

<https://doi.org/10.30702/ujcvs/21.4306/n019023-028/4-073.7>

УДК 616.12-005.4-073.7

Настенко Е. А., д-р біол. наук, професор, головний наук. співр. відділу інформаційних технологій та математичного моделювання фізіологічних процесів, <https://orcid.org/0000-0002-1076-9337>

Поташев С. В., канд. мед. наук, ст. наук. співробітник відділу променевої діагностики, <https://orcid.org/0000-0002-2154-9276>

Рибакова О. В., канд. мед. наук, вчений секретар, <https://orcid.org/0000-0002-1620-7749>

Дідик Ю. В., наук. співробітник відділу інформаційних технологій та математичного моделювання фізіологічних процесів, <https://orcid.org/0000-0002-3213-8798>

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

Алгоритмічні підходи для підтримки прийняття діагностичних рішень при сумісному застосуванні спекл-трекінг ехокардіографії та коронарної ангіографії у хворих з ішемічною хворобою серця

Резюме. Удосконалення методів діагностики ішемічної хвороби серця (ІХС) передбачає визначення найбільш інформативних та менш коштовних методів її ранньої діагностики. Спекл-трекінг (СТЕ) ехокардіографія (ЕхоКГ) сьогодні широко використовується для ранньої діагностики ішемії міокарда, що дозволяє краще верифікувати амбівалентні результати коронарної ангіографії (КАГ).

Метою дослідження було сформулювати алгоритмічні підходи до ранньої діагностики ІХС за допомогою сумісного застосування СТЕ та КАГ з метою підвищення точності та зниження собівартості діагностики й лікування ІХС.

Методи. Ми обстежили 568 пацієнтів (425 (74,8 %) чоловіків та 143 (25,2 %) жінки, середній вік становив $62,3 \pm 8,9$ року), направлених до нашого центру з метою верифікації діагнозу та визначення показань до коронарних втручань. Усім пацієнтам КАГ виконували за стандартною методикою безпосередньо до чи після проведення ЕхоКГ зі СТЕ.

Результати. При застосуванні обох методів дослідження патології не було виявлено у 5,2 % чоловіків та у 16,8 % жінок. У 2,6 % чоловіків та 4,2 % жінок СТЕ виявило регіональні порушення деформації (стрейну) за відсутності значущого ураження коронарних артерій (КА) за даними КАГ. Така ситуація (хибнопозитивні результати СТЕ) може свідчити про: 1) наявність незначущої ішемії міокарда за рахунок вродженої звивистості дистальних гілок КА чи інтрамурального ходу КА або ішемії міокарда за рахунок ураження мікроциркуляції, що не діагностується під час КАГ; 2) ураження міокарда некоронарогенного походження. В 1,2 % чоловіків та 4,2 % жінок КАГ виявила значущі або незначущі (до 50–70 %) атеросклеротичні стенозичні ураження КА за відсутності даних щодо ішемії міокарда в цьому басейні за ознакою падіння деформації під час СТЕ. Така ситуація (хибнонегативні результати СТЕ) може свідчити про високий коронарний резерв за рахунок розвинутих колатералей життєздатного міокарда в цьому басейні. Ішемію міокарда за даними як візуалізації коронарного русла під час КАГ, так і за даними характерного регіонального падіння стрейну за даними СТЕ було виявлено у 91,1 % чоловіків та 74,8 % жінок, що вказує на високу корельованість результатів за даними обох методів. Такі результати свідчать про збіг ознак гемодинамічно значущих стенозів КА за даними обох методів, зокрема внаслідок інтрамурального ходу сегментів КА.

Висновки. Одночасне поєднання КАГ та СТЕ у хворих з ІХС дає змогу краще визначати гемодинамічну значущість стенозів, у тому числі при інтрамуральному ході коронарних артерій, використовувати СТЕ як метод неінвазивної візуалізації зон ішемії, зокрема під час фармакологічного стрес-тесту. Поєднане використання КАГ та СТЕ з їх інтегральним аналізом дозволяють виявляти особливості порушень коронарного кровообігу, що не можуть бути виявлені окремо, а також сприяє підвищенню точності діагностичних висновків та зниженню витрат на діагностику й лікування.

Ключові слова: коронарний атеросклероз, неінвазивна діагностика, коронарні втручання, ультразвук, позовжня деформація, гемодинамічна значущість, діагностична точність.

Вступ. Розробка та удосконалення медичних технологій діагностики та лікування ішемічної хвороби серця (ІХС) є актуальним завданням. Удосконалення методів діагностики ІХС передбачає визначення найбільш інформативних та менш коштовних методів її ранньої діагностики. Сьогодні для більш ранньої первинної діагностики ішемії міокарда у хворих з ІХС та підвищення її чутливості й специфічності широко використовується ультразвуковий аналіз деформації у В-режимі, або спекл-трекінг (СТЕ) ехокардіографія (ЕхоКГ) [1–7], яка дає змогу проводити ранню діагностику ішемії міокарда часто на доклінічному етапі та кращу стратифікацію хворих зі стабільними та нестабільними формами ІХС щодо їх реваскуляризації [2–5]. Це допомагає краще верифікувати амбівалентні результати коронарної ангіографії (КАГ) або краще визначити показання до її проведення та реваскуляризації міокарда.

Ураження артеріальної системи серця можуть мати комплексний характер, тобто виникати на різних рівнях артеріальної системи серця, що зумовлює різні підходи до консервативного та інвазивного лікування хворих з ІХС (рисунок 1).

Кожен із методів діагностики ішемії міокарда за допомогою візуалізації деформації (СТЕ) або анатомічного ураження коронарних артерій (КАГ) має свої унікальні можливості визначення діагностичних ознак ІХС за даними різних об'єктів візуалізації, навіть коли вони не проявляються у стані спокою, але чітко визначаються в разі застосування навантажувальних проб (стрес-тест) з використанням ЕхоКГ як методу верифікації ішемії у вигляді порушень кінетики міокарда або падіння поздовжньої деформації (стрейну) в певних басейнах коронарного кровопостачання. При цьому діагностичні можливості цих методів не є за-

вжди ідентичними, зважаючи на численні варіанти коронарного кровопостачання, та не завжди збігаються, але їх сумісне застосування може дати цінну додаткову діагностичну інформацію, яку не можна отримати при їх ізольованому застосуванні. Тому сьогодні всі методи мультимодальної візуалізації розглядаються як взаємодоповнюючі, що дозволяє кращу діагностику та стратифікацію хворих з ІХС.

Метою дослідження було сформувати алгоритмічні підходи до ранньої діагностики ІХС за допомогою сумісного застосування СТЕ та КАГ з метою підвищення точності та зниження собівартості діагностики й лікування ІХС.

Матеріали та методи. Клінічним матеріалом роботи були дані сумісного обстеження методами СТЕ та КАГ 568 пацієнтів (425 (74,8 %) чоловіків та 143 (25,2 %) жінки) з наявністю або відсутністю клінічних проявів ІХС у стані спокою у віці $62,3 \pm 8,9$ року, направлених до нашого центру з метою верифікації діагнозу та визначення показань до коронарних втручань. З метою первинного оцінювання точності методу СТЕ хворі з гемодинамічно значущою клапанною патологією та повною блокадою лівої ніжки пучка Гіса або імплантованими штучними водіями ритму, а також з некоронарогенними кардіоміопатіями з дослідження не виключалися. Протокол дослідження був схвалений етичною комісією Національного інституту серцево-судинної хірургії імені М. М. Амосова НАМН України, та всі пацієнти підписали інформовану згоду на проведення дослідження. Всім хворим проводили ЕхоКГ зі СТЕ з оцінюванням поздовжнього стрейну лівого (ЛШ) та правого (ПШ) шлуночків перед або після КАГ.

Усі дослідження були проведені на УЗ-обладнанні Vivid E9 (General Electric, USA) датчиком M5S-D. Зображення для оцінювання деформації міокарда отримані в положенні пацієнта на лівому боці з парастернальної та апікальних 4-, 2- і 3-камерних позицій (A4C, A2C та A3C відповідно) із записом відео в стані спокою, на кожному ступені фармакологічного навантаження добутиаміном і в реституції. Двовимірні відео в режимі сірої шкали записувалися з частотою оновлення кадрів 60–70 Hz з метою оптимізації якості спекл-трекінгу з їх наступним аналізом у режимі «off-line». Кількісне оцінювання поздовжньої деформації проводили на програмній платформі УЗ-апарату Vivid E9.

Поздовжню деформацію (стрейн) оцінювали за допомогою СТЕ у В-режимі за стандартною методикою [1–3, 5, 7]. Кінець систоли ідентифікували за моментом закриття аортального клапана. Оператор проводив відмежування ендокарда з автоматичним розрахунком поздовжнього стрейну. Адекватний трекінг верифікували в режимі реальної часу та коригували за потреби шляхом мануальної корекції курсорів лінії ендокарда. Після завершення процесу трекінгу деформація міокарда автоматично відображалася



Рисунок 1. Структурна схема складових системи кровопостачання серця

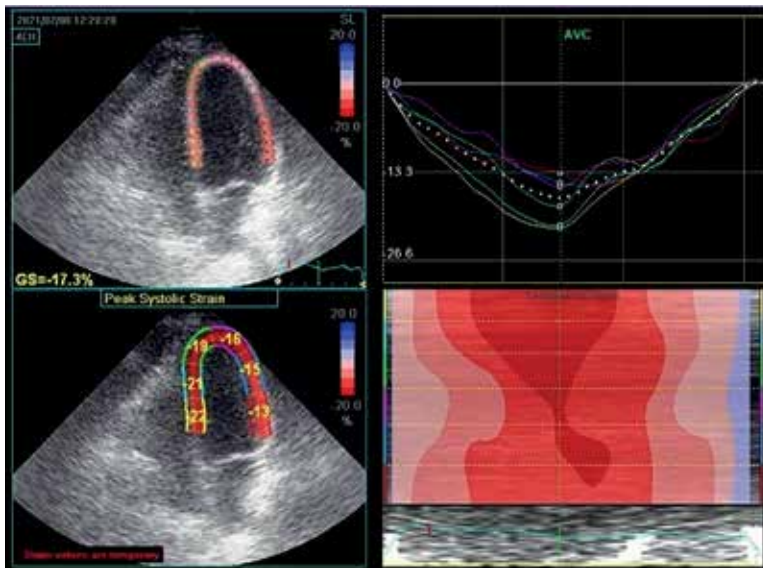


Рисунок 2. Приклад побудови кривих деформації в часі в А4С у пацієнта із значущим стенозом огинаючої гілки (ОГ) лівої коронарної артерії (ЛКА) – легке зниження стрейну всіх сегментів бокової стінки ЛШ

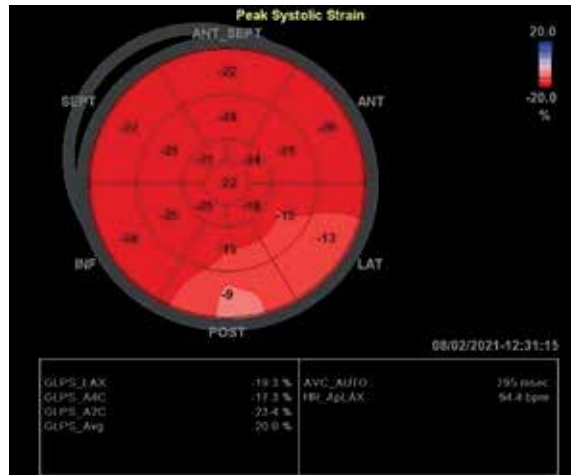


Рисунок 3. 17-сегментарна модель ЛШ (bull's eye): патерн помірно вираженої ішемії в басейні ОГ ЛКА – від легкого до локально помірного зниження поздовжнього стрейну базальної задньобочкової стінки ЛШ при глобально збереженому стрейні ЛШ (GLS = -20,0 %)

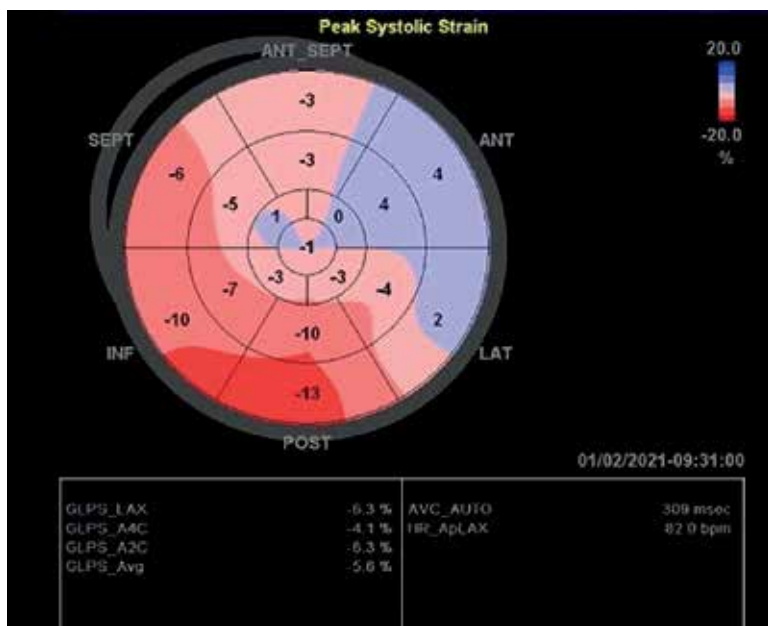


Рисунок 4. 17-сегментарна модель ЛШ (bull's eye): патерн важкої ішемії передньої МШП у басейні проксимальної передньої міжшлуночкової гілки (ПМШГ) ЛКА, гібернації або постінфарктного рубця передньобочкової стінки ЛШ в басейні ПМШГ («інверсія» стрейну з формуванням його аномально позитивного значення, що відбиває дискінез субендокардіального шару міокарда) та вираженої ішемії задньобочкової стінки ЛШ в басейні ОГ ЛКА. Помірне зниження нижньодіафрагмальної стінки (INF на схемі) може свідчити або про передавальний гіпокінез від сусідніх ішемізованих сегментів, або про ішемію в басейні ПКА. Результуюче значення GLS = -5,6 % відповідає важкому зниженню. За даними КАГ пацієнт мав 80 % стенозу стовбура ЛКА, субоклюзію (90–100 %) проксимальної ПМШГ та 80 % гілки тупого краю ОГ ЛКА, що зумовило рішення про хірургічне аорто- та мамаро-коронарне шунтування

програмою у вигляді значень поздовжнього стрейну для кожного сегмента та графіків деформації різних сегментів у часі (рисунок 2) та моделювання патерну деформації 17-сегментарної моделі ЛШ («bull's eye») (рисунки 3 та 4) після виконання трекингу в усіх 3 апікальних позиціях (A3C, A4C та A2C) з розрахунком абсолютного значення глобального поздовжнього стрейну (GLS) з негативним значенням відсотка скорочення міокарда. Оцінювання деформації ПШ з ви-

значенням поздовжнього стрейну «вільної» стінки та правої частини міжшлуночкової перегородки (МШП) з розрахунком глобального та «вільного» стрейну ПШ з метою додаткової верифікації ішемії та коронарного резерву в басейні правої коронарної артерії (ПКА) проводили ідентично оцінюванню деформації сегментів ЛШ в А4С позиції з фокусом на ПШ (рисунок 5).

Усім пацієнтам КАГ виконували за стандартною методикою за Judkins безпосередньо до чи після про-

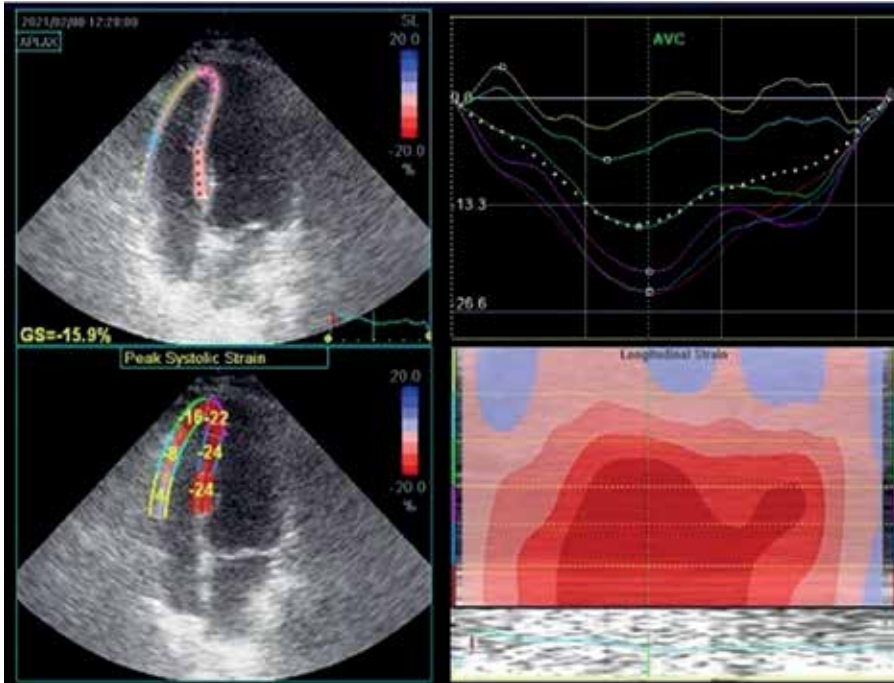


Рисунок 5. Приклад верифікації ішемії в басейні ПКА за допомогою оцінювання поздовжньої деформації ПШ – легке падіння ($-16,0\%$) апікального та важке падіння базального та середнього «вільного» стрейну з інверсією базального стрейну (від $-8,0$ до $+4,0\%$) з важким падінням глобального «вільного» стрейну ($GLS = -6,7\%$) при високому стрейні протягом усієї МШП (басейн інтактної ПМШГ) ($GLS = -23,3\%$)

ведення ЕхоКГ зі СТЕ. Зображення та відео оцінювали досвідчені оператори експертного рівня. Значущим вважалося ураження КА зі стенозуванням $> 70\%$ просвіту судини.

Для оброблення та аналізу клінічного матеріалу застосовували методи описової статистики. В усіх випадках значення розбіжностей $p < 0,05$ свідчило про статистичну достовірність отриманих даних.

Результати та обговорення. Середній вік чоловіків ($n = 425$, $74,8\%$) становив $61,6 \pm 8,7$ (39–83) року, жінок – ($n = 143$, $25,2\%$) $65,3 \pm 7,9$ (36–87) року. На початковому етапі дослідження були побудовані комбінаційні таблиці діагностичних знахідок при сумісному застосуванні СТЕ та КАГ, окремо для чоловіків і жінок (таблиці 1, 2).

При застосуванні обох методів патології не було виявлено у $5,2\%$ чоловіків та у $16,8\%$ жінок.

У $2,6\%$ чоловіків та $4,2\%$ жінок СТЕ виявило регіональні порушення деформації (стрейну) за відсутності значущого ураження коронарних артерій за даними КАГ. Така ситуація (хибнопозитивні результати СТЕ) може свідчити про: 1) наявність незначущої ішемії міокарда за рахунок вродженої звивистості дистальних гілок КА чи інтрамурального ходу КА або ішемії міокарда за рахунок ураження мікроциркуляції, що не діагностується під час КАГ; 2) ураження міокарда некоронарогенного походження.

В $1,2\%$ чоловіків та $4,2\%$ жінок КАГ виявила значущі або незначущі (до $50\text{--}70\%$) атеросклеротичні стенозуючі ураження КА за відсутності даних щодо

Таблиця 1

Розподіл частот виявлення патології КА методами КАГ та СТЕ у жінок

Жінки, n = 143	КАГ	
	0	1
СТЕ		
0	16,8 % (n = 24)	4,2 % (n = 6)
1	4,2 % (n = 6)	74,8 % (n = 107)

Таблиця 2

Розподіл частот виявлення патології КА методами КАГ та СТЕ у чоловіків

Чоловіки, n = 425	КАГ	
	0	1
СТЕ		
0	5,2 % (n = 22)	1,2 % (n = 5)
1	2,6 % (n = 11)	91,1 % (n = 387)

ішемії міокарда в цьому басейні за ознакою падіння деформації під час СТЕ. Така ситуація (хибнонегативні результати СТЕ) може свідчити про високий коронарний резерв за рахунок розвинутих колатералей життєздатного міокарда в цьому басейні.

Ішемію міокарда за даними як візуалізації коронарного русла під час КАГ, так і за даними характерного регіонального падіння стрейну за даними СТЕ було виявлено у $91,1\%$ чоловіків та $74,8\%$ жінок, що вказує на високу корельованість результатів за даними обох

Таблиця 3

Варіанти ймовірних діагностичних висновків при сумісному застосуванні КАГ та СТЕ

Знахідки на КАГ			
Знахідки на СТЕ	Наявність патології	Патології КА за даними КАГ не виявлено	Патологію КА за даними КАГ виявлено
	Ішемії за даними СТЕ не виявлено	Патології коронарного кровообігу не виявлено	Гемодинамічно незначущі стенози магістральних КА або високий коронарний резерв за рахунок колатерального кровообігу
	Ішемію за даними СТЕ виявлено	1) наявність незначущої ішемії міокарда за рахунок вродженої звивистості дистальних гілок КА чи інтрамурального ходу КА або ішемії міокарда за рахунок ураження мікроциркуляції, що не діагностується під час КАГ; 2) ураження міокарда некоронарогенного походження	Явний значущий стенозуючий атеросклероз або явна ішемія без достатнього коронарного резерву в стані спокою за рахунок інтрамурального ходу КА

методів. Крім того, такі результати свідчать про збіг ознак гемодинамічно значущих стенозів КА за даними обох методів, зокрема внаслідок інтрамурального ходу сегментів КА.

Результати аналізу комбінаційних таблиць 1 та 2 представлено у формалізованому вигляді в таблиці 3.

На завершальному етапі дослідження було проведено порівняльний аналіз можливостей КАГ та СТЕ (таблиця 4).

Таблиця 4 демонструє переваги одночасного застосування КАГ та СТЕ, оскільки кожен метод дає змогу визначити діагностичні ознаки, які не можуть бути виявлені іншим методом. Застосування такого підходу дозволяє підвищити точність діагностичних висновків з метою кращої стратифікації хворих з ІХС щодо консервативного лікування та реваскуляризації, а також скоротити час і витрати на діагностику й лікування хворих з ІХС. Цікавим та перспективним може бути проведення досліджень, спрямованих на оцінювання ефективності діагностики ІХС за допомогою

одночасного застосування методів мультиспіральної комп'ютерної томографії, СТЕ та/або КАГ. Такий аналіз є першою спробою в Україні оцінювання оптимізації діагностики порушень коронарного кровообігу за допомогою сумісного використання КАГ та СТЕ.

Висновки

Одночасне поєднання КАГ та СТЕ у хворих з ІХС дозволяє:

- визначити гемодинамічну значущість стенозів КА;
- визначити наявність або підозру на наявність уражень КА з інтрамуральним ходом;
- використовувати СТЕ як метод візуалізації зон ішемії в коронарних басейнах під час фармакологічних навантажувальних проб (стрес-тест) для оцінювання життєздатності та коронарного резерву у хворих з підозрою на ІХС та «амбівалентними» значеннями стенозів за даними КАГ;
- поєднане застосування КАГ та СТЕ, інтегральний аналіз їх результатів допомагає виявляти особливості порушень коронарного кровообігу, які не можуть бути виявлені кожним з методів окремо;
- комбіноване поєднання досліджень методами КАГ та СТЕ сприяє підвищенню точності діагностичних висновків і зниженню витрат на діагностику й лікування.

Список використаних джерел

References

1. Lazoryshynets VV, Kovalenko VM, Rudenko AV, Ivaniv YA, Beshlyaga VM, Potashev SV, et al. [Definition for a common standard for 2D speckle-tracking echocardiography]. *Cardiology and cardiac surgery: continuous professional development*. 2019;(2(02)):105-129. Ukrainian. <https://doi.org/10.30702/ccs.201905.02.2DST105129>. Лазоришинець ВВ, Коваленко ВМ, Руденко АВ, Іванів ЮА, Бешляга ВМ, Поташев СВ та ін. Визначення загального стандарту для 2D-спекл-трекінг ехокардіографії. *Кардіологія та кардіохірургія: безперервний професійний розвиток*. 2019;(2(02)):105-129.

Таблиця 4

Можливості виявлення діагностичних ознак патології артеріальної системи серця за даними СТЕ та КАГ

№ з/п	Діагностична ознака	СТЕ	КАГ
1	Наявність порушень коронарного кровопостачання	Так	Так
2	Анатомія та архітектоніка КА	Ні	Так
3	Патологія (стенози) магістральних КА	Ні	Так
4	Порушення коронарного кровопостачання при інтрамуральному ході КА	Так	Ні, якщо це не «м'язові містки»
5	Відсутність патології коронарного кровообігу	Так	Так

2. Pastore MC, Mandoli GE, Contorni F, Cavigli L, Focardi M, D'Ascenzi F, et al. Speckle tracking echocardiography: Early predictor of diagnosis and prognosis in coronary artery disease. *Biomed Res Int*. 2021 Feb 2;2021:6685378. <https://doi.org/10.1155/2021/6685378>.
3. Nesukai OH, Danylenko OO. [Role of speckle tracking echocardiography in the diagnosis and treatment of cardiovascular diseases]. *Hypertension*. 2018;2(58):33-43. Russian. <https://doi.org/10.22141/2224-1485.2.58.2018.131064>.
Несукай ЕГ, Даниленко АА. Роль спекл-трекинг ехокардиографії в діагностиці і ліченні серцево-судинних захворювань. *Артеріальна гіпертензія*. 2018;2(58):33-43.
4. Mahjoob MP, Alipour Parsa S, Mazarei A, Safi M, Khaheshi I, Esmaeeli S. Rest 2D speckle tracking echocardiography may be a sensitive but nonspecific test for detection of significant coronary artery disease. *Acta Biomed*. 2017;88(4):457-461. <https://doi.org/10.23750/abm.v88i4.5445>.
5. Geyer H, Caracciolo G, Abe H, Wilansky S, Carerj S, Gentile F, et al. Assessment of myocardial mechanics using speckle tracking echocardiography: fundamentals and clinical applications. *J Am Soc Echocardiogr* 2010;23(4):351-369. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2010.02.015>.
6. Ponikowski P, Voors AA, Anker SD, Bueno H, Cleland JGF, Coats AJS, et al. 2016 ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure: The Task Force for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure of the European Society of Cardiology (ESC) Developed with the special contribution of the Heart Failure Association (HFA) of the ESC. *Eur. Heart J*. 2016;37(27):2129-2200. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehw128>.
7. Sugimoto T, Dulgheru R, Bernard A, Ilardi F, Contu L, Addetia K, et al. Echocardiographic reference ranges for normal left ventricular 2D strain: results from the EACVI NORRE study. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging*. 2017 May 1;18(8):833-840. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jex140>.

Algorithmic Approaches in Diagnostic Decision Support for Combined Use of Speckle-Tracking Echocardiography and Coronary Angiography in Patients with Coronary Artery Disease

Nastenko E. A., Potashev S. V., Rybakova O. V., Didyk Yu. V.

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

Abstract

Background. Improving methods of coronary artery disease (CAD) diagnosis involves determining the most informative and less expensive methods. Speckle tracking echocardiography (STE) is now widely used for early myocardial ischemia diagnosis, allowing better verification of ambivalent results of coronary angiography (CAG).

The aim. To develop algorithmic approaches to early CAD diagnosis through the combined use of STE and CAG in order to increase accuracy and reduce the cost of diagnosis and treatment of CAD.

Methods. We examined 568 patients (425 [74.8%] men and 143 [25.2%] women) aged 62.3±8.9 years admitted to our center for diagnosis verification and establishing indications for coronary interventions. All the patients underwent CAG directly before or after STE.

Results. Through both methods no pathology was detected in 5.2% of men and 16.8% of women. In 2.6% of men and 4.2% of women, STE found no regional strain disorders in the absence of significant alterations in coronary arteries (CA) according to CAG. Such false-positive STE results may witness of: 1) insignificant myocardial ischemia due to congenital distal coronary branches tortuosity or intramural (I/M) CA course, as well as myocardial ischemia due to microcirculation disorders not diagnosed by CAG; 2) non-coronary myocardial dysfunction. In 1.2% of men and 4.2% of women, CAG found significant or insignificant (up to 50–70%) atherosclerotic stenotic lesions in the absence of data suggestive of myocardial ischemia by longitudinal strain “drop” during STE. Such false-negative STE results may witness of high coronary reserve due to advanced collateral circulation in viable myocardium in ischemic coronary area. Myocardial ischemia according to both coronary beds visualization through CAG, as well as according to characteristic regional strain decrease revealed by STE, was found in 91.1% men and 74.8% women, witnessing of high correlation of the results obtained through both methods. Such results show coincidence of signs of hemodynamically significant CA stenoses according to both methods, including I/M CA segments course.

Conclusions. Combination of CAG and STE in patients with CAD allows better determination of CA lesions hemodynamic significance, including I/M CA segments course, and to use STE as a non-invasive imaging technique in CAD, including pharmacological stress test. Combined CAG and STE use with integrated analysis thereof allows identification of coronary circulatory disorders that could not be detected separately, helping to increase diagnostic accuracy and to improve cost-effectiveness of diagnosis and treatment.

Keywords: *coronary atherosclerosis, non-invasive diagnosis, coronary interventions, ultrasound, longitudinal strain, hemodynamic significance, diagnostic accuracy.*

Стаття надійшла в редакцію 29.03.2021 р.

© 2021 The Authors. Published by Professional Edition Eastern Europe. This is an open access article under the CC BY-SA license (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).