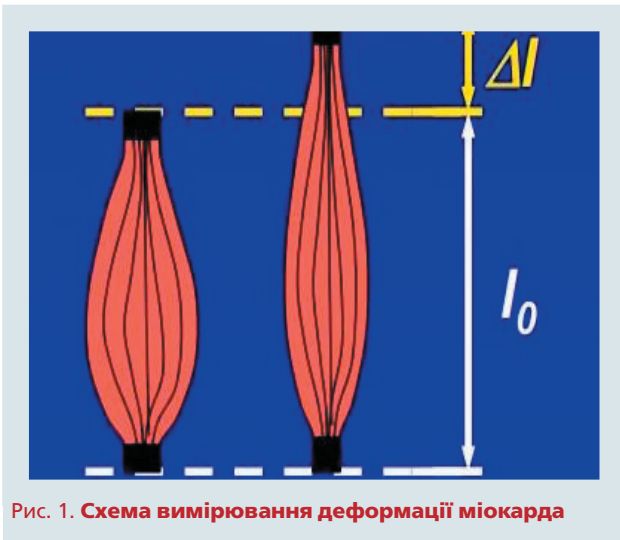


Рис. 1. Схема вимірювання деформації міокарда

чення деформації міокарда – найбільш точний спосіб кількісного оцінювання серцевої функції. Вимірювання повздовжньої деформації в різних сегментах дозволяє кількісно оцінити скоротливість у кожному із сегментів.

Принцип вимірювання деформації показаний на рис. 1.

Деформацію (ϵ) обчислюють за формулою:

$$\epsilon = (L - L_0) / L_0,$$

де L – довжина об'єкта після деформації, L_0 – вихідна довжина об'єкта.

Деформація виражається у відсотках.



Рис. 2. Схема повздовжнього скорочення лівого шлуночка

Найбільш відтвореним параметром деформації на різних ультразвукових сканерах є деформація повздовжніх волокон міокарда, рідше використовується також циркулярна і радіальна деформація.

У масштабах ЛШ скорочення (і подальше подовження міокарда) в повздовжньому напрям-



Рис. 3. Оцінка повздовжньої (А), циркулярної (Б) і радіальної (В) деформації лівого шлуночка.

А (повздовжня деформація) – скорочення і подовження міокарда вздовж довгої осі ЛШ (вимірювання у верхівкових позиціях ЛШ). Б (циркулярна деформація) – зміна в циркулярному напрямку, укорочення волокон міокарда ЛШ по циркулярному периметру в площині короткої осі серця (вимірювання проводять по короткій осі ЛШ). В (радіальна деформація) – зміна товщини міокарда в систолу і діастолу в напрямку до центру порожнини ЛШ (вимірювання по короткій осі ЛШ) (модифіковано з J.-H. Park, 2019 [23])

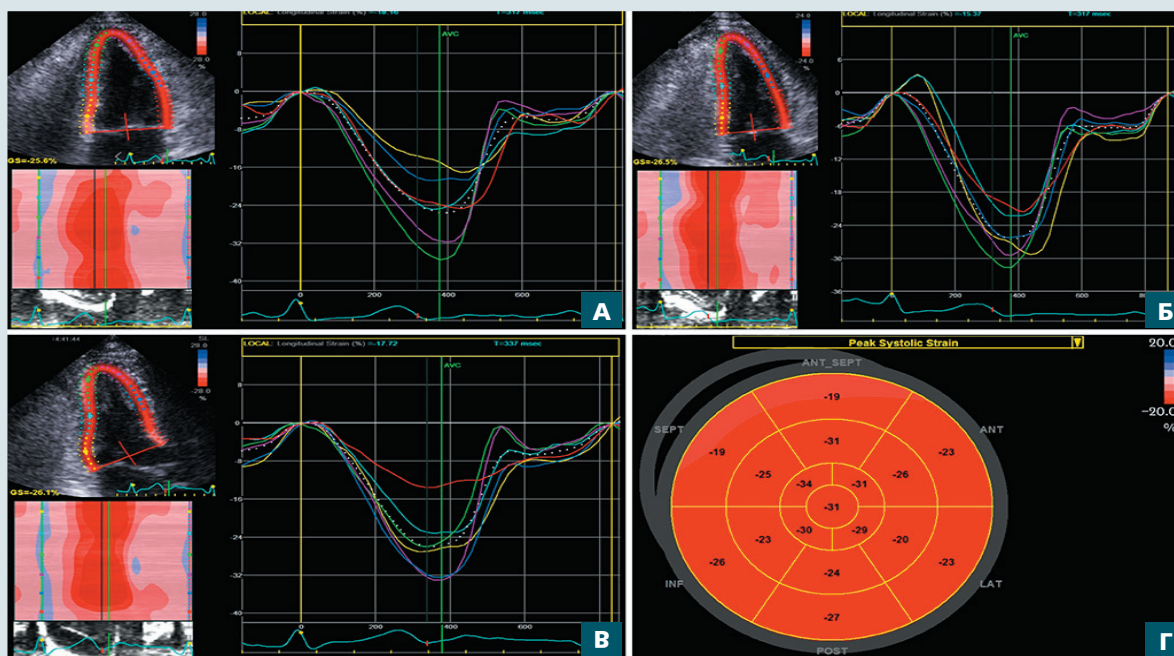


Рис. 4. Оцінювання глобальної повздовжньої деформації лівого шлуночка в апікальних 4-камерних (А), 2-камерних (Б), 3-камерних (В) позиціях у здорової особи (модифіковано з J.-H. Park, 2019 [23])

ку має вигляд, як наведено на *рис. 2*. Цей рисунок схематично показує повздовжнє скорочення (деформацію) ЛШ під час систоли [8].

Рис. 3 ілюструє напрямки, в яких відбувається деформація, і способи її оцінювання. Повздовжню деформацію оцінюють у апікальних 4-, 3- і 2-камерних позиціях.

Як результат дослідження, лікар отримує криві деформації в кожній позиції (6 кривих, що відображають рух 6 сегментів у кожній позиції, всього 18 кривих) і підсумкову діаграму («бичаче око» – 16, 17 або 18 сегментів, представлених у круговій діаграмі залежно від прийнятої схеми в налаштуваннях постобробки ультразвукового сканера). Діаграма «бичаче око» дозволяє оцінити скорочення в кожному сегменті ЛШ, а також дає підсумоване значення деформації – ГПД.

Криві повздовжньої деформації містять інформацію про амплітуду скорочення, час скорочення, синхронність скорочення окремих сегментів, про те, укорочується чи подовжується сегмент у певний момент часу. При укороченні повздовжня деформація виражається негативним показником, при подовженні об'єкта – позитивним показником [31].

Розподіл сегментів у 18-сегментній моделі ЛШ представлено на *рис. 5*. Подібні схеми також використовуються в інших методиках візуалізації серця.

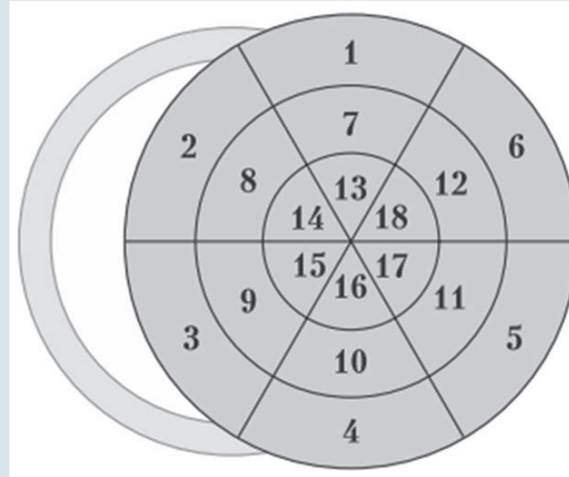


Рис. 5. 18-сегментна схема розподілу лівого шлуночка. Сегменти лівого шлуночка: 1 – базальний передній; 2 – базальний передньо-септальний; 3 – базальний нижньо-септальний/септальний; 4 – базальний нижній; 5 – базальний нижньо-латеральний/латеральний; 6 – базальний передньо-латеральний/латеральний; 7 – середній передній; 8 – середній передньо-септальний; 9 – середній нижньо-септальний/септальний; 10 – середній нижній; 11 – середній нижньо-латеральний/латеральний; 12 – середній передньо-латеральний/латеральний; 13 – апікальний передній; 14 – апікальний передньо-септальний; 15 – апікальний нижньо-септальний/септальний; 16 – апікальний нижній; 17 – апікальний нижньо-латеральний/латеральний; 18 – апікальний передньо-латеральний/латеральний

Нормальні значення ГПД ЛШ мають варіації, які залежать від віку, маси тіла, артеріального тиску, а також від виробника ультразвукового сканера. Згідно з даними метааналізу, для виробника TomTec нормальними значеннями ГПД вважають $-22,1\%$ ($-20,1\% \dots -23,85\%$), нижньою межею норми є $-18,0\%$; для виробника GE нормальні значення – це $-21,2\%$ ($-19,9\% \dots -22,8\%$), нижньою межею норми є $-18,2\%$; для виробника Toshiba (Canon) нормальні значення – це $-19,9\%$ ($-18,3\% \dots -21,5\%$), нижньою межею норми є $-15,8\%$; для виробника Phillips – нормальні значення – це $-19,6\%$ ($-18,1\% \dots -21,3\%$), нижньою межею норми є $-15,5\%$; для виробника Siemens нормальні значення – це $-16,9\%$ ($-16,0\% \dots -18,8\%$), нижньою межею норми є $-14,0\%$ [7].

Згідно з даними N. Liel-Cohen та співавторів, запропоновані межі норми показників сегментарної деформації для базальних сегментів – більше ніж $-10,9\%$, для середніх сегментів – більше ніж $-12,5\%$, для верхівкових сегментів – більше ніж $-14,1\%$ [15], проте межі норми для сегментарної деформації для застосування в клінічній практиці ще обговорюються.

Одним із обмежень використання ГПД у клінічній практиці є якість зображення. Коли неможливо обвести більше двох сегментів міокарда в одній із верхівкових позицій (якість зображення субоптимальна), розрахунку ГПД потрібно уникати [13, 22].

Для аналізу деформації серця зображення слід отримувати з частотою 40–90 кадрів за секунду [21]. Експерти рекомендують проведення як мінімум 50 досліджень для навчання та для досягнення компетентності в аналізі ГПД [4].

Використання показників глобальної повздовжньої деформації в діагностиці інфаркту міокарда та ішемічної хвороби серця

Ймовірними ознаками ІМ, особливо при нормальних показниках глобальної та регіонарної систолічної функції при традиційній ехокардіографії, є такі:

- зниження амплітуди ГПД;
- наявність раннього систолічного подовження на кривій деформації;
- наявність постсistolічного укорочення на кривій деформації.

Крім того, вимірювання сегментарної повздовжньої деформації на підставі діаграми «бичаче око» може допомогти в діагностиці басейну ураженої коронарної артерії.

Коли площа ІМ невелика або в пацієнта є ІХС без перенесеного ІМ в анамнезі, змін традицій-

них ехокардіографічних параметрів, таких як ФВЛШ та індекс оцінки руху стінки (WMSI), може не бути. У рекомендаціях Європейського товариства кардіологів з ведення хворих із гострим коронарним синдромом без елевації сегмента ST (2020) декларується, що «в разі відсутності значних аномалій руху стінок зниження регіонарної дисфункції за допомогою візуалізації деформації може поліпшити діагностичну та прогностичну цінність традиційної ехокардіографії» [6]. Таким чином, оцінка ГПД при ІМ дозволяє виявити зниження систолічної функції ЛШ та регіонарної скоротливості, коли ФВЛШ перебуває в межах норми.

Відповідно, в рекомендаціях Європейського товариства кардіологів з ведення хворих із хронічними коронарними синдромами (2019) також підкреслюється, що «ФВЛШ часто буває в межах норми в пацієнтів зі стабільною ІХС. Зниження функції ЛШ та/або аномалії руху регіонарної стінки можуть посилити підозру на ішемічне пошкодження міокарда, а також можливе порушення функції ЛШ відповідно до теоретичної території розподілу коронарних артерій, характерних для пацієнтів, що перенесли ІМ. Виявлення аномалій руху регіонарної стінки може бути утруднене при візуальній оцінці; наявність раннього систолічного подовження, зменшення систолічного скорочення або виявлення постсistolічного укорочення з використанням методів візуалізації деформацій може бути корисним у пацієнтів з явно збереженою функцією ЛШ, але з клінічною підозрою на ІХС» [12]. Використання ехокардіографії у виявленні порушень регіонарної скоротливості у хворих з підозрою на ІХС має клас рекомендацій I, рівень доказів B [12].

Зниження амплітуди глобальної повздовжньої деформації при ішемічній хворобі серця з обструктивним ураженням коронарних артерій

Причинами зниження амплітуди деформації при ІХС вважають повторні ішемічні напади, які призводять до ремоделювання міокарда (фіброзу уражених ділянок і гіпертрофії неуражених), схильність артерій з бляшками до спазмів, знижений фракційний коронарний резерв, також хронічну ішемію, яка впливає на тривалість скорочення в ішемізованих сегментах, викликаючи, зокрема, явище механічної дисинхронії [27].

Дослідники показали, що при підозрі на ІХС у хворих без ІМ в анамнезі зниження величини деформації нижче за -14% дозволяє виявити багатосудинне ураження в пацієнтів, у яких розрахована кількість балів за шкалою SYNTAX

при подальшій ангіографії була > 22 (чутливість 71 %, специфічність 90 %). Цікаво, що всі пацієнти мали нормальні показники глобальної та регіонарної систолічної функції на ехокардіограмі у спокої. У хворих з кількістю балів за шкалою SYNTAX < 22 ГПД становила $-15,6$ %, у пацієнтів контрольної групи без ІХС ГПД дорівнювала $-17,39$ % ($p < 0,05$) [32].

Р. Vala та співавтори продемонстрували, що застосування показника ГПД мало більшу чутливість й специфічність (72,7 % та 74,2 % відповідно) у діагностиці ймовірної ІХС у пацієнтів зі збереженою функцією ЛШ, ніж тест із дозованим фізичним навантаженням (тредміл-тест) – 60,2 % та 65,5 % відповідно. Об'єднання цих методів поліпшувало діагностичні можливості (85,4 % та 87,5 % відповідно). Дослідники встановили, що ГПД у середньому становила $-16,8$ % при односудинному ураженні, $-15,86$ % – при двосудинному, $-13,9$ % – при трисудинному, $-13,42$ % – при стенозі стовбура лівої коронарної артерії. Таким чином, автори виявили, що значення ГПД зменшуються зі збільшенням ступеня тяжкості ІХС. Авторами було запропоновано величину деформації ($-17,75$ %), нижче за яку в пацієнта існує висока ймовірність наявності ІХС [1].

D.E. Montgomery та співавтори досліджували пацієнтів з помірною та м'якою ІХС та показали, що значення деформації при виявленні стенозу коронарної артерії > 50 % становило $-17,6$ % (чутливість 67 %, специфічність 76 %). Діагностична здатність вимірювання деформації в спокої для виявлення необструктивної ІХС була схожа з можливостями стрес-ехокардіографії [20]. Крім того, автори дослідження зробили висновок, що величина деформації більше -20 % дозволяє заперечити значуще звуження коронарної артерії. Більше того, ГПД нижче за -15 % мало специфічність 90 % для виявлення стенозу коронарної артерії > 50 % і 84 % для стенозу коронарної артерії > 70 %. Автори вважають, що спекл-трекінг ехокардіографія з вимірюванням повздожньої деформації може доповнити традиційну оцінку руху стінок, замінити необхідність додаткового неінвазивного або інвазивного тестування для деяких пацієнтів із субоптимальними тестами напруження та може допомогти виявити пацієнтів, яким будуть корисні стратегії модифікації факторів ризику, які в протилежному випадку були б пропущені, а також підвищити діагностичну точність і чутливість стрес-ехокардіографії.

J.O. Choi та співавтори [5] з'ясували, що при визначенні ГПД у спокої можливо діагносту-

вати тяжку ІХС, яка визначається за наявності стенозу стовбура лівої коронарної артерії або при трисудинному ураженні. Граничним значенням виявилася величина деформації більш ніж $-17,9$ % (площа під кривою 0,83; чутливість 79 %; специфічність 79 %). Сегментарна деформація була більш знижена в базальних та середніх сегментах за наявності тяжкої ІХС. Автори роблять висновок, що оскільки ризик стрес-тесту також вищий у цій популяції пацієнтів, буде корисно, якщо інший параметр спокою зможе відрізнити тяжку ІХС від менш тяжкої ІХС.

Метааналіз К. Liou продемонстрував, що чутливість і специфічність ГПД у виявленні помірної/тяжкої ІХС становить 74,4 і 72,1 % і не залежить від віку, супутніх гіпертонічної хвороби та цукрового діабету. Автори зробили висновок, що вимірювання ГПД у спокої може доповнити використовуваний діагностичний алгоритм ІХС [16]. Цікаво також, що чутливість і специфічність ЕКГ стрес-тесту в діагностиці ІХС становить відповідно 45–50 % і 85–90 %, згідно з Європейськими рекомендаціями з ведення пацієнтів зі стабільною стенокардією 2013 р., а в рекомендаціях 2019 р. з ведення хронічних коронарних синдромів рівень доказів ЕКГ-тесту з дозованим фізичним навантаженням у діагностиці ІХС знизився з I до IIb [12].

Хоча зниження ГПД неспецифічно саме для ІХС (його значення може бути знижене при багатьох серцево-судинних захворюваннях), ГПД може доповнити чинний протокол діагностики ІХС. Беручи також до уваги, що навантажувальні тести мають помірну точність для діагностики ІХС, необхідні додаткові дослідження, щоб перевірити, чи достатньо одного аналізу повздожньої деформації для діагностики ішемії в пацієнтів із хронічною стабільною стенокардією.

Зниження амплітуди глобальної повздожньої деформації при інфаркті міокарда

Більш ранні дослідження показали, що вимірювання деформації і її величина нижче за -14 % не менш ніж у 4 сегментах можуть допомогти у виявленні оклюзії коронарної артерії в пацієнтів з гострим коронарним синдромом без підйому сегмента ST (чутливість 85 %, специфічність 70 %), що може бути корисним для селекції хворих, яким потрібна ургентна реперфузійна терапія [9].

M. Loutfi та співавтори продемонстрували, що в пацієнтів з ІМ без елевачії сегмента ST ГПД нижче за $-11,29$ % може вказувати на значний розмір ураження міокарда (більше 12 % об'єму

міокарда ЛШ за даними магнітно-резонансної томографії) з чутливістю 76,7 % і специфічністю 80 % [17].

При трансмуральних ІМ відзначається більш виражене зниження показників глобальної і сегментарної деформації. S.C. Manjunath та співавтори показали, що ГПД у пацієнтів з ІМ знижена до -11,11 % і досягає -13 % при виконанні фармакоінвазивної стратегії реперфузії [18].

М. Ersbøll та співавтори вивчали, чи пов'язана ГПД із прогнозом пацієнтів з ІМ і ФВЛШ ≥ 40 %. Вони виявили, що ГПД додала прогностичну інформацію про оцінку ризику при ІМ. Ранні вимірювання ГПД були незалежним предиктором раптової серцевої смерті та шлуночкової тахіаритмії. Додавання ГПД

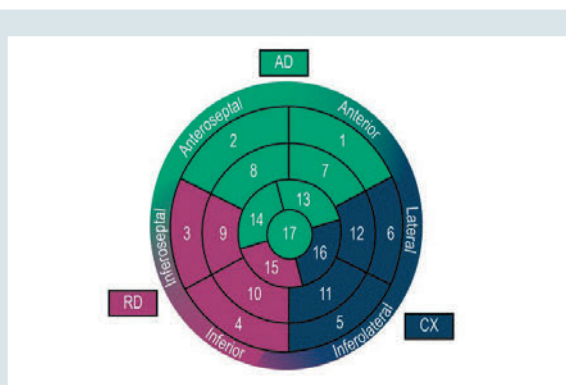


Рис. 6. Умовний розподіл басейнів кровопостачання трьох основних коронарних артерій: передньої низхідної артерії – зелений колір, правої коронарної артерії – вишневий колір і обвідної артерії – синій колір. Змішаний колір показує можливе кровопостачання сегмента із сусідньої артерії

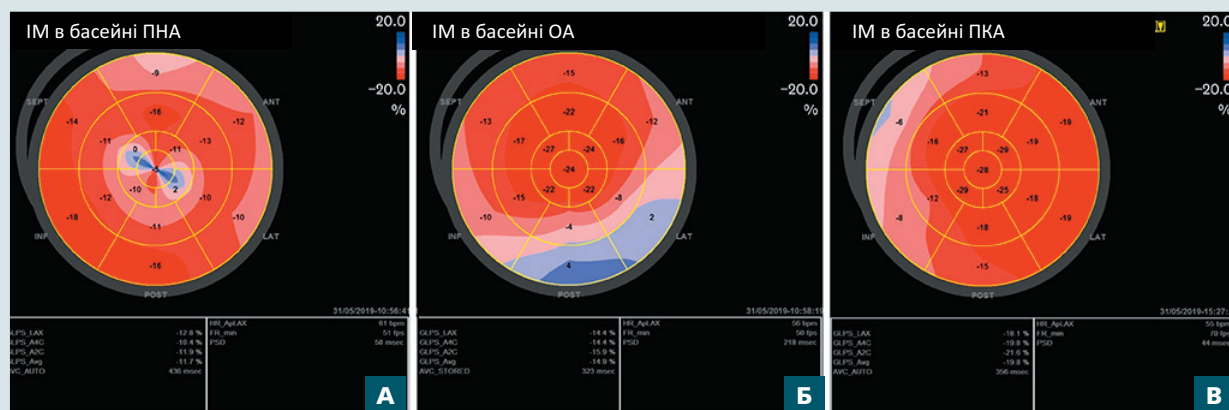


Рис. 7. Діаграми «бичаче око» залежно від локалізації інфаркту міокарда в басейні однієї з коронарних артерій. А – ІМ передньої локалізації в басейні передньої низхідної артерії (ПНА). Б – ІМ у басейні обвідної артерії (ОА), задньо-латеральний і латеральний сегменти ЛШ. В – ІМ задньої і задньо-перегородкової локалізації – басейн правої коронарної артерії (ПКА)

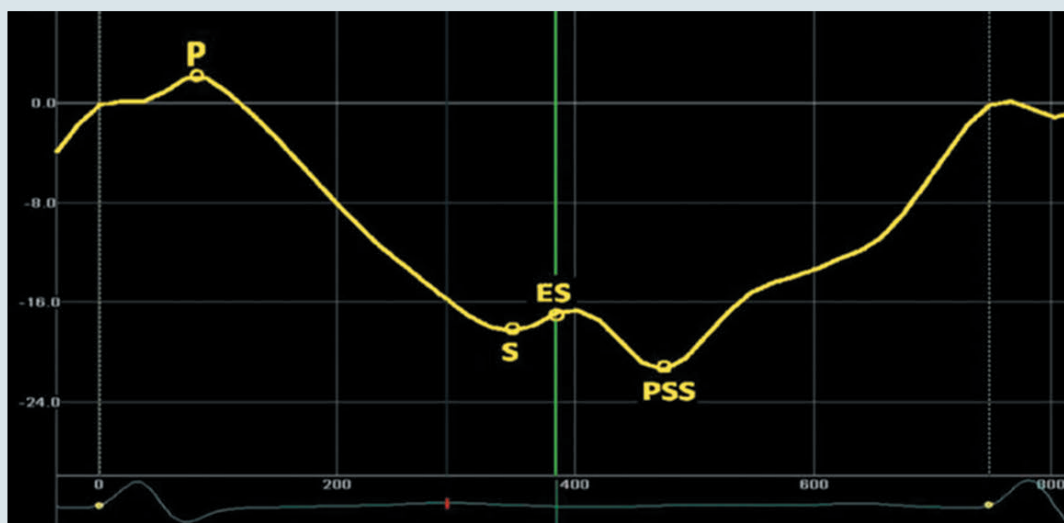
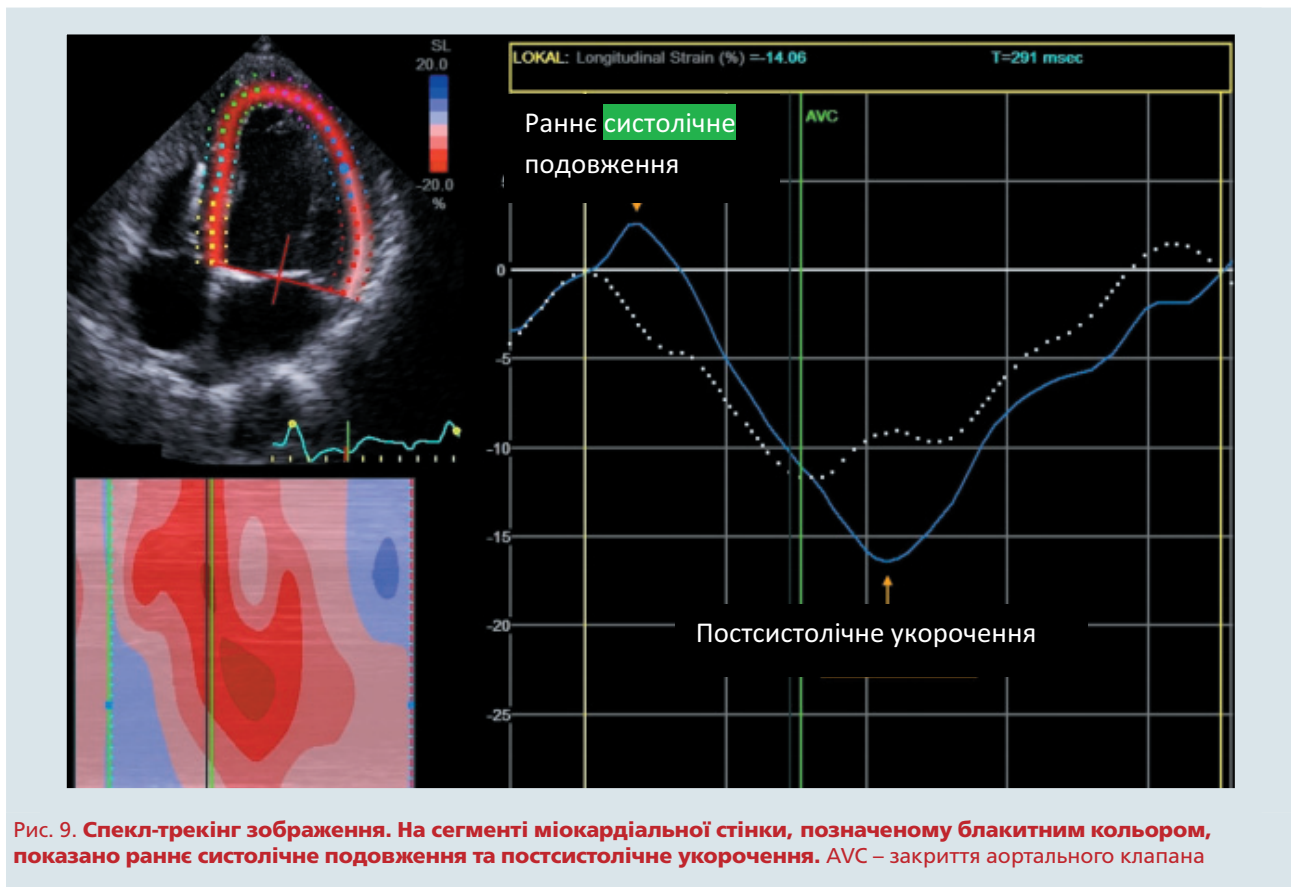


Рис. 8. Крива поєздовжньої деформації з вибраними важливими тимчасовими точками. Р – пікова позитивна деформація; S – пікова систолічна деформація, ES – кінцева систолічна деформація; PSS – постсистолічна деформація. Жовта вертикальна пунктирна лінія характеризує початок комплексу QRS. Зелена вертикальна лінія позначає закриття аортального клапана [30, 31]



до відомих факторів ризику дозволило значно поліпшити класифікацію ризику. У дослідженні показано, що ГПД має прогностичне значення в пацієнтів зі збереженою ФВЛШ після перенесеного ІМ [11].

Діагностика басейну ураженої коронарної артерії

Маючи уявлення про ділянки кровопостачання коронарних артерій на загальній схемі, можна



виявити зони зниженої скоротливості в окремих басейнах і припустити можливі порушення кровопостачання в зоні відповідальності певної коронарної артерії.

Для прикладу на *рис. 7* представлені діаграми «бичаче око» ГПД у пацієнтів з ангіографічно підтвердженим ІМ різної локалізації [21].

Найяскравішим червоним кольором позначені сегменти з нормальною скоротливістю, блідо-червоним – сегменти зі зниженою скоротливістю (гіпокінез), блідо-рожевим кольором – сегменти зі значенням сегментарної деформації близько 0 % (акінез), блакитним і синім – сегменти з порушеннями скоротливості у вигляді дискінезії.

Таким чином, можна судити про загальну скоротливість міокарда і виявити ймовірний басейн ураження при ІМ або при значущій ІХС, що має значення в діагностично незрозумілих випадках при гострому коронарному синдромі без підйому сегмента ST. Безумовно, проведення ехокардіографії не повинно затримувати проведення ангіографії.

Аналіз кривих деформації при ішемічній хворобі серця та інфаркті міокарда

Абсолютне значення ГПД дозволяє виявити субклінічну дисфункцію серця при його зниженні, коли ФВЛШ ще залишається в межах нормальних значень, аналіз діаграми «бичаче око» дозволяє приблизно визначити басейн ураженої коронарної артерії. Наступним кроком є аналіз кривих деформації.

Нормальна крива деформації має такий вигляд, що максимальне негативне значення (максимальне укорочення міокарда) відбувається до закриття стулок аортального клапана.

ГПД вимірюється наприкінці систоли на кривій деформації до моменту закриття стулок аортального клапана.

Раннє систолічне подовження

Однією з ознак ішемії може бути раннє систолічне подовження сегмента міокарда (*рис. 8*) [2]. У відповідь на ішемію або ІМ відбувається подовження ішемізованих сегментів міокарда перед початком систолічного скорочення, яке впливає на систолічну та діастолічну серцеву функції. Це може відбуватися через обмежену здатність міокарда генерувати активне скорочення, коли під час ранньої систоли збільшується тиск у ЛШ.

Було показано, що тривалість раннього систолічного подовження корелює з розміром ІМ після проведення реперфузії в пацієнтів з ІМ з підйомом сегмента ST і є предиктором зна-

чного ураження коронарних артерій у хворих зі стабільною стенокардією. Тривалість раннього систолічного подовження була значно збільшена в пацієнтів зі значущими стенозами коронарних артерій порівняно з пацієнтами без значних стенозів коронарних артерій (76 ± 37) мс проти (38 ± 23) мс, $p < 0,001$) [25, 29]. Граничним значенням тривалості раннього систолічного подовження в пацієнтів зі значущими стенозами коронарних артерій було значення 58 мс (зі специфічністю 86 % і чутливістю 74 %) [25].

Як показали результати дослідження, тривалість раннього систолічного подовження в пацієнтів з ІМ була вищою в уражених сегментах порівняно з неураженими – (43 ± 33) і (33 ± 24) мс відповідно. Акінетичні сегменти стінки мали суттєво вищі значення тривалості раннього систолічного подовження порівняно з нормальним і гіпокінетичним сегментами [24].

Постсистолічне укорочення

Один із феноменів, можливих при ішемії міокарда на кривій деформації, – постсистолічне укорочення (postsystolic shortening, PSS), тобто пік деформації, який настає після закриття стулок аортального клапана; трапляється як при ішемії, так і, в окремих випадках, у здорових людей.

Згідно з рекомендаціями щодо оцінювання повздожньої деформації систолічна деформація наприкінці систоли має бути описана як обов'язковий параметр за замовчуванням для опису деформації міокарда [31].

На *рис. 10* для порівняння представлені дві криві – зелена крива деформації, отримана в сегменті з нормальною скоротливістю, і червона крива деформації, отримана з того ж самого ЛШ, але із сегмента, ураженого внаслідок ІМ. Якщо вимірювати тільки пікове негативне значення деформації, то пікові негативні значення на двох кривих однакові. Однак зелена крива має негативний пік до закриття аортального клапана (норма), на червоній кривій пік настає після закриття аортального клапана (постсистолічне укорочення). Таким чином, час настання піка має вирішальне значення для визначення нормальної або патологічної форми кривої деформації. На зеленій кривій виміряно пікову систолічну деформацію, на червоній – кінцевосистолічну деформацію і пік постсистолічного укорочення (див. *рис. 8, 9, 10*).

Походження постсистолічного укорочення вивчали Т. Kukulski та співавтори [13]. Дослідники спостерігали зміни на кривих деформації під час ангіопластики (й оклюзії коронар-

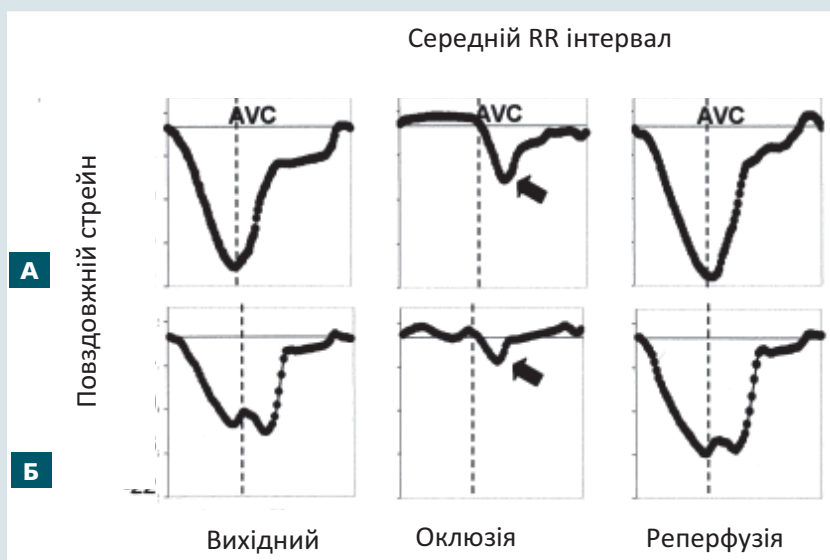


Рис. 11. Типовий приклад гострих ішемічних змін регіонарної деформації. Повздожня деформація: профілі деформації, отримані до оклюзії, від 30 до 60 с після оклюзії лівої передньої низхідної коронарної артерії і через 2 хв після балонної дефляції. А – сегмент з візуально нормальним рухом стінки до оклюзії. Б – сегмент з ненормальним візуальним рухом стінки до оклюзії. Час закриття клапана аорти (AVC) представлено вертикальними пунктирними лініями. Збільшення постсистолического укорочення під час оклюзії показано чорними стрілками (модифіковано з Т. Kukulski та співавт. [13])

ної артерії балоном під час ангіопластики) у пацієнтів зі стабільною стенокардією (рис. 11). Сегменти ЛШ розділили на сегменти з початково нормальною скоротливістю і сегменти з гіпокінезією до проведення ангіопластики. Коронарна оклюзія викликала значуще зниження повздожньої систолічної деформації й появу піка постсистолического укорочення. Після реперфузії всі параметри деформації повернулися до значень, близьких до значень до оклюзії.

Водночас відомо, що постсистолическе укорочення може траплятися і в нормі у здорових суб'єктів приблизно в 1/3 сегментів міокарда, становлячи при цьому не більше 20 % від величини систолічного укорочення [26]. Таким чином, стає зрозумілим, що постсистолическе укорочення – не завжди маркер захворювання. Патологічним постсистолическе укорочення є при співіснуючому зниженні систолічної деформації, а також при граничній величині постсистолическої деформації менше –20 %.

У комплексному експериментальному дослідженні Н. Skulstad та співавторів [24] продемонстровано, що при акінезі або гіпокінезії сегментів міокарда постсистолическе укорочення представляє активне скорочення і, отже, потенційно життєздатний міокард. При дискінезії міокардіальних сегментів постсистолическе укорочення виявилось неспецифічним маркером важкої ішемії.

У проведеному дослідженні [11] продемонстровано, що наявність постсистолического укорочення до ревазуляризації асоціюється з поліпшенням функції міокарда після ревазуляризаційних процедур у пацієнтів з ІМ без елевації сегмента ST, таким чином постсистолическе укорочення вказувало на життєздатні сегменти міокарда.

Р. Brainin та співавтори відзначили, що постсистолическе укорочення є незалежним предиктором серцево-судинних подій і смертності в загальній популяції [4].

Таким чином, цінність вимірювання ГПД при ІХС полягає, насамперед, у кількісному виявленні порушень регіонарної сегментарної скоротливості, коли ФВЛШ є в межах нормальних значень і візуальна оцінка не виявляє порушень скоротливості окремих сегментів міокарда. При ІМ без елевації сегмента ST показник ГПД може допомогти у відборі пацієнтів, які потребують негайної реперфузійної терапії. При ІХС ГПД може доповнити традиційну оцінку руху стінок, замінити необхідність додаткового неінвазивного тестування для деяких пацієнтів із субоптимальними тестами напруження, ГПД може бути використаний у протоколах стрес-ехокардіографії. Значення ГПД залежить від виду ультразвукового сканера, як правило, в межах від –18 % до –20 % є нормальним. Діаграма «бичаче око» дозволяє визначити зону

(зони) ураження коронарних артерій при ІМ та ІХС. Зниження амплітуди деформації, раннє систолічне подовження, постсistolічне укорочення на кривих деформації можуть бути ймовірними ознаками ішемії або ІМ.

Невирішеними питаннями впровадження ГПД є стандартизація визначення ГПД на різних типах ультразвукових сканерів, використання

єдиної платформи для визначення деформації в різних виробників ультразвукових приладів, визначення меж норми для сегментарної деформації. Напрямами подальших досліджень може бути подальше вивчення феномена постсistolічного укорочення та часу досягнення піка деформації в різних клінічних ситуаціях на кривій деформації.

Конфлікту інтересів немає.

Участь авторів: концепція і проект дослідження – М.К., Н.Т.; збір матеріалу, написання статті – Н.Т., Ю.Р., А.К.; редагування тексту – М.К., Ю.Р.

Література

- Bala R., Iyer V.R., Dash P.K., Sola S. Longitudinal strain versus exercise treadmill testing in chronic stable angina // J. Ind. Acad. Echocardiography.– 2018.– Vol. 2, Iss. 2.– P. 89–94. doi: 10.4103/jiae.jiae_4_18.
- Brainin P., Haahr-Pedersen S., Olsen F.J. et al. Early Systolic Lengthening in Patients With ST-Segment-Elevation Myocardial Infarction: A Novel Predictor of Cardiovascular Events // J. Am. Heart Assoc.– 2020.– Vol. 9.– P. 1–17:e013835. doi: 10.1161/JAHA.119.013835.
- Brainin P., Biering-Sørensen S.R., Møgelvang R. et al. Postsystolic Shortening by Speckle Tracking Echocardiography Is an Independent Predictor of Cardiovascular Events and Mortality in the General Population // J. Am. Heart Assoc.– 2018.– Vol. 7.– P. e008367. doi: 10.1161/JAHA.117.008367.
- Chan J., Shiino K., Obonyo N.G. et al. Left ventricular global strain analysis by two-dimensional speckle-tracking echocardiography: the learning curve // J. Am. Soc. Echocardiogr.– 2017.– Vol. 11.– P. 1081–1090.
- Choi J.-O., Cho S.W., Song Y.B. et al. Longitudinal 2D strain at rest predicts the presence of left main and three vessel coronary artery disease in patients without regional wall motion abnormality // Eur. J. Echocardiogr.– 2009.– Vol. 10 (5)– P. 695–701. doi: 10.1093/ejehocardi/jep041.
- Collet J.-P., Thiele H., Barbato E. et al. 2020 ESC Guidelines for the management of acute coronary syndromes in patients presenting without persistent ST-segment elevation: The Task Force for the management of acute coronary syndromes in patients presenting without persistent ST-segment elevation of the European Society of Cardiology (ESC) // Eur. Heart J.– 2020.– Vol. 00.– P. 1–79.
- D'Elia N., Caselli S., Kosmala W. et al. Normal Global Longitudinal Strain An Individual Patient Meta-Analysis // JACC: Cardiovasc. Imaging.– 2020.– Vol. 13 (1). doi: 10.1016/j.jcmg.2019.07.020
- EACVI free webinar: How and why to measure LV myocardial strain: <https://www.youtube.com/watch?v=ipmZXGF9HT4&feature=youtu.be>
- Eek C., Grenne B., Brunvand H. et al. Strain echocardiography predicts acute coronary occlusion in patients with non-ST-segment elevation acute coronary syndrome // Eur. J. Echocardiogr.– 2010.– Vol. 11 (6)– P. 501–508. doi: 10.1093/ejehocardi/jeq008.
- Eek C., Grenne B., Brunvand H. et al. Postsystolic shortening is a strong predictor of recovery of systolic function in patients with non-ST-elevation myocardial infarction // Eur. J. Echocardiography.– 2011.– Vol. 12.– P. 483–489. doi: 10.1093/ejehocardi/jeq055.
- Ersbøll M., Valeur N., Mogensen U.M. et al. Prediction of all-cause mortality and heart failure admissions from global left ventricular longitudinal strain in patients with acute myocardial infarction and preserved left ventricular ejection fraction // J. Am. Coll. Cardiol.– 2013.– Vol. 11; 61 (23)– P. 2365–2373. doi: 10.1016/j.jacc.2013.02.061.
- Knuuti J., Wijns W., Saraste A. et al. 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) // Eur. Heart J.– 2020.– Vol. 41, Iss. 3.– P. 407–477. doi: 10.1093/eurheartj/ehz425.
- Kukulski T., Jamal F., Herbots L. et al. Identification of Acutely Ischemic Myocardium Using Ultrasonic Strain Measurements. A Clinical Study in Patients Undergoing Coronary Angioplasty. JACC.– 2003.– Vol. 41, No. 5.– C.810–819.
- Lang R.M., Badano L.P., Mor-Avi V. et al. Recommendations for cardiac chamber quantification by echocardiography in adults: an update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging // Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging.– 2015.– Vol. 16.– P. 233–270.
- Liel-Cohen N., Tsadok Y., Beeri R. et al. A New Tool for Automatic Assessment of Segmental Wall Motion Based on Longitudinal 2D Strain A Multicenter Study by the Israeli Echocardiography Research Group // Circulation: Cardiovascular Imaging.– 2010.– Vol. 3, Iss. 1.– P. 47–53. doi: 10.1161/CIRCIMAGING.108.841874.
- Liou K., Negishi K., Ho S. et al. Detection of obstructive coronary artery disease using peak systolic global longitudinal strain derived by two-dimensional speckle-tracking: a systematic review and meta-analysis // J. Am. Soc. Echocardiogr.– 2016.– Vol. 29 (8)– P. 724–735.e4. doi: 10.1016/j.echo.2016.03.002.
- Loutfi M., Ashour S., Sharkawy E. El-Identification of high-risk patients with non-st segment elevation myocardial infarction using strain doppler echocardiography: correlation with cardiac magnetic resonance imaging // Clin. Med. Insights: Cardiology.– 2016.– P. 1051–1059. doi: 10.4137/CMC.S35734.
- Manjunath S.C., Doddaiah B., Ananthakrishna R. et al. Observational study of left ventricular global longitudinal strain in ST-segment elevation myocardial infarction patients with extended pharmaco-invasive strategy: A six months follow-up study // Echocardiography.– 2020. doi:10.1111/echo.14588.
- Montalescot G., Sechtem U., Achenbach S. et al. Task Force Members, 2013 ESC guidelines on the management of stable coronary artery disease: The Task Force on the management of stable coronary artery disease of the European Society of Cardiology // Eur. Heart J.– 2013 – Vol. 34, Iss. 38.– P. 2949–3003. doi: 10.1093/eurheartj/ehz296.
- Montgomery D.E., Puthumana J.J., Fox J.M., Ogunyankin K.O. Global longitudinal strain aids the detection of non-obstructive coronary artery disease in the resting echocardiogram // Eur. Heart J. Cardiovascular Imaging.– 2012.– Vol. 13.– P. 579–587. doi:10.1093/ejehocardi/jeq282.
- Mor-Avi V., Lang R.M., Badano L.P. et al. Current and evolving echocardiographic techniques for the quantitative evaluation of cardiac mechanics: ASE/EAE consensus statement on methodology and indications endorsed by the

- Japanese Society of Echocardiography // J. Amer. Society Echocardiography.– 2011.– Vol. 24. doi: 10.1016/j.echo.2011.01.015.
22. Negishi K., Negishi T., Kurosawa K. et al. Practical Guidance in Echocardiographic Assessment of Global Longitudinal Strain // JACC: Cardiovascular Imaging.– 2015.– Vol. 8 (4).– P. 489–492.
 23. Park J.-H. Two-dimensional Echocardiographic Assessment of Myocardial Strain: Important Echocardiographic Parameter Readily Useful in Clinical Field // Korean. Circ. J.– 2019.– Vol. 49 (10).– P. 908–931. doi: 10.4070/kcj.2019.0200.
 24. Skulstad H., Edvardsen T., Urheim S. et al. Postsystolic shortening in ischemic myocardium: active contraction or passive recoil? // Circulation.– 2002.– Vol. 106.– P. 718–724.
 25. Smedsrud M.K., Sarvari S., Haugaa K.H. et al. Duration of myocardial early systolic lengthening predicts the presence of significant coronary artery disease // J. Am. Coll. Cardiol.– 2012.– Vol. 60.– P. 1086–1093.
 26. Smiseth O.A., Torp H., Opdahl A. et al. Myocardial strain imaging: how useful is it in clinical decision making? // Eur. Heart J.– 2016.– Vol. 14, N. 37.– P. 1196–1207. doi: 10.1093/eurheartj/ehv529.
 27. Stankovic I., Putnikovic B., Janicijevic A. et al. Myocardial mechanical and QTc dispersion for the detection of significant coronary artery disease // Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging.– 2015.– Vol. 16 (9).– P. 1015–1022. doi: 10.1093/ehjci/jev029.
 28. Thygesen K., Alpert J.S., Jaffe A.S. et al. Fourth universal definition of myocardial infarction (2018) // Eur. Heart J.– 2019.– Vol. 40, Iss. 3.– P. 237–269. doi: 10.1093/eurheartj/ehy462.
 29. Vartdal T., Pettersen E., Helle-Valle T. et al. Identification of viable myocardium in acute anterior infarction using duration of systolic lengthening by tissue Doppler strain: a preliminary study // J. Am. Soc. Echocardiogr.– 2012.– Vol. 25.– P. 718–725.
 30. Voigt J.U., Lindenmeier G., Exner B. et al. Incidence and characteristics of segmental postsystolic longitudinal shortening in normal, acutely ischemic, and scarred myocardium // J. Am. Soc. Echocardiogr.– 2003.– Vol. 16 (5).– P. 415–423.
 31. Voigt J.U., Pedrizzetti G., Lysyansky P. et al. Definitions for a common standard for 2D speckle tracking echocardiography: Consensus document of the EACVI/ASE/Industry Task Force to standardize deformation imaging // J. Am. Soc. Echocardiogr.– 2015.– Vol. 28.– P. 183–193.
 32. Vrettos A., Dawson D., Grigoratos C., Nihoyannopoulos P. Correlation between global longitudinal peak systolic strain and coronary artery disease severity as assessed by the angiographically derived SYNTAX score // Echo Research Practice.– 2020.– Vol. 3 (2).– P. 29–34. doi: 10.1530/ERP-16-0005.

Н.В. Титаренко, Н.П. Копица, Ю.В. Родионова, А.В. Кобец

ГУ «Национальный институт терапии имени Л.Т. Малой НАМН Украины», Харьков

Оценка продольной деформации левого желудочка и ее изменения при инфаркте миокарда и ишемической болезни сердца с обструктивным поражением коронарных артерий

В обзоре приведены данные относительно роли нового метода ультразвуковой диагностики – спекл-трекинг эхокардиографии – в диагностике инфаркта миокарда и ишемической болезни сердца с обструктивным поражением коронарных артерий, преимущества показателя глобальной продольной деформации (ГПД) по сравнению с существующими эхокардиографическими показателями глобальной систолической и сегментарной систолической функции. Ценность измерения ГПД при ишемической болезни сердца заключается в количественном выявлении нарушений регионарной сократимости, когда фракция выброса левого желудочка находится в пределах нормальных значений и визуальная оценка не выявляет нарушений регионарной сократимости. При инфаркте миокарда без подъема сегмента ST измерение ГПД может помочь в отборе пациентов, которым необходима немедленная реперфузионная терапия. При ишемической болезни сердца ГПД может дополнить традиционную оценку движения стенок, заменить необходимость дополнительного неинвазивного тестирования для некоторых пациентов с субоптимальными нагрузочными тестами. Описаны границы нормы показателя ГПД для различных производителей ультразвуковых сканеров, технические характеристики для правильного получения значения параметра ГПД. Значение ГПД постепенно снижается при мягкой, умеренной и тяжелой формах ишемической болезни сердца и является самым низким у больных с инфарктом миокарда с элевацией сегмента ST. Описаны возможности выявления бассейна пораженной коронарной артерии с помощью амплитуды сегментарной продольной деформации и диаграммы «бычий глаз» при изолированном поражении одной из коронарных артерий. Проведен анализ кривых деформации, приведены характеристики кривой деформации в норме и при ишемии. Вероятными признаками ишемии являются феномены раннего систолического удлинения и постсистолического укорочения на кривых продольной деформации. Описаны условия, при которых постсистолическое укорочение на кривой деформации является патологическим.

Ключевые слова: глобальная продольная деформация, инфаркт миокарда, ишемическая болезнь сердца, «бычий глаз», раннее систолическое удлинение, постсистолическое укорочение.

N.V. Tytarenko, M.P. Kopytsya, I.V. Rodionova, A.V. Kobets

L.T. Malaya Therapy National Institute of the NAMS of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

Evaluation of the longitudinal deformation of left ventricle and its changes in myocardial infarction and coronary heart disease with obstructive coronary artery lesions

The review provides data on a new method of ultrasound diagnostics – speckle tracking echocardiography in the diagnosis of myocardial infarction and coronary heart disease with obstructive coronary artery lesions, the advantages of the global longitudinal strain (GLS) compared to the existing echocardiographic indicators of global systolic and segmental systolic function. The value of measuring GLS in coronary heart disease is the quantitative detection of wall motion abnormalities, when left ventricular ejection fraction is within normal values and visual assessment does not detect violations of regional contractility. In patients with myocardial infarction without ST-segment elevation, GLS measurement may assist in the selection of patients who need urgent reperfusion therapy. In coronary heart disease, GLS can complement the conventional assessment of wall movement; replace the need for additional non-invasive testing for some patients with suboptimal stress tests. The normal limits of the GLS for various manufacturers of ultrasound scanners and technical characteristics for the correct studying of the GLS are described. The value of the GLS gradually decreases in mild, moderate and severe forms of coronary heart disease, and is the lowest in patients with myocardial infarction with ST segment elevation. The possibilities of detecting infarct-related coronary artery using the amplitude of the segmental strain and the «bull's eye» diagram in isolated lesions of one of the coronary arteries are described. The analysis of the strain curves is carried out, the characteristics of the strain curve in normal conditions and in ischemia are presented. The probable signs of ischemia are the phenomena of early systolic lengthening and postsystolic shortening on the curves of longitudinal deformation. The conditions when the postsystolic contraction on the strain curve is pathological are described.

Key words: global longitudinal strain, myocardial infarction, ischemic heart disease, «bull's eye», early systolic lengthening, postsystolic shortening.