

В.М. Коваленко, О.Г. Несукай, О.О. Даниленко, Н.С. Поленова, Є.Ю. Тітов, Національний науковий центр «Інститут кардіології ім. М.Д. Стражеска» НАМН України, м. Київ

Тривимірна ехокардіографія: оцінка структурно-функціонального стану порожнини серця

Розвиток технологій у галузі ультразвукового обладнання та стрімкий прогрес у сфері програмного забезпечення дозволяють отримати високу якість зображення при візуалізації серця, визначають нові напрями в оцінці анатомії серця, функції шлуночків та передсердь. Однак суттєвим обмеженням одномірних та двомірних режимів ехокардіографії (2D-ЕхоКГ) є неможливість отримати об'ємне зображення, що не дає змоги повною мірою оцінити структурно-функціональний стан серця [1, 2]. Завдяки появі тривимірної ЕхоКГ (3D-ЕхоКГ) значно розширилися діагностичні можливості ультразвукової діагностики серця, що зумовило активне використання цього методу в повсякденній клінічній практиці [3].

Процес формування тривимірних зображень серця включає три основні етапи: збір даних, їх форматування та представлення після запису. Детальний опис усіх етапів отримання тривимірних зображень здійснено нами в попередній публікації [4]. Важливо зазначити, що для оцінки структурно-функціонального стану порожнини серця повнооб'ємне сканування, синхронізоване з електрокардіограмою, має більш вагомий значення порівняно з режимом збору даних у реальному часі.

Під час проведення 3D-ЕхоКГ в повному об'ємі, синхронізованій з електрокардіограмою, зображення формується шляхом «зшивання», зазвичай від двох до шести підоб'ємів, кожен з яких відповідає одному серцевому циклу, при цьому сканування відбувається одночасно в трьох площинах – фронтальній, сагітальній та поперечній. Важливо, щоб під час збору даних забезпечувався якісний запис кривої електрокардіограми з чітким зубцем R. З метою уникнення артефактів обов'язково під час запису даних слід проводити затримку дихання. Якщо пацієнт не може затримати дихання чи спостерігається порушення ритму серця (фібриляція передсердь, екстрасистоля), 3D-ЕхоКГ в повному об'ємі, синхронізовану з електрокардіограмою, виконують у межах одного серцевого циклу [5].

Лівий шлуночок

Величини кінцево-діастолічного об'єму (КДО), кінцево-систолического об'єму (КСО) та фракції викиду (ФВ) лівого шлуночка (ЛШ) є важливими показниками, розрахунок яких обов'язковий у пацієнтів із серцево-судинними захворюваннями [6]. У зв'язку з широкою доступністю 2D-ЕхоКГ зазвичай є методом вибору для оцінки цих показників у повсякденній клінічній практиці. Однак метод має низку недоліків, а саме: необхідність геометричних припущень під час розрахунку об'ємів ЛШ у пацієнтів з асиметричним ремоделюванням ЛШ; заниження довжини істинної поздовжньої осі ЛШ, що є причиною недооцінки об'єму ЛШ; часом неможливість отримання якісного зображення всіх стінок та/або сегментів міокарда ЛШ, що залежить як від субоптимальної візуалізації серця, так і від досвіду оператора [1].

3D-ЕхоКГ є перспективним новим методом оцінки стану ЛШ у пацієнтів із серцево-судинними захворюваннями. Вона дозволяє швидше, точніше

та з меншою залежністю від досвіду оператора проводити об'ємні розрахунки ЛШ та його ФВ порівняно з одномірним та 2D режимами ЕхоКГ [1, 7, 8] (рис. 1). Для цього достатньо лише провести ідентифікацію декількох анатомічних орієнтирів ЛШ з двокамерної і чотирикамерної позиції (верхівка ЛШ та дві точки мітрального клапана), і програмне забезпечення автоматично виконає трасування ендокарду з розрахунком КДО, КСО, ФВ ЛШ та маси міокарда ЛШ (ММЛШ), при цьому інформація може бути представлена у якісному й кількісному вигляді (рис. 2).

Як правило, висока якість зображення є необхідною умовою для проведення точних кількісних розрахунків глобальної функції ЛШ. Ручне редагування автоматично визначеної лінії ендокарду може знадобитися для підвищення точності вимірів, особливо у пацієнтів з неоптимальним акустичним вікном [9, 10]. Деякі автори повідомляють, що об'єми ЛШ під час проведення 3D-ЕхоКГ є заниженими, коли успішній візуалізації підлягає менш ніж 60% поверхні ендокарду [11]. За цих умов використання контрастних речовин дозволяє підвищити точність вимірювань [12, 13].

У метааналізі, який включав 95 досліджень та ставив за мету порівняти об'ємні показники ЛШ шляхом проведення 3D-ЕхоКГ і магнітно-резонансної томографії (МРТ) як «золотого стандарту», було показано, що величина КДО при 3D-ЕхоКГ була нижчою за таку за даними МРТ на 9,9 мл, величина КСО була меншою лише на 4,7 мл, тоді як різниця величини ФВ становила 0,13% [14]. В іншому дослідженні об'ємні вимірювання ЛШ, здійснені в режимі 3D-ЕхоКГ, достовірно корелювали з результатами МРТ: $r=0,96$, $r=0,97$ і $r=0,93$ відповідно для КДО, КСО та ФВ з їх середнім відхиленням 17 мл, 16 мл, 6,4% [15].

ММЛШ є не менш важливим прогностичним чинником порівняно з ФВ [16], особливо у пацієнтів із гіпертонічною хворобою [17]. Під час проведення 3D-ЕхоКГ ММЛШ визначають на основі напівавтоматичного обведення ендокардіальної та епікардіальної меж ЛШ з подальшим автоматичним розрахунком досліджуваного показника (рис. 2). У низці досліджень продемонстровано достатню точність і високу відтворюваність при визначенні ММЛШ на основі 3D-ЕхоКГ [18, 19]. Середні

величини ММЛШ, отримані під час проведення 3D-ЕхоКГ, достовірніше корелюють з величинами ММЛШ на основі МРТ ($r=0,86$, $p<0,0001$) порівняно з даними 2D-ЕхоКГ ($r=0,71$, $p<0,001$) та одномірної ЕхоКГ ($r=0,48$, $p<0,01$) [20]. Також слід зазначити, що відтворюваність показника ММЛШ при 3D-ЕхоКГ є кращою, ніж така для 2D-ЕхоКГ: варіабельність величини ММЛШ між дослідниками становить 12,5% у разі застосування 3D-ЕхоКГ та 24,1% – для 2D-ЕхоКГ [21].

Поява тканинної міокардіальної доплерографії і спекл-трекінг ехокардіографії (СТЕ) у двомірному режимі дозволила кількісно виразити скоротливість міокарда ЛШ не лише на глобальному, а й на сегментарному рівні. Однак якщо суттєвим обмеженням тканинної доплерографії є необхідність орієнтації ультразвукового променя паралельно напрямку руху досліджуваних структур, то слабкою

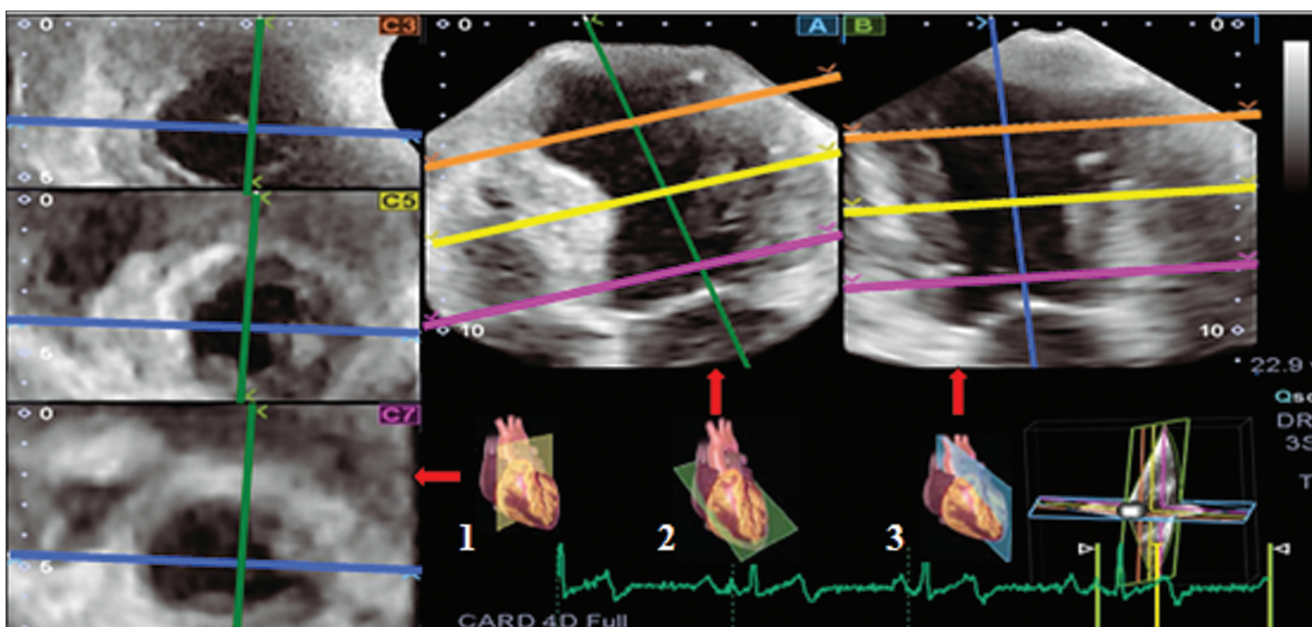


Рис. 1. Тривимірне зображення ЛШ з апікального доступу, отримане шляхом запису чотирьох серцевих циклів

А – чотирикамерна позиція ЛШ під час сканування серця у фронтальній площині (2); В – двокамерна позиція ЛШ під час сканування серця у сагітальній площині (3); С3, С5, С7 – поперечні зрізи порожнини ЛШ на рівні верхівки, середнього відділу та базального відділу відповідно під час сканування серця в поперечній площині (1).



В.М. Коваленко

О.Г. Несукай

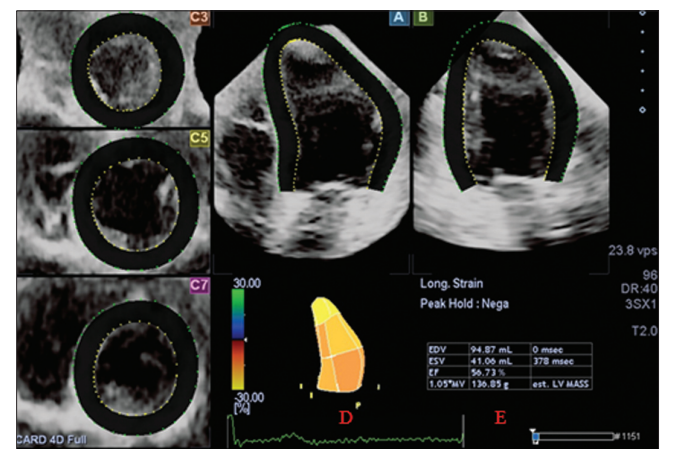


Рис. 2. Тривимірне зображення ЛШ та представлення інформації у якісному (D) і кількісному (E) вигляді

А – чотирикамерна позиція ЛШ; В – двокамерна позиція ЛШ; С3, С5, С7 – поперечні зрізи порожнини ЛШ на рівні верхівки, середнього відділу та базального відділу відповідно. EDV – КДО; ESV – КСО; EF – ФВ.

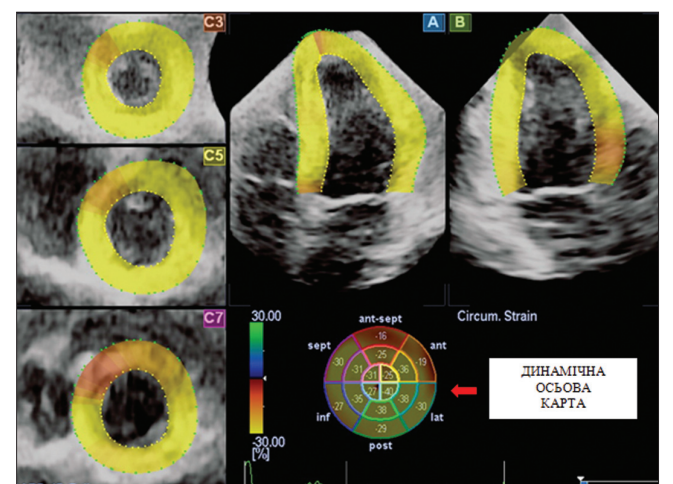


Рис. 3. Приклад тривимірної СТЕ з визначенням циркулярної деформації ЛШ у здорової особи та представлення даних у вигляді динамічної осової карти і кольорового картування

сторону іншого методу є значні витрати часу на проведення дослідження, коли для аналізу всіх компонентів деформації 16 сегментів ЛШ потрібно здійснити запис шести відеокліпів, використовуючи як апікальний, так і парастернальний доступи. Ці проблеми було вирішено завдяки появі 3D-ЕхоКГ, яка має значний потенціал для того, щоб стати методом вибору для оцінки регіональної скоротливості ЛШ, субклінічного виявлення порушень його насосної функції та відбору пацієнтів для виконання ресинхронізації серця [22-25]. Успішне визначення деформації міокарда ЛШ під час проведення 3D-ЕхоКГ можливе у 63-83% пацієнтів [26-28]. Після запису лише одного відеокліпу з апікального доступу можна отримати величини глобальної і регіональної деформації міокарда ЛШ в трьох напрямках (поздовжньому, циркулярному та радіальному) [29, 30], що займає лише третину часу, який би знадобився для розрахунку показників поздовжньої, циркулярної і радіальної деформації за умови виконання СТЕ у 2D-режимі [31]. Результати визначення деформації ЛШ можуть бути кількісно представлені у вигляді динамічної осової карти, яка має 16 секторів, що відповідає 16 сегментам ЛШ. Крім того, напрямком деформації ЛШ та його амплітуда також можуть бути виражені через відтінки певного кольору (рис. 3).

3D-ЕхоКГ надає нові можливості для оцінки регіональної скоротливості ЛШ, має особливі переваги під час проведення стрес-ЕхоКГ. У зв'язку з коротким періодом регіонального порушення скоротливості внаслідок транзиторної ішемії швидкий збір даних на піку навантаження є дуже важливим. І саме можливість виконання одночасних зрізів ЛШ у всіх площинах з одного доступу значно зменшує тривалість періоду збору даних та дозволяє підвищити діагностичну точність фармакологічної стрес-ЕхоКГ [32, 33] (рис. 4).

Так, у проведених дослідженнях показано більшу чутливість 3D-стрес-ЕхоКГ для діагностики атеросклеротичного ураження передньої низхідної артерії порівняно з 2D-стрес-ЕхоКГ – 87 проти 78% відповідно ($p < 0,01$) [32, 33].

3D-ЕхоКГ стає перспективним методом для оцінки внутрішньошлуночкової механічної диссинхронії, що, зокрема, дозволяє покращити відбір

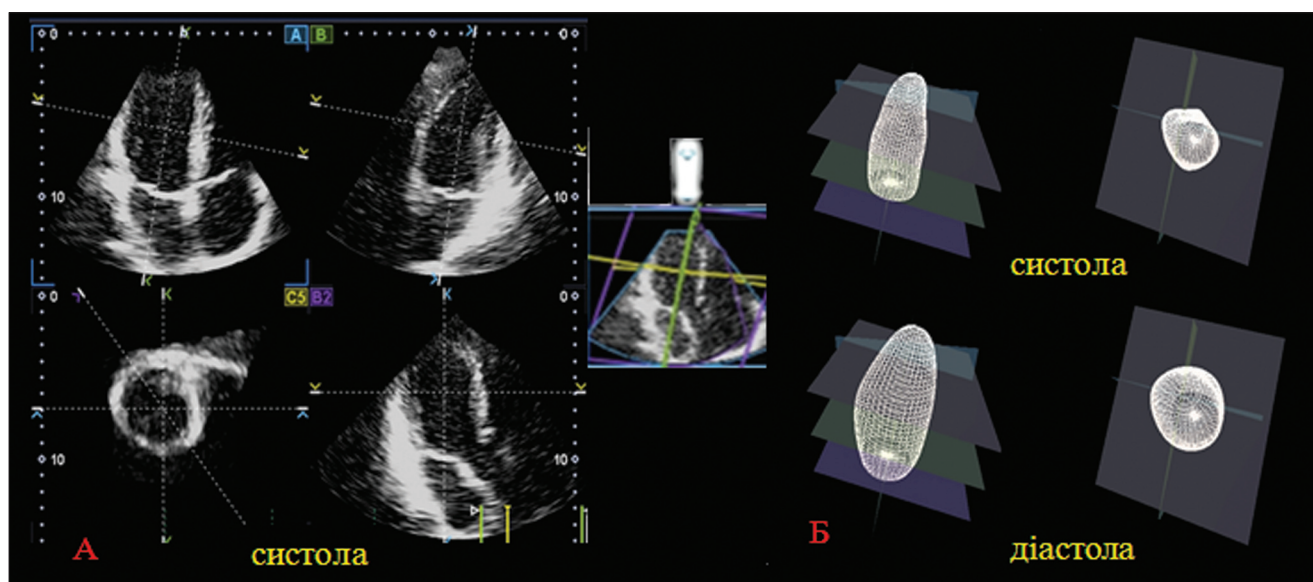


Рис. 4. Тривимірне зображення ЛШ з візуалізацією всіх 16 сегментів ЛШ

А – одночасне зображення чотирикамерної (А), двокамерної (В) трикамерної (В2) позиції та поперечний переріз ЛШ на рівні папілярних м'язів (С5) у момент закінчення систоли ЛШ під час проведення 3D-ЕхоКГ з апікального доступу;
Б – об'ємний вигляд ЛШ під час проведення 3D-ЕхоКГ в систолу та діастолу.

пацієнтів із серцевою недостатністю, які потребують проведення ресинхронізуючої терапії [34, 35]. Серед показників механічної диссинхронії часто використовують систолічний індекс диссинхронії, який розраховують як стандартне відхилення часу до мінімального систолічного об'єму кожного сегменту ЛШ. У дослідженні Kleijn та співавт. за участю 27 пацієнтів, яким було проведено ресинхронізуючу терапію, було показано, що значення індексу систолічної диссинхронії 6,4% з чутливістю 88% та специфічністю 60% дає змогу передбачити зворотне ремоделювання ЛШ [23]. Soliman та співавт., застосувавши значення індексу систолічної диссинхронії 10%, підвищили чутливість показника до 96%, а специфічність – до 88% [24].

Правий шлуночок

Проведення об'ємних розрахунків та оцінка функції правого шлуночка (ПШ) з використанням 2D-ЕхоКГ є складним завданням у зв'язку з його особливою проекцією в грудній клітці, складною асиметричною геометрією, вираженою трабекулярністю [36].

Завдяки появі 3D-ЕхоКГ можна отримувати об'ємні показники ПШ – КДО і КСО та розраховувати ФВ ПШ, що було неможливо у разі застосування 2D-ЕхоКГ (рис. 5). У дослідженні Н.В. van der Zwaan і співавт. було виявлено лише помірної сили кореляційний зв'язок між лінійними розмірами ПШ, визначеними під час проведення 2D-ЕхоКГ, та КДО за даними МРТ ($r=0,32-0,77$), тоді як об'ємні показники ПШ, розраховані під час виконання 3D-ЕхоКГ, достовірно корелювали з відповідними величинами ПШ, отриманими шляхом проведення МРТ ($r=0,71-0,97$) [37].

Нещодавно Tamborini та співавт. [38] запропонували нормативні значення об'ємних показників ПШ з урахуванням статі та площі поверхні тіла (табл.).

Систолічну екскурсію кільця тристулкового клапана та пікову систолічну швидкість його зміщення нині широко використовують як рутинні показники систолічної функції ПШ [39, 40]. Однак у дослідженні G. Tamborini та співавт. [41], у якому 3D-ЕхоКГ було проведено для оцінки систолічної функції ПШ під час динамічного спостереження за пацієнтами, прооперованими з приводу вираженої мітральної регургітації, показано, що зниження систолічної екскурсії кільця тристулкового клапана та пікової систолічної швидкості його зміщення не слід вважати індикаторами зниження глобальної систолічної функції ПШ після оперативного втручання.

Ліве передсердя

Протягом серцевого циклу ліве передсердя (ЛП) виконує резервуарну, кондуктну функцію та забезпечує активне наповнення ЛШ в пізню діастолу (скоротлива функція). Значення кожної з цих функцій у забезпеченні ударного об'єму ЛШ становить 40, 35 і 25% відповідно [42]. Збільшене ЛП можна спостерігати при різних серцево-судинних захворюваннях, що асоціюється з розвитком нових епізодів фібриляції передсердь, церебральних ішемічних подій та підвищує ризик смерті [43-45]. Зазвичай

Таблиця. Гендерні особливості КДО, КСО та ФВ ПШ [38]

Показник	КДО (мл) M±m	іКДО (мл/м²) M±m	КСО (мл) M±m	іКСО (мл/м²) M±m	ФВ (%) M±m
Разом	86±21	49±10	29±11	16±6	67±8
Чоловіки	99±14		35±7		64±8
Жінки	74±14		23±7		69±8

під час оцінки розмірів ЛП використовують 2D-ЕхоКГ і М-режим ЕхоКГ. Поява 3D-ЕхоКГ зумовила численні переваги в оцінці структури та функції ЛП [46]. У дослідженні A. Rohner і співавт. було виявлено значний кореляційний зв'язок між величинами мінімального й максимального об'єму ЛП за даними 3D-ЕхоКГ порівняно з такими під час проведення комп'ютерної томографії ($r=0,95$, $p < 0,001$; $r=0,92$, $p < 0,001$; $r=0,82$, $p < 0,001$ відповідно) [47]. 3D-ЕхоКГ дає змогу вивчати фазову структуру об'єму ЛП протягом серцевого циклу, що дозволяє встановити роль кожної фази в забезпеченні серцевого викиду [48].

Важливо зазначити, що завдяки сучасному програмному забезпеченню під час виконання 3D-ЕхоКГ, крім об'ємних параметрів ЛП, можна досліджувати також величини його деформації та швидкість деформації, міжпередсердну і внутрішньопередсердну диссинхронію [49, 50] (рис. 6). Так, у пацієнтів із серцевою недостатністю існує зв'язок між внутрішньопередсердною та міжпередсердною диссинхронією і збільшенням величини натрійуретичного пептиду в крові ($r=0,3$, $p=0,01$) [51]. Крім того, порушення поздовжньої деформації ЛП є найбільш точним та раннім показником діастолічної дисфункції ЛШ у хворих із серцевою недостатністю зі збереженою ФВ ЛШ та корелює з функціональним класом за NYHA [52]. 2007 року Кокуби та співавт. з'ясували, що деформація і швидкість деформації ЛП знижені у пацієнтів з гіпертонічною хворобою порівняно зі здоровими особами незалежно від дилатації ЛП чи гіпертрофії ЛШ [53].

Після проведення кардіоверсії з метою відновлення синусового ритму у хворих з фібриляцією передсердь величини деформації та швидкість деформації ЛП залишаються зниженими, що зумовлено оглушенням ЛП [54]. Thomas та співавт. продемонстрували, що покращення скоротливості ЛП після кардіоверсії відбувається поступово і максимальне відновлення систолічної деформації ЛП припадає лише на кінець 4-го тижня. Однак час до пікової деформації, який зазвичай є подовженим в осіб з фібриляцією передсердь, не завжди нормалізується після кардіоверсії, що є проявом персистуючої дисфункції ЛП, незважаючи на відновлення синусового ритму [55].

Таким чином, нині 3D-ЕхоКГ вже широко використовується в повсякденній клінічній практиці, має велике значення для оцінки об'єму камер серця та маси міокарда, визначення глобальної і регіональної функції порожнин серця. Крім того, важливими напрямками 3D-ЕхоКГ є подальше вивчення механічної диссинхронії, а також візуалізація серця під час проведення стрес-Ехо КГ.

Список літератури знаходиться в редакції.

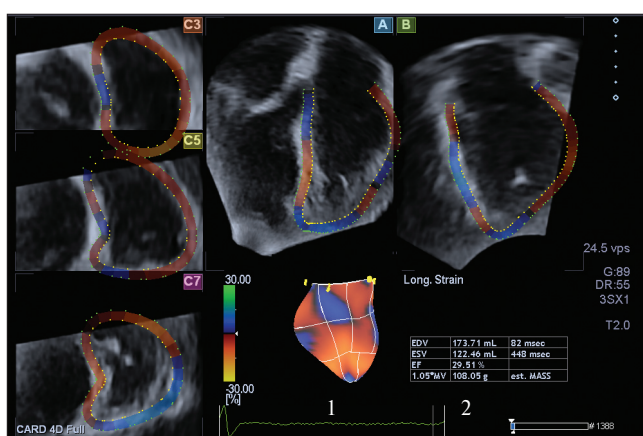


Рис. 5. Тривимірне зображення ПШ з апікального доступу у пацієнта з дилатацією ПШ та зниженням його систолічної функції

А – переріз ПШ у фронтальній площині;
Б – переріз ПШ у сагітальній площині;
С3, С5, С7 – поперечні зрізи порожнини ПШ на рівні верхівки, середнього відділу та базального відділу відповідно.
Інформація представлена у якісному (1) та кількісному (2) вигляді, де EDV – КДО, ESV – КСО, EF – ФВ.

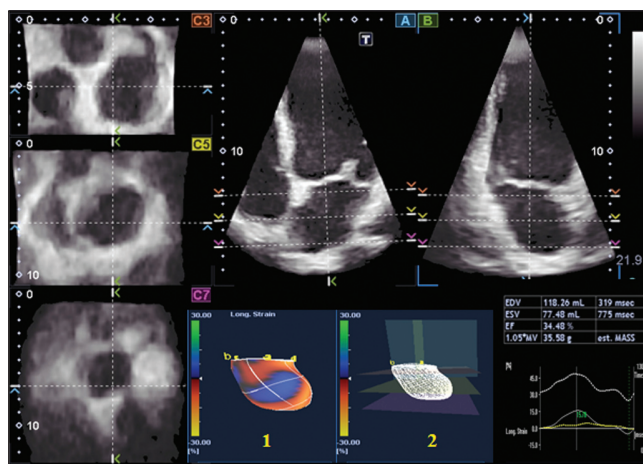


Рис. 6. Тривимірне зображення ЛП. Одночасне сканування ЛП з чотирикамерної (А), двокамерної (В) та трьох поперечних проекцій (С3, С5, С7) і представлення даних у вигляді просторового тривимірного зображення (1, 2), об'ємних показників (3) та кривих деформації (4)