

Мультипараметрична магнітно-резонансна томографія серця для стратифікації ризику несприятливих клінічних подій при дилатаційній кардіоміопатії: роль T1, T2-картування та об'єму позаклітинного простору

Раад Таммо¹ ID 1.A,D,E,F, Г. Є. Морковкіна¹ ID 1.B,C,E, А. В. Сидорова¹ ID 1.B,C,E, Є. Є. Цасюк¹ ID 1.B,E, Н. М. Руденко¹ ID 1,2,E,F

¹ДУ «Науково-практичний медичний центр дитячої кардіології та кардіохірургії МОЗ України», м. Київ,

²Національний університет охорони здоров'я України імені П. Л. Шупика, м. Київ

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:

магнітно-резонансна томографія серця, патологія міокарда, стратифікація ризику, дисфункція лівого шлуночка, дилатаційна кардіоміопатія, T1-картування, T2-картування, позаклітинний об'єм.

Keywords:

cardiac magnetic resonance, myocardial pathology, risk stratification, left ventricular dysfunction, dilated cardiomyopathy, T1 mapping, T2 mapping, extracellular matrix.

Надійшла до редакції /
Received: 15.12.2025

Після доопрацювання /
Revised: 26.01.2026

Схвалено до друку /
Accepted: 11.02.2026

Конфлікт інтересів:
відсутній.

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

© The Author(s) 2026
This is an open access article under the
[Creative Commons](#)
[CC BY-NC 4.0 license](#)

Мета роботи – оцінити асоціацію кількісних параметрів магнітно-резонансної томографії серця (нативного T1-картування, об'єм позаклітинного простору та T2-картування) з ризиком несприятливих клінічних подій у дорослих і дітей із дилатаційною кардіоміопатією.

Матеріали і методи. До дослідження залучено 76 пацієнтів із дилатаційною кардіоміопатією (48 дорослих і 28 дітей), яким виконано мультипараметричну МРТ серця на 1,5 Тесла. Оцінювали об'ємно-функціональні показники лівого шлуночка, наявність пізнього контрастного підсилення, нативне T1- та T2-картування і об'єм позаклітинного простору. Первинна комбінована кінцева точка – смерть або трансплантація серця. Результати дослідження опрацювали з застосуванням кореляційного аналізу, кривих Каплана–Меєра та уніваріантної регресії Кокса.

Результати. У дорослих пацієнтів показники T1-картування та об'єм позаклітинного простору підвищені порівняно з референтними значеннями. У простому міжгруповому порівнянні кількісні параметри тканинної характеристики міокарда не відрізнялися у групах пацієнтів, які мали несприятливі події та без них. Водночас у time-to-event аналізі підвищені значення об'єму позаклітинного простору, а також нативного T1-картування у безперервному аналізі асоціювалися з ризиком смерті або трансплантації серця. Основні предиктори подій – зниження фракції викиду та збільшення індексів об'ємів лівого шлуночка. У дітей T1-картування та об'єм позаклітинного простору підвищені вже в ранньому віці, однак не виявлено статистично значущої асоціації з ризиком несприятливих подій; ключовий прогностичний чинник – фракція викиду лівого шлуночка. Показники T2-картування не мали значущого зв'язку з клінічними подіями ні у дорослих, ні у дітей.

Висновки. Кількісні МРТ-параметри (T1-картування та об'єм позаклітинного простору) характеризують дифузні структурні зміни міокарда при дилатаційній кардіоміопатії. У всіх пацієнтів ризик несприятливих клінічних подій (смерть або трансплантація серця) асоціювався насамперед із тяжкістю ремоделювання лівого шлуночка та зниженням фракції викиду, а кількісні параметри тканинної характеристики міокарда (T1-, T2-картування, об'єм позаклітинного простору) не мали значущих відмінностей у простому міжгруповому порівнянні, але можуть мати додаткову цінність у довгостроковій стратифікації ризику.

Сучасні медичні технології. 2026. Т. 18, № 1(68). С. 12-20

Multiparametric cardiac magnetic resonance imaging for risk stratification of adverse clinical outcomes in dilated cardiomyopathy: the role of native T1, T2 mapping and extracellular volume

Raad Tammo, H. Ye. Morkovkina, A. V. Sydorova, Ye. Ye. Tsasiuk, N. M. Rudenko

Aim: to evaluate the association of quantitative cardiac magnetic resonance (CMR) parameters – native T1 mapping, extracellular volume fraction (ECV), and T2 mapping – with adverse clinical outcomes in adults and children with dilated cardiomyopathy (DCM).

Materials and methods. Seventy-six patients with DCM (48 adults and 28 children) underwent multiparametric CMR at 1.5 Tesla. Left ventricular volumes and function, late gadolinium enhancement (LGE), native T1 and T2 mapping, and ECV were assessed. The primary composite endpoint was death or heart transplantation. Correlation analysis, Kaplan–Meier survival analysis, and univariable Cox proportional hazards models were applied.

Results. In adults, native T1 and ECV values were significantly elevated compared with reference ranges. In simple intergroup comparison, quantitative parameters of myocardial tissue characteristics did not differ between patients with and without adverse events. However, in time-to-event analysis, higher ECV values and continuous native T1 mapping were associated with an increased risk of death or heart transplantation. The main predictors

of events remained a decrease in ejection fraction and an increase in left ventricular volume indices. In the pediatric cohort, native T1 and ECV were elevated relative to age-specific reference values, indicating early diffuse myocardial remodeling. Nevertheless, these parameters were not significantly associated with adverse clinical events. Left ventricular systolic dysfunction was the main determinant of prognosis in children. T2-mapping did not demonstrate a significant association with clinical events in either adults or children.

Conclusions. Quantitative CMR parameters (T1 mapping and ECV) reflect diffuse structural changes in the myocardium in dilated cardiomyopathy. In all patients, the risk of adverse clinical events (death or heart transplantation) was primarily associated with the severity of left ventricular remodeling and reduced ejection fraction, while quantitative parameters of myocardial tissue characteristics (T1-, T2-mapping, ECV) did not show significant differences in a simple intergroup comparison but may have additional value in long-term risk stratification.

Modern medical technology. 2026;18(1):12-20

Дилатаційна кардіоміопатія (ДКМП) є однією з провідних причин хронічної серцевої недостатності та найпоширеніших показань до трансплантації серця у пацієнтів працездатного віку. Захворювання характеризується дилатацією лівого шлуночка або бівентрикулярною дилатацією зі зниженням систолічної функції, але в пацієнта не виявлено значущої коронарної патології, клапанних вад чи патологічних змін навантаження, якими можна пояснити ступінь міокардіальної дисфункції [1]. Незважаючи на сучасні досягнення у лікуванні, ДКМП асоційована з високою захворюваністю та смертністю, а п'ятирічна летальність становить майже 20 % [2].

Раптова серцева смерть – один із головних чинників летальних наслідків у пацієнтів із ДКМП, призводить до майже 30 % усіх смертей у цій популяції [2,3]. Імплантований кардіовертер-дефібрилятор є ефективним методом профілактики раптової серцевої смерті [4]. Відповідно до чинних рекомендацій Американської асоціації серця та Європейського товариства кардіологів, показання до імплантації кардіовертера-дефібрилятора для первинної профілактики ґрунтуються переважно на фракції викиду лівого шлуночка (ФВ ЛШ) <35 % у пацієнтів із симптомною серцевою недостатністю (NYHA II–III) [1,3].

Дані, накопичені за останні десятиліття, свідчать, що значна частка пацієнтів із ДКМП, у яких виникає раптова серцева смерть, мають лише помірне зниження або навіть відносно збережену систолічну функцію. Реєстрові та обсерваційні дослідження показали: у 70–80 % пацієнтів із ДКМП і раптовою серцевою смертю фракція викиду лівого шлуночка становить 35 % або більше [5,6]. Однак більшість хворих, яким імплантують кардіовертер-дефібрилятор відповідно до чинних критеріїв, протягом тривалого періоду спостереження не зазнають жодного адекватного терапевтичного розряду пристрою. Ці спостереження підкреслюють обмеженість використання ФВ ЛШ як єдиного сурогатного маркера ризику та вказують на критичну потребу в точніших, патофізіологічно обґрунтованих інструментах стратифікації ризику раптової серцевої смерті у пацієнтів із ДКМП [7].

Магнітно-резонансна томографія (МРТ) серця має унікальний потенціал для оптимізації стратифікації ризику при ДКМП завдяки можливості неінвазивного мультипараметричного оцінювання функції, морфології та тканинних характеристик міокарда [8]. Пізнь контрастне підсилення (late gadolinium enhancement, LGE) є референтним стандартом для виявлення замісного фіброзу та показало незалежну прогностичну цінність щодо ризику раптової серцевої смерті

та загальної смертності у пацієнтів із ДКМП, зокрема при ФВ ЛШ ≥ 35 %. Проте LGE обмежене у здатності виявляти дифузні інтерстиціальні зміни міокарда, що можуть відігравати ключову роль у формуванні аритмогенного субстрату [9].

Сучасні методи кількісної МРТ, зокрема нативне T1-картування та обрахунок об'єму позаклітинного простору (extracellular volume, ECV), забезпечують можливість кількісного оцінювання дифузного інтерстиціального фіброзу та ремодельовання міжклітинного матриксу [8,10]. T2-картування дає змогу виявляти набрякові та запальні зміни міокарда, а аналіз деформації міокарда, зокрема глобальної поздовжньої деформації (global longitudinal strain), є чутливим індикатором субклінічних порушень скоротливої функції. Разом ці параметри характеризують різні аспекти патофізіології ДКМП, що не охоплені традиційним оцінюванням ФВ ЛШ [11].

Незважаючи на це, у попередніх дослідженнях і мета-аналізах вивчали передусім окремі МРТ-показники, як-от наявність або локалізація LGE, без комплексної інтеграції кількісних параметрів тканинної характеристики, деформаційних показників і клінічних даних. Такий фрагментарний підхід обмежує можливість формування надійних, клінічно застосовних моделей прогнозування.

У цьому контексті комплексна мультипараметрична МРТ серця може стати ключовим інструментом для вдосконалення стратифікації ризику раптової серцевої смерті та персоналізації лікувальної тактики у пацієнтів із дилатаційною кардіоміопатією, особливо в підгрупі з фракцією викиду лівого шлуночка ≥ 35 %, для яких оптимальна стратегія профілактики аритмічних подій залишається невизначеною.

Мета роботи

Оцінити асоціацію кількісних параметрів магнітно-резонансної томографії серця (нативного T1-картування, об'єм позаклітинного простору та T2-картування) з ризиком несприятливих клінічних подій у дорослих і дітей із дилатаційною кардіоміопатією.

Матеріали і методи дослідження

На базі відділення променевої діагностики ДУ «Науково-практичний медичний центр дитячої кардіології та кардіохірургії МОЗ України» обстежено 76 пацієнтів із встановленим діагнозом дилатаційної кардіоміопатії, яким виконали

магнітно-резонансну томографію серця за стандартизованим протоколом. До дослідження, яке здійснили у 2022–2025 роках, залучено і дорослих, і дітей.

До дорослої групи увійшли 48 пацієнтів-чоловіків віком від 18 до 71 року (середній вік – $34,0 \pm 14,2$ року). До дитячої групи залучили 28 пацієнтів віком від 0,1 до 18,0 років (середній вік – $4,2 \pm 3,8$ року): 14 (50 %) хлопців і 14 (50 %) дівчат. Вік визначали на етапі виконання МРТ серця.

До дослідження залучали пацієнтів із дилатацією лівого шлуночка та порушенням його систолічної функції, в яких не виявлено ураження коронарних артерій або інших причин ішемічної кардіоміопатії. Усі пацієнти (для дітей – їхні законні представники) надали письмову інформовану згоду на участь.

Із дослідження виключено пацієнтів з ішемічною кардіоміопатією, гемодинамічно значущими вадами серця, кардіоміопатіями іншого ґенезу, неконтрольованою артеріальною гіпертензією, протипоказаннями до МРТ або введення гадолінієвих контрастних препаратів, а також обстежених, у яких отримано зображення недостатньої якості.

Магнітно-резонансну томографію серця виконали з електрокардіографічною синхронізацією та затримкою дихання на сканері з напруженістю магнітного поля 1,5 Т. Для оцінювання об'ємів та функції лівого і правого шлуночків застосовано стандартні кінематичні послідовності зі збалансованою сталою прецесією (balanced steady-state free precession, bSSFP). Зрізи отримано у стандартних довгих (дво-, три- та чотирикамерна проєкції) та коротких осях, що охоплювали весь лівий шлуночок від основи до верхівки. Кінцево-діастолічні та кінцево-систолічні об'єми, масу міокарда та фракцію викиду лівого шлуночка обраховували шляхом планіметрії ендо- та епікардіальних контурів. Пізньоконтрастне підсилення виконали через 10–15 хвилин після введення контрастної речовини.

Нативне T1-картування виконали до введення контрастної речовини з використанням модифікованої інверсійно-відновлювальної послідовності (MOLLI), зазвичай у середині міжшлуночкової перетинки на рівні середніх сегментів лівого шлуночка. Післяконтрастне T1-картування здійснили через 15–20 хвилин після введення контрасту у тій самій анатомічній позиції для обчислення ECV, а T2-картування використано для кількісного оцінювання набрякових і запальних змін міокарда.

Постобробку й аналіз МРТ-зображень незалежні дослідники здійснили з використанням спеціалізованого програмного забезпечення. T1-, T2-картування та ECV-аналіз виконано у стандартизованих сегментах міокарда з уникненням зон з артефактами та ділянок із вираженим LGE. Усі кількісні параметри усереднювали для наступного статистичного аналізу.

Дослідження схвалені комісією з питань біомедичної етики ДУ «Науково-практичний медичний центр дитячої кардіології та кардіохірургії Міністерства охорони здоров'я України» та здійснені відповідно до принципів біоетики, викладених у Гельсінській декларації «Етичні принципи медичних досліджень за участю людей» та «Загальній декларації про біоетику та права людини (ЮНЕСКО)».

Дані, отримані в дослідженні, опрацьовано за допомогою ліцензійної програми на робочій станції Syngo.via з використанням програмного забезпечення MR Cardiac Analysis

(Siemens Healthineers, Erlangen, Німеччина), серійний номер 131888.

Статистичний аналіз виконано з використанням стандартного програмного забезпечення. Неперервні змінні наведено як середнє \pm стандартне відхилення, категоріальні – як n (%). Відповідність закону нормального розподілу оцінювали тестом Шапіро–Вілка. Для порівняння неперервних змінних використано t -критерій Стюдента або критерій Манна–Вітні, для категоріальних – χ^2 або точний критерій Фішера. Кореляційний аналіз здійснили з використанням коефіцієнта Пірсона або Спірмена залежно від характеру розподілу даних. Аналіз виживаності виконано методом Каплана–Меєра з порівнянням кривих log-rank тестом; час до події визначали від дати МРТ серця до настання події або завершення спостереження.

Асоціацію МРТ-параметрів (T1, T2, позаклітинний об'єм, наявність LGE) і морфофункціональних показників (ФВ ЛШ, індексований кінцево-діастолічний об'єм (КДІ) та індексований кінцево-систолічний об'єм (КСІ) лівого шлуночка) з ризиком несприятливих подій оцінювали за допомогою регресії пропорційних ризиків Кокса з поданням hazard ratio та 95 % довірчих інтервалів; до мультиваріантних моделей включали клінічно релевантні коваріанти, зокрема вік та етіологію ДКМП. Статистично значущими вважали відмінності при $p < 0,05$.

Статистичні дані, отримані в дослідженні, опрацьовано за допомогою безкоштовних засобів IBM SPSS Statistics.

Результати

Вік дорослих пацієнтів становив $34,0 \pm 14,2$ року (від 18 до 71 року), усі обстежені – чоловіки (48/48, 100 %). За етіологією ДКМП ідіопатичну форму виявлено у 25 (52,1 %), постміокардитичну – у 20 (41,7 %), сімейну – у 3 (6,2 %) пацієнтів. У дорослих обстежених із дилатаційною кардіоміопатією середні значення кількісних параметрів магнітно-резонансної томографії серця становили: нативний час T1 – $1085,7 \pm 93,1$ мс (970,0–1400,0 мс), T2 – $47,5 \pm 4,6$ мс (39,0–61,0 мс), об'єм позаклітинного простору (ECV) – $30,4 \pm 5,5$ % (23,0–55,0 %). Встановлено достовірне підвищення T1-картування та ECV, а параметри T2-картування переважно перебували в межах або наближалися до референтних значень для здорових дорослих (T1 – $1000,0 \pm 20,0$ мс, T2 – $45,0 \pm 2,7$ мс, ECV – $24,90 \pm 1,53$ %) [10,12] (рис. 1).

Середні показники функції та геометрії ЛШ характеризували тяжке ремоделювання: ФВ лівого шлуночка – $21,0 \pm 6,5$ % (8,0–35,0 %), кінцево-діастолічний індекс – $182,6 \pm 68,2$ мл/м² (105,0–442,0 мл/м²), кінцево-систолічний індекс – $145,4 \pm 63,0$ мл/м² (50,0–367,0 мл/м²). Пізньоконтрастне підсилення виявлено у 29 (60,4 %) пацієнтів.

У пацієнтів із нижчими значеннями ФВ і більшими КДІ і КСІ лівого шлуночка встановлено тенденцію до вищих значень нативного T1-картування та ECV. Водночас кореляційний аналіз не виявив статистично значущого монотонного зв'язку між цими показниками ($p > 0,05$). Це свідчить про складний, нелінійний характер взаємозв'язку між дифузним фіброзом і ремоделюванням лівого шлуночка (табл. 1).

Значення T2-картування не мали суттєвого зв'язку з показниками функції або об'ємами ЛШ ($p \approx 0$, $p = 0,987$), а

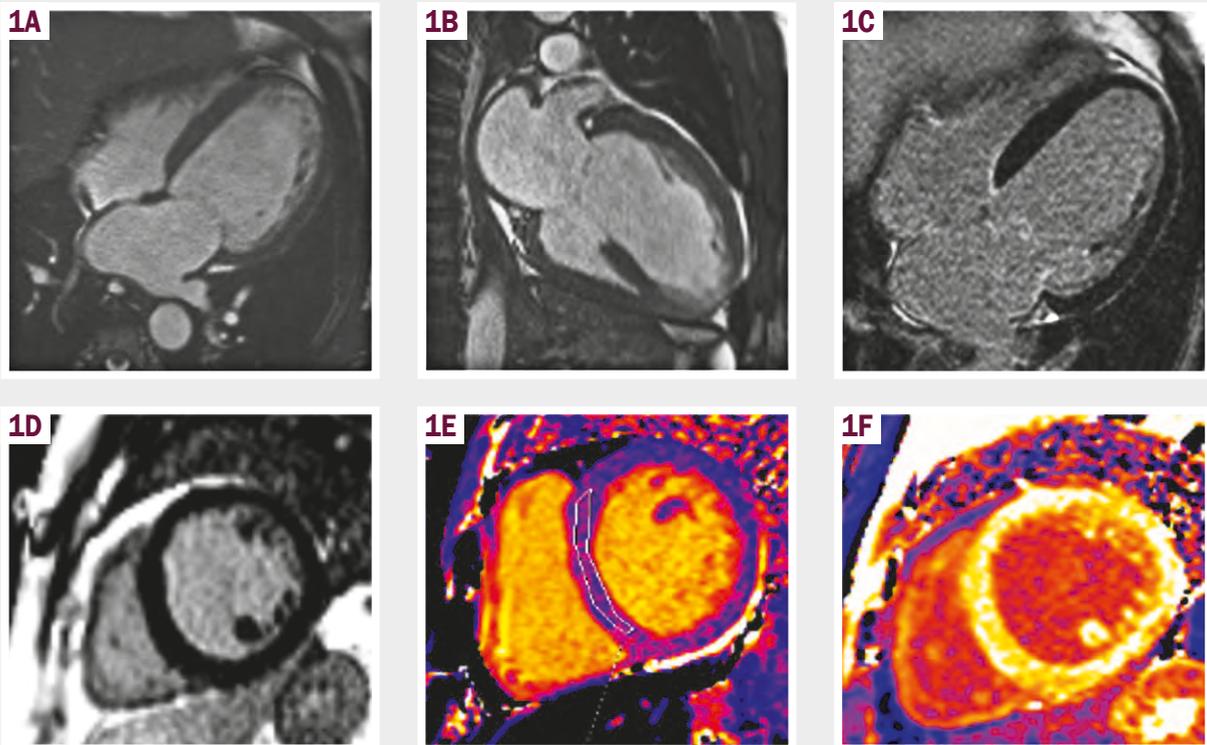


Рис. 1. МРТ серця пацієнта з ДКМП, ФВ – 33 %, КДІ – 138 мл/м²: в чотирикамерній проєкції (А), у двокамерній проєкції (В) у кіно-режимі. При пізньому контрастному підсиленні в чотирикамерній проєкції (С) та по короткій осі (D) накопичення контрасту немає, LGE – 0 %. Нативне T1-картування (E) становило 1070 мс. Постконтрастне T1-картування (F): об'єм позаклітинного простору – 38 %.

отже немає зв'язку між маркерами активного міокардіального запалення та ступенем систолічної дисфункції в обстежених пацієнтів.

Протягом періоду спостереження у групі дорослих зафіксовано несприятливі клінічні події: летальний наслідок – у 16 (33,3 %) пацієнтів, трансплантація серця – у 4 (8,3 %). Крім того, 10 (20,8 %) пацієнтам імплантовано кардіостимулятор за клінічними показаннями.

Під час контрольного спостереження через 36 місяців усі пацієнти, які не мали летальних подій або трансплантації серця раніше, залишалися живими – 17 (35,4 %), одному пацієнтові виконано трансплантацію нирки (2,1 %). Для попереднього аналізу ризику сформовано комбіновану кінцеву точку «несприятлива подія», яка включала смерть або трансплантацію серця (n = 20); група без цієї події (n = 28) включала пацієнтів з імплантацією кардіостимулятора, що розглядали як окрему клінічну подію та враховували як цензурування в аналізі виживаності.

У групі з несприятливою подією визначено нижчу ФВ ЛШ ($16,4 \pm 4,5$ % vs $24,3 \pm 5,6$ %, $p < 0,001$) і вищі значення КДІ ($221,1 \pm 79,3$ мл/м² vs $155,2 \pm 42,3$ мл/м², $p = 0,002$) та КСІ ($185,1 \pm 69,4$ мл/м² vs $117,0 \pm 38,8$ мл/м², $p < 0,001$) порівняно з групою без події.

За результатами простого міжгрупового порівняння, кількісні параметри тканинної характеристики міокарда (T1-картування, T2-картування та ECV) статистично значущо не відрізнялися ($p > 0,05$). Частота LGE також зівставна у групах дослідження (60,0 % vs 60,7 %, $p = 1,0$). Отже, за

даними простого міжгрупового порівняння, ризик несприятливих подій у дорослих пацієнтів переважно асоціювався з тяжкістю ремоделювання лівого шлуночка (КДІ/КСІ) та зниженням його систолічної функції, а кількісні параметри тканинної характеристики міокарда не мали відмінностей без урахування часу до події.

З огляду на обмеження простого міжгрупового порівняння без урахування часу до події, надалі аналіз здійснили з використанням методів оцінювання виживаності. У виживальному аналізі, що здійснили з використанням кривих Каплана–Мейера, підвищені значення ECV асоційовані з достовірно вищим ризиком настання комбінованої кінцевої точки (рис. 2). Для T1-картування при поділі за медіанним значенням статистично значущих відмінностей кривих виживаності не виявлено, що характеризує обмеження дихотомізації безперервного показника (рис. 3). Дані T2-картування не асоційовані з ризиком несприятливих подій (рис. 4).

У регресійному аналізі пропорційних ризиків Кокса, де нативне T1-картування та ECV аналізували як безперервні змінні, обидва показники мали статистично значущу асоціацію з ризиком смерті або трансплантації серця в уніваріантному аналізі Кокса. Це підтверджує потенційну роль дифузного фіброзу міокарда у time-to-event аналізі.

У дитячій когорті – 28 пацієнтів із дилатаційною кардіоміопатією віком від 0,1 до 18,0 року, яких поділили на три підгрупи залежно від віку: 0–1 рік, 2–6 років і 7–18 років. За період спостереження комбінована кінцева точка, що включала смерть або трансплантацію серця, настала у 14 (50,0 %)

Таблиця 1. Кореляція кількісних МРТ-показників із функцією лівого шлуночка у дорослих пацієнтів

Параметр, одиниці вимірювання	ФВ ЛШ, ρ (p)	КДІ, ρ (p)	КСІ, ρ (p)
T1, мс	-0,18 (0,228)	0,17 (0,249)	0,18 (0,210)
ECV, %	-0,15 (0,294)	0,09 (0,531)	0,17 (0,258)
T2, мс	-0,00 (0,987)	0,10 (0,491)	0,12 (0,417)

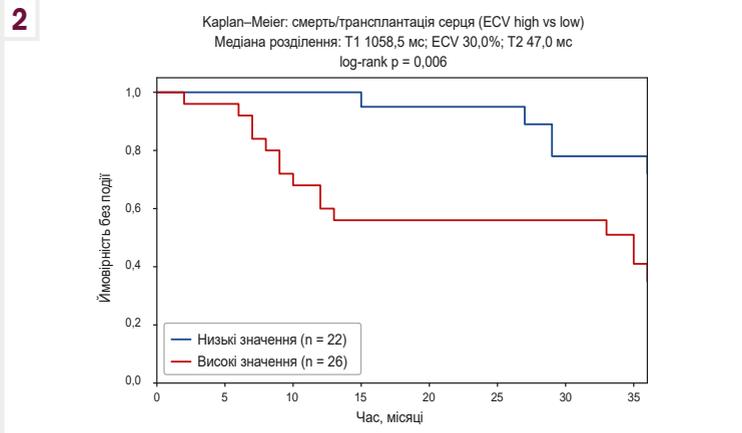


Рис. 2. Криві Каплана–Меєра для комбінованої кінцевої точки у дорослих пацієнтів із ДКМП залежно від рівня ECV.

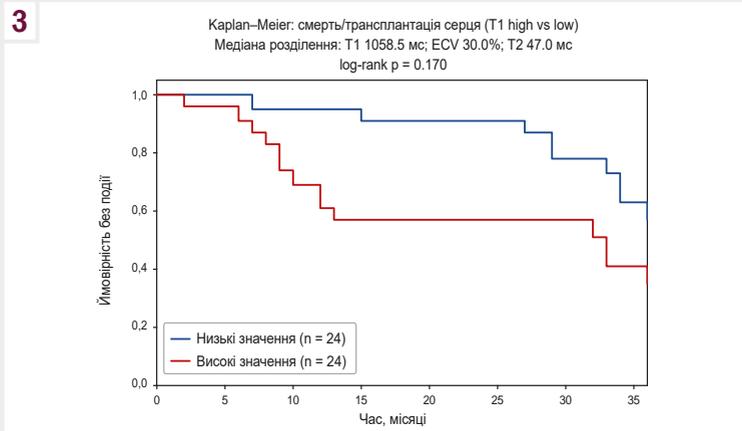


Рис. 3. Криві Каплана–Меєра для комбінованої кінцевої точки залежно від нативного T1-картування.

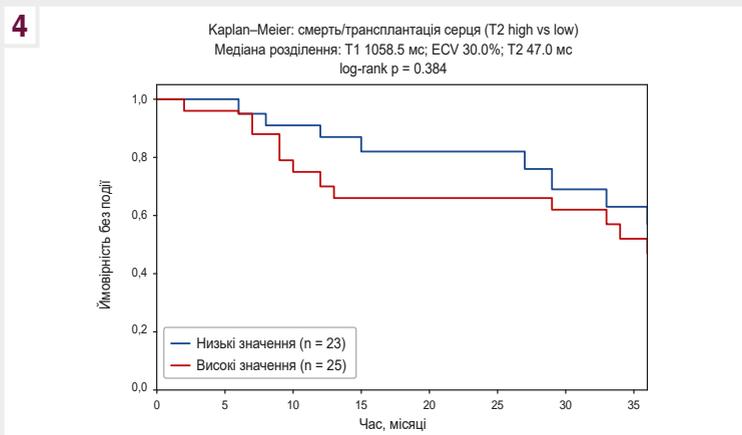


Рис. 4. Криві Каплана–Меєра для комбінованої кінцевої точки залежно від значень T2-картування.

пацієнтів – 11 смертей і 3 трансплантації. Пізні контрастне підсилення зафіксовано у 2 (7,1 %) дітей.

У загальній дитячій когорті середні значення нативного T1-картування та ECV підвищені порівняно з віковими референтними значеннями [10,12], а показники T2-картування варіабельні з тенденцією до підвищення, особливо у молодшій віковій групі.

Середні значення кількісних параметрів становили: T1 – 1079 ± 60 мс, ECV – $30,9 \pm 3,7$ %, T2 – $54,4 \pm 8,1$ мс. Функція ЛШ значно знижена: ФВ – $23,3 \pm 8,8$ %, КДІ – $188,3 \pm 49,7$ мл/м², КСІ – $146,3 \pm 50,6$ мл/м²; це свідчить про тяжке ремоделювання та систолічну дисфункцію у більшості дітей.

Беручи до уваги вікові референтні значення для 1,5-Теслового МРТ серця, підвищення нативного T1-картування визначено в усіх групах за віком, і тому зробили висновок про наявність дифузних інтерстиціальних змін міокарда вже у ранньому віці.

Об'єм позаклітинного простору в усіх вікових підгрупах також підвищений щодо референтних меж у дітей ($25,00 \pm 1,72$ %). Це узгоджується з даними T1-картування та свідчить про дифузне ремоделювання міжклітинного матриксу. Показники T2-картування у середньому перевищували норму ($45,0 \pm 2,7$ мс), найбільші значення зафіксовано в дітей першого року життя, однак без чітких ознак гострого дифузного запального процесу (табл. 2).

У виживальному аналізі з використанням кривих Каплана–Меєра при стратифікації пацієнтів за медіанними значеннями T1-картування, ECV та T2-картування статистично значущих відмінностей за виживаністю або настанням комбінованої кінцевої точки не виявлено ($p > 0,05$). Аналогічно з цим наявність LGE не була асоційована з достовірно вищим ризиком несприятливих подій, хоча встановлено тенденцію до гіршого прогнозу у пацієнтів із LGE, що не досягла статистичної значущості, з огляду на низьку частоту цього феномена (рис. 5, 6, 7).

У регресійному аналізі пропорційних ризиків Кокса для комбінованої кінцевої точки (смерть або трансплантація серця) кількісні параметри тканинної характеристики міокарда, зокрема нативне T1-, T2-картування та ECV, не мали статистично значущої асоціації з ризиком настання події. Так, показник T1-картування (на кожні 50 мс) мав відношення ризиків (HR) 1,04 (95 % довірчий інтервал (ДІ) 0,67–1,61; $p = 0,867$), ECV (на кожні 5 %) – HR 0,92 (95 % ДІ 0,48–1,75; $p = 0,791$), а T2-картування (на кожні 5 мс) – HR 1,17 (95 % ДІ 0,84–1,62; $p = 0,350$).

Зниження фракції викиду лівого шлуночка асоційоване з підвищенням ризиком несприятливих клінічних подій: збільшення ФВ ЛШ на кожні 5 % супроводжувалося зниженням ризику комбінованої кінцевої точки (HR 0,59; 95 % ДІ 0,37–0,93; $p = 0,022$). Показники КДІ та КСІ лівого шлуночка не досягли статистичної значущості у прогнозуванні подій (HR 1,17; $p = 0,536$ та HR 1,27; $p = 0,385$ відповідно).

Наявність LGE асоціювалася з тенденцією до вищого ризику настання комбінованої кінцевої точки (HR 2,89), однак ця асоціація не досягла статистичної значущості (95 % ДІ 0,63–13,29; $p = 0,172$). Імовірно, це зумовлено низькою частотою виявлення LGE у дитячій когорті.

Обговорення

Згідно з результатами численних досліджень і метааналізів, наявність і поширеність пізнього контрастного підсилення у дорослих пацієнтів з неішемічною дилатаційною кардіоміопатією асоціюються з підвищеним ризиком несприятливих клінічних подій незалежно від фракції викиду лівого шлуночка. У цьому контексті LGE є важливим інструментом додаткової стратифікації ризику [13].

Крім LGE у фаховій літературі активно обговорюють роль нативного T1-картування та ECV як маркерів дифузного інтерстиціального фіброзу міокарда. У низці праць щодо дорослих пацієнтів із дилатаційною кардіоміопатією ці параметри асоціювали з прогнозом і визначали як потенційне доповнення до традиційних показників ремоделювання та фракції викиду [14].

У дорослій когорті, яку обстежили під час нашого дослідження, також зафіксовано підвищення T1/ECV щодо референтних значень, а аналіз виживаності показав їхню потенційну прогностичну цінність у time-to-event підході. Це відповідає сучасним даним про те, що дифузний фіброз може впливати на віддалений ризик, навіть коли прості перехресні порівняння груп не показують різниці [15].

Водночас у нашому дослідженні, незважаючи на підвищення T1-картування та ECV відносно референтних значень, ці показники не мали статистично значущої асоціації з ризиком комбінованої кінцевої точки. Основним прогностичним чинником у когорті обстежених залишалася тяжкість систолічної дисфункції лівого шлуночка, що підтверджено достовірним зв'язком між фракцією викиду та ризиком смерті або трансплантації серця.

Такі розбіжності з даними інших досліджень можуть бути зумовлені відмінностями у розмірі вибірки, дизайні дослідження, тривалості спостереження, а також гетерогенністю етіологічних чинників ДКМП. Крім того, фракція викиду лівого шлуночка є інтегральним показником, що характеризує сумарний вплив структурних змін, геометрії, навантаження та тривалості захворювання, а T1 та ECV характеризують лише окремих аспекти патологічного ремоделювання міокарда.

Тканинна характеристика міокарда при ДКМП у дітей значно менше описана, ніж у дорослих. Автори окремих праць досліджували LGE у дітей із ДКМП і виявили потенційну асоціацію LGE із тяжчим перебігом, наголошуючи при цьому на малих вибірках і неоднорідності фенотипів [16]. У нашій дитячій когорті частота LGE низька (7,1 %), і це могло обмежити статистичну потужність для виявлення його впливу на події. Згідно з даними наукової літератури, частота та значення LGE у дітей варіюють залежно від дизайну дослідження, віку, етіологічного спектра та протоколу МРТ [16].

Дані щодо прогностичної ролі кількісних МРТ-параметрів у дітей із дилатаційною кардіоміопатією доволі обмежені. Згідно з сучасними даними, виявити дифузний фіброз за допомогою T1-картування та ECV можливо, але його незалежну прогностичну цінність у педіатричній популяції досі не доведено [17].

Результати цього дослідження доповнюють сучасні дані та дали змогу встановити, що у дітей підвищення T1-картування та ECV виявляють вже у ранньому віці, що свідчить про ранні

Таблиця 2. Кількісні МРТ-показники у дітей із дилатаційною кардіоміопатією

Підгрупа за віком	n	T1, мс (mean ± SD)	T2, мс (mean ± SD)	ECV, % (mean ± SD)	ФВ ЛШ, % (mean ± SD)
0–1 рік	9	1095 ± 77	58,7 ± 10,2	30,6 ± 3,8	20,0 ± 6,0
2–6 років	11	1070 ± 44	52,5 ± 7,1	30,4 ± 2,3	24,8 ± 10,4
7–18 років	8	1073 ± 62	52,0 ± 5,3	32,1 ± 5,2	24,8 ± 9,2

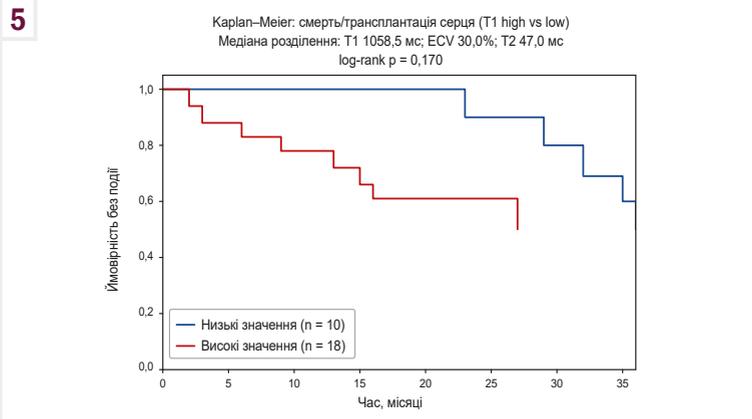


Рис. 5. Криві Каплана–Меєра для комбінованої кінцевої точки у дітей із ДКМП залежно від рівня ECV. Завершення кривої у групі з високими значеннями ECV зумовлене тим, що такі події не зафіксовано у пізніші терміни спостереження та відповідним цензуруванням даних.

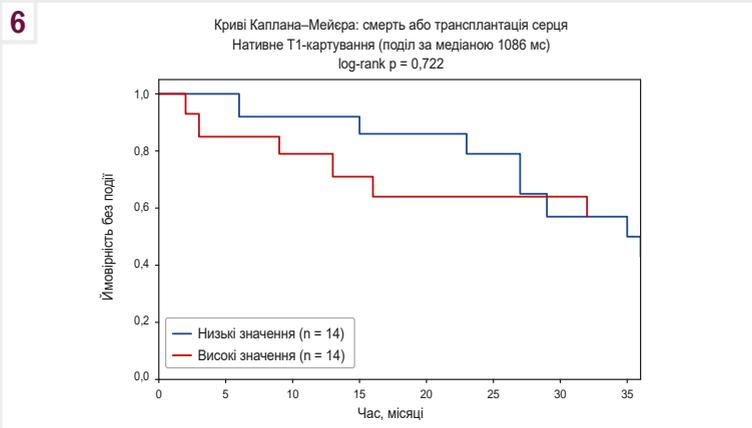


Рис. 6. Криві Каплана–Меєра для комбінованої кінцевої точки у дітей залежно від значень нативного T1-картування.

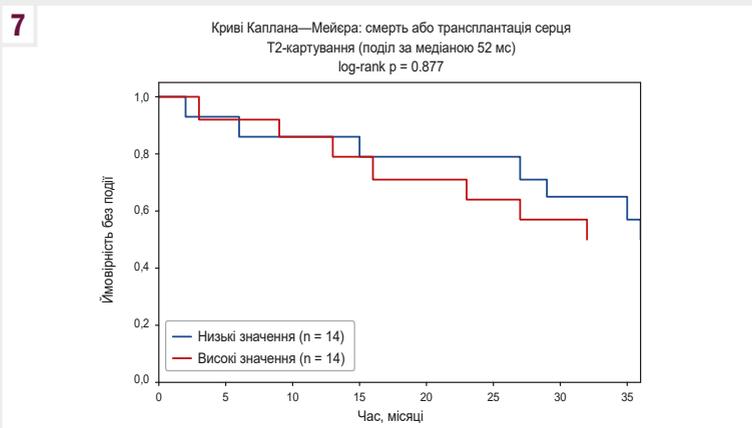


Рис. 7. Криві Каплана–Меєра для комбінованої кінцевої точки у дітей залежно від значень T2-картування.

структурні зміни міокарда. Разом із тим у межах періоду спостереження ці параметри не були асоційовані з ризиком смерті або трансплантації серця, а ключовим детермінантом прогнозу залишалася тяжкість систолічної дисфункції лівого шлуночка.

Отже, отримані дані не суперечать результатам попередніх досліджень, а уточнюють їх, підтверджуючи, що у дитячій популяції дифузні тканинні зміни можуть передувати клінічним подіям, але не обов'язково визначають коротко- або середньостроковий прогноз.

У результаті цього дослідження не виявлено асоціацію між показниками T2-картування та прогнозом. Ці дані збігаються з відомостями, що одержали під час інших досліджень, автори яких показали: T2 є маркером активного набряку або запалення і має обмежену прогностичну цінність при хронічному перебігу дилатаційної кардіоміопатії, коли активний міокардит не виявлено [8].

Не виявлено статистично значущої асоціації T1-картування та ECV із ризиком несприятливих подій у простому міжгруповому аналізі, однак підтверджено, що вони можуть характеризувати дифузні структурні зміни міокарда. Це може мати значення у довготривалому прогнозуванні.

Дослідження має низку обмежень, які слід враховувати під час інтерпретації отриманих результатів. По-перше, воно мало обсерваційний характер і здійснено в одному центрі, що може обмежувати екстраполяцію результатів на ширше коло пацієнтів. По-друге, відносно невеликий обсяг вибірки, особливо у дитячій когорті, а також обмежена кількість клінічних подій могли знизити статистичну потужність аналізу й унеможливити виявлення слабших асоціацій між кількісними параметрами МРТ і прогнозом. По-третє, аналіз LGE ґрунтувався переважно на факті його наявності, без детального кількісного оцінювання об'єму фіброзу, що могло обмежити прогностичну інформативність цього показника. Крім того, не виконували багатофакторний аналіз із залученням усіх потенційних клінічних і терапевтичних чинників, що могли впливати на прогноз. Врешті, тривалість спостереження, особливо у дитячій когорті, могла бути недостатньою для повного оцінювання віддаленого впливу дифузних структурних змін міокарда на клінічні наслідки.

Висновки

1. У пацієнтів із дилатаційною кардіоміопатією і в дорослій, і в дитячій когорті показники нативного T1-картування та об'єму позаклітинного простору підвищені порівняно з референтними значеннями. Це підтверджує дифузні інтерстиціальні зміни міокарда.

2. У дорослих пацієнтів ризик несприятливих клінічних подій (смерть або трансплантація серця) асоціювався насамперед із тяжкістю ремоделювання лівого шлуночка та зниженням фракції викиду, а кількісні параметри тканинної характеристики міокарда (T1-картування, ECV, T2-картування) значущо не відрізнялися, за результатами простого міжгрупового порівняння, але можуть мати додаткову цінність у віддаленій стратифікації ризику.

3. У дитячій когорті дифузні структурні зміни міокарда, виявлені за підвищенням T1-картування та ECV, виявлено

вже у ранньому віці, однак у межах періоду спостереження ці показники не були асоційовані з ризиком смерті або трансплантації серця.

4. Основний прогностичний чинник у дітей із дилатаційною кардіоміопатією – тяжкість систолічної дисфункції лівого шлуночка. Це підтверджує провідну роль функціональних показників у прогнозуванні перебігу захворювання в дитячому віці.

5. Показники T2-картування не мали значущого зв'язку з клінічними подіями ні у дорослих, ні у дітей. Це відповідає уявленню про обмежену прогностичну роль маркерів активного запалення при хронічному перебігу дилатаційної кардіоміопатії.

6. Результати дослідження підтверджують необхідність віково-специфічного підходу до інтерпретації кількісних МРТ-параметрів та обмежують пряме перенесення прогностичних моделей, розроблених для дорослих, на дитячу популяцію.

Перспективи подальших досліджень. Ця робота є початковим етапом для фундаментальних тривалих досліджень з оцінювання стану міокарда та виявлення фіброзу при ДКМП за допомогою T1- та T2-картування. З погляду практики це є основою для вдосконалення стратифікації ризику раптової серцевої смерті та персоналізації лікувальної тактики у пацієнтів із дилатаційною кардіоміопатією, оцінювання несприятливих клінічних подій і відбору пацієнтів для трансплантації. Майбутні мультицентрові дослідження щодо кількісного оцінювання фіброзних змін міокарда за допомогою T1- та T2-картування та об'єму позаклітинного простору сприятимуть стандартизації цих показників.

Етичне схвалення

Дослідження здійснили з використанням даних первинної медичної документації, воно включало клінічні спостереження за пацієнтами. Дослідження виконано відповідно до етичних стандартів Гельсінської декларації Всесвітньої медичної асоціації про етичні принципи проведення наукових медичних досліджень за участю людини, директиви Європейського товариства 86/609 про участь людей у медико-біологічних дослідженнях, а також наказу Міністерства охорони здоров'я України № 690 від 23.09.2009 р. Інформовану згоду на участь отримано від усіх учасників після надання їм зрозумілої, повної та доступної інформації про мету, дизайн і методологію дослідження, його потенційні ризики, очікувані переваги та можливі альтернативи. Усі учасники підтвердили свою добровільну участь шляхом підписання документа про інформовану згоду. Дослідження схвалене Комісією з етики Державної установи «Науково-практичний медичний центр дитячої кардіології та кардіохірургії МОЗ України» (протокол від 27.01.2026 року № 01).

Фінансування

Фінансування видатками державного бюджету України. Дослідження є фрагментом прикладної науково-дослідної роботи Державної установи «Науково-практичний медичний центр дитячої кардіології та кардіохірургії МОЗ України»: «Використання можливостей T1 та T2 mapping (картування) при МРТ обстеженні серця в діагностиці захворювань міокарду», державний реєстраційний № 0123U101494 (2023–2025 рр.).

Відомості про авторів:

Раад Таммо, канд. мед. наук, лікар-рентгенолог, зав. відділення променевої діагностики, ДУ «Науково-практичний медичний центр дитячої кардіології та кардіохірургії МОЗ України», м. Київ.
ORCID ID: 0000-0001-7506-9449

Морковкіна Г. Є., лікар-рентгенолог, відділення променевої діагностики, ДУ «Науково-практичний медичний центр дитячої кардіології та кардіохірургії МОЗ України», м. Київ.
ORCID ID: 0000-0001-6457-0836

Сидорова А. В., лікар-рентгенолог, відділення променевої діагностики, ДУ «Науково-практичний медичний центр дитячої кардіології та кардіохірургії МОЗ України», м. Київ.
ORCID ID: 0000-0002-4393-9427

Цасюк С. Є., лікар-рентгенолог, відділення променевої діагностики, ДУ «Науково-практичний медичний центр дитячої кардіології та кардіохірургії МОЗ України», м. Київ.
ORCID ID: 0009-0002-6942-3784

Руденко Н. М., д-р мед. наук, професор, заступник директора з наукової роботи кардіологічного профілю, зав. каф. педіатрії, дитячої кардіології, ревматології та кардіохірургії, ДУ «Науково-практичний медичний центр дитячої кардіології та кардіохірургії МОЗ України», м. Київ; Національний університет охорони здоров'я України імені П. Л. Шупика, м. Київ.
ORCID ID: 0000-0002-1681-598X

Information about the authors:

Raad Tammo, MD, PhD, Radiologist, Chief of Radiology Department, Government Institution "The Scientific and Practical Medical Center of Pediatric Cardiology and Cardiac Surgery of Ministry of Health of Ukraine", Kyiv.

Morkovkina H. Ye., MD, Radiologist, Radiology Department, Government Institution "The Scientific and Practical Medical Center of Pediatric Cardiology and Cardiac Surgery of Ministry of Health of Ukraine", Kyiv.

Sydorova A. V., MD, Radiologist, Radiology Department, Government Institution "The Scientific and Practical Medical Center of Pediatric Cardiology and Cardiac Surgery of Ministry of Health of Ukraine", Kyiv.

Tsasiuk Ye. Ye., Radiologist, Radiology Department, Government Institution "The Scientific and Practical Medical Center of Pediatric Cardiology and Cardiac Surgery of Ministry of Health of Ukraine", Kyiv.

Rudenko N. M., MD, PhD, DSc, Professor, Deputy Director General for Scientific Work (Cardiology Profile), Head of the Department of Pediatrics, Pediatric Cardiology, Rheumatology and Cardiac Surgery, Government Institution "The Scientific and Practical Medical Center of Pediatric Cardiology and Cardiac Surgery of Ministry of Health of Ukraine", Kyiv; Shupyk National Healthcare University of Ukraine, Kyiv.



Раад Таммо (Raad Tammo)
raadtammo500@gmail.com

References

- Arbelo E, Protonotarios A, Gimeno JR, Arbustini E, Barriales-Villa R, Basco C, et al. 2023 ESC Guidelines for the management of cardiomyopathies. *Eur Heart J*. 2023;44(37):3503-626. doi: 10.1093/eurheartj/ehad194
- Weintraub RG, Semsarian C, Macdonald P. Dilated cardiomyopathy. *Lancet*. 2017;390(10092):400-14. doi: 10.1016/S0140-6736(16)31713-5
- Bozkurt B, Colvin M, Cook J, Cooper LT, Deswal A, Fonarow GC, et al. Current Diagnostic and Treatment Strategies for Specific Dilated Cardiomyopathies: A Scientific Statement From the American Heart Association. *Circulation*. 2016;134(23):e579-e646. doi: 10.1161/CIR.0000000000000455
- Yousuf OK, Kennedy K, Russo A, Varosy P, Lindsay BD, Steinberg B, et al. Appropriateness of implantable cardioverter-defibrillator device implants in the United States. *Heart Rhythm*. 2024;21(4):397-407. doi: 10.1016/j.hrthm.2023.12.005
- Yafasova A, Butt JH, Elming MB, Nielsen JC, Haarbo J, Videbæk L, et al. Long-Term Follow-Up of DANISH (The Danish Study to Assess the Efficacy of ICDs in Patients With Nonischemic Systolic Heart Failure on Mortality). *Circulation*. 2022;145(6):427-36. doi: 10.1161/CIRCULATION-AHA.121.056072
- Li S, Wang Y, Yang W, Zhou D, Zhuang B, Xu J, et al. Cardiac MRI Risk Stratification for Dilated Cardiomyopathy with Left Ventricular Ejection Fraction of 35% or Higher. *Radiology*. 2023;306(3):e213059. doi: 10.1148/radiol.213059
- Zhou D, Zhu L, Li S, Wu W, Zhuang B, Xu J, et al. Prognosis and Risk Stratification in Dilated Cardiomyopathy With LVEF≤35%: Cardiac MRI Insights for Better Outcomes. *Circ Cardiovasc Imaging*. 2025;18(3):e017246. doi: 10.1161/CIRCIMAGING.124.017246
- Eichhorn C, Koeckerling D, Reddy RK, Ardisso M, Rogowski M, Coles B, et al. Risk Stratification in Nonischemic Dilated Cardiomyopathy Using CMR Imaging: A Systematic Review and Meta-Analysis. *JAMA*. 2024;332(18):1535-50. doi: 10.1001/jama.2024.13946
- Guglielmo M, Pontone G. Risk stratification in cardiomyopathies (dilated, hypertrophic, and arrhythmogenic cardiomyopathy) by cardiac magnetic resonance imaging. *Eur Heart J Suppl*. 2021 Oct 8;23(Suppl E):E118-E122. doi: 10.1093/eurheartj/sub105
- Raad T, Morkovkina HY, Sydorova AV, Tsasiuk YY, Yalynska TA. [T1 Mapping in Cardiac MRI: Principles, Techniques, and Reference Values of Native Myocardial T1 and Extracellular Volume in Healthy Subjects]. *Ukrainskyi Zhurnal Sertsevo-sudynnoi Khirurgii*. 2025;33(3):138-50. Ukrainian. doi: 10.63181/ujcvs.2025.33(3).138-150
- Francone M. Role of cardiac magnetic resonance in the evaluation of dilated cardiomyopathy: diagnostic contribution and prognostic significance. *ISRN Radiol*. 2014;2014:365404. doi: 10.1155/2014/365404
- Raad T, Sydorova AV, Morkovkina HY, Tsasiuk YY. [Age- and Sex-Related Variations of Myocardial T2: Insights from Quantitative Mapping in a Healthy Ukrainian Population]. *Ukrainskyi Zhurnal Sertsevo-sudynnoi Khirurgii*. 2025;33(4):167-76. Ukrainian. doi: 10.63181/ujcvs.2025.33(4).167-176
- Alba AC, Gaztañaga J, Foroutan F, Thavendirathan P, Merlo M, Alonso-Rodriguez D, et al. Prognostic Value of Late Gadolinium Enhancement for the Prediction of Cardiovascular Outcomes in Dilated Cardiomyopathy: An International, Multi-Institutional Study of the MINICOR Group. *Circ Cardiovasc Imaging*. 2020;13(4):e010105. doi: 10.1161/CIRCIMAGING.119.010105
- Li S, Zhou D, Sirajuddin A, He J, Xu J, Zhuang B, et al. T1 Mapping and Extracellular Volume Fraction in Dilated Cardiomyopathy: A Prognosis Study. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2022;15(4):578-90. doi: 10.1016/j.jcmg.2021.07.023
- Tao M, Dhaliwal S, Ghosalkar D, Sheng S, Dianati-Maleki N, Tam E, et al. Utility of native T1 mapping and myocardial extracellular volume fraction in patients with nonischemic dilated cardiomyopathy: A systematic review and meta-analysis. *Int J Cardiol Heart Vasc*. 2024;51:101339. doi: 10.1016/j.ijcha.2024.101339
- Muscogiuri G, Ciliberti P, Mastrodicasa D, Chinali M, Rinelli G, Santangelo TP, et al. Results of Late Gadolinium Enhancement in Children Affected by Dilated Cardiomyopathy. *Front Pediatr*. 2017;5:13. doi: 10.3389/fped.2017.00013
- Al-Wakeel-Marquard N, Seidel F, Herbst C, Kühnisch J, Kuehne T, Berger F, et al. Diffuse myocardial fibrosis by T1 mapping is associated with heart failure in pediatric primary dilated cardiomyopathy. *Int J Cardiol*. 2021 Jun 15;333:219-225. doi: 10.1016/j.ijcard.2021.03.023