

*Л.М. Стрільчук, І.В. Шумлянський,
Л.А. Ільницька*

*Львівський національний
медичний університет ім. Данила
Галицького*

МІСЦЕ МАГНІТНО-РЕЗОНАНСНОЇ ТОМОГРАФІЇ СЕРЕД МЕТОДІВ ДІАГНОСТИКИ КАРДІОВАСКУЛЯРНИХ ЗАХВОРЮВАНЬ (огляд літератури)

Резюме

У статті на базі літературних джерел визначається місце та роль у кардіологічних дослідженнях нових променевих візуалізаційних методів, зокрема магнітно-резонансної томографії (МРТ). МРТ серця (МРТС) є золотим стандартом оцінки об'ємів порожнин серця та його систолічної функції. Основні техніки МРТ включають пізне підсилення гадолінієм, T1-, T2- та T2*-картування. Метою даного огляду літератури став аналіз сучасних даних із питання застосування МРТ у діагностиці ССЗ. Нами було проведено пошук у базі даних Pubmed із подальшим аналізом виявлених літературних джерел. За умов гіпертрофічної кардіоміопатії (ГКМП) МРТС дозволяє проводити диференційну діагностику з іншими фенотипово подібними станами. МРТС властиві висока чутливість і специфічність у діагностиці ГКМП та визначенні потовщення стінок у тих ділянках, де можливості інших технік обмежені. За допомогою МРТС можна встановити домінуючий морфологічний фенотип ГКМП; розрізнити симетричну та асиметричну морфологію; виявити дивертикули, аневризми та інші дефекти стінок; чітко відрізнити істинну міжвентрикулярну перетинку від прилеглих структур. Дані МРТС є важливими для стратифікації ризику при ГКМП. За допомогою МРТС можливо виявити фокальний фіброз міокарда в професійних спортсменів. МРТС застосовується для діагностики хвороб серця у вагітних, визначення ступеня аортальної недостатності, диференціальної діагностики злоякісних та доброякісних пухлин серця, виявлення ризику раптової смерті в школярів, визначення резерву коронарного кровотоку, селекції хворих із хронічними хворобами нирок для подальшого обстеження та проведення медичних втручань, виявлення аритмогенних субстратів. Перешкодами до широкого клінічного впровадження МРТС є відсутність стандартизованого протоколу обстеження, інтерпретації та обробки зображень, значна вартість обстеження, нестача обладнання та високоспеціалізованих фахівців.

Ключові слова

Магнітно-резонансна томографія серця, серцево-судинні захворювання, гіпертрофічна кардіоміопатія.

Актуальність кардіоваскулярних патологічних станів не викликає жодних сумнівів. Серцево-судинні захворювання (ССЗ) спричиняють близько 18 млн смертей на рік [34]. Із середини 70-х років світова медична спільнота спостерігає зниження частоти ССЗ у деяких країнах високого рівня достатку, що можна пояснити зниженням впливу факторів ризику та покращенням лікувально-діагностичних стратегій [35]. На противагу цьому, частота ССЗ у країнах низького та середнього рівня продовжує зростати [19, 50]. Згідно зі статистичними даними, на ці країни припадає 80% світового тягаря ССЗ [34]. Підґрунтям оптимального лікування будь-якого ССЗ є точна діагностика з виявленням усіх патологічних змін у серці та судинному руслі. У наш час кардіологія послуговується

не лише давно відомими діагностичними методами на кшталт електро- чи ехокардіографії (ЕКГ, ЕхоКГ), а й більш новими променевими візуалізаційними методами дослідження, зокрема магнітно-резонансною томографією (МРТ).

МРТ серця (МРТС) є золотим стандартом оцінки об'ємів порожнин серця та його систолічної функції [51]. МРТС дозволяє виявити постінфарктні рубці в міокарді, оцінити його загальну скоротливість, визначити характеристики атеросклеротичних бляшок у вінцевих артеріях, візуалізувати архітектуру міокардіальних волокон, з'ясувати метаболічну активність серцевого м'яза. Отримані при МРТС дані вагомо впливають на вибір терапевтичної тактики [22]. Основні техніки МРТ включають пізне підсилення гадолінієм (ППГ), T1-, T2- й T2*-картування [18, 47].

© Л.М. Стрільчук, І.В. Шумлянський, Л.А. Ільницька

Мета огляду літератури — аналіз сучасних даних із питання застосування МРТ у діагностиці низки патологічних станів кардіоваскулярної системи. Нами було проведено пошук у базі даних Pubmed за ключовими словами «cardiac magnetic resonance imaging», «cardiac magnetic resonance», «cardiovascular magnetic resonance imaging» із подальшим аналізом виявлених літературних джерел. У зв'язку з великою кількістю опублікованих матеріалів із даного питання до даного огляду включено окремі тематичні наукові статті, обрані за принципом релевантності та новизни.

Гіпертрофічна кардіоміопатія (ГКМП). МРТС є важливою діагностичною технікою в обстеженні пацієнтів із підозрюваною чи діагностованою ГКМП. Цей візуалізаційний метод дозволяє проводити диференційну діагностику ГКМП з іншими фенотипово подібними станами, що супроводжуються перебудовою лівого шлуночка (ЛШ), у т.ч. фізіологічними змінами в спортсменів, гіпертензивною кардіоміопатією, дисфункцією аортального клапана та хворобами накопичення [6].

ГКМП характеризується збільшенням максимальної товщини стінки ЛШ у діастолу понад верхню межу норми в щонайменше одному сегменті після виключення інших станів, що також супроводжуються гіпертрофією. МРТС властиві висока чутливість та специфічність у діагностиці ГКМП та визначенні потовщення стінок у тих ділянках, де можливості інших технік обмежені [26, 39, 49].

За допомогою МРТС можна встановити домінуючий морфологічний фенотип ГКМП, визначити максимальну товщину стінки ЛШ; розрізнити симетричну та асиметричну морфологію; виявити дивертикули, аневризми та інші дефекти стінок; оцінити стан папілярних м'язів та хорд; чітко відрізнити істинну міжшлуночкову перетинку від прилеглих структур. Що стосується функції серця, МРТС дає можливість визначити об'ємні параметри та стан роботи обох шлуночків; оцінити глобальне та сегментарне систолічне потовщення стінки ЛШ; встановити наявність обструкції вихідного тракту ЛШ та її причину; охарактеризувати стан клапанів та перфузію. Дані МРТС є важливими для стратифікації ризику при ГКМП. Основними критеріями останньої виступають максимальна товщина стінки ЛШ, наявність обструкції вихідного тракту ЛШ, наявність фокального чи дифузного фіброзу, маса міокарда ЛШ [6].

Технічними перевагами МРТС над ЕхоКГ у пацієнтів із ГКМП є більш точне визначення межі ендокарда, об'ємів та функціонального стану шлуночків серця, можливість отримання чітких позрізових знімків, охоплення обох шлуночків, краще визначення фокальних уражень, візуалізація та чисельна оцінка рівня фіброзу. У випадку недіагностичних ЕхоКГ-зображень МРТС має значні переваги, оскільки дозволяє отримати деталь-

не зображення стінки ЛШ, даючи можливість для подальшого розрахунку її товщини [54]. Згідно з даними порівняльного дослідження, у вимірах товщини стінки ЛШ за ЕхоКГ та МРТС може спостерігатися значна відмінність (медіана 3-5 мм, максимум до 17 мм) [5]. МРТС дозволяє виявити ділянки гіпертрофії в тих ділянках серця, які неможливо або складно обстежити за допомогою трансторакальної ЕхоКГ, передусім у міжшлуночкової перетинці, медіальній частині передньобочкової стінки, верхівці [41, 42]. Крім того, трансторакальна ЕхоКГ може переоцінювати істинну товщину стінки ЛШ у деяких пацієнтів у зв'язку з неспроможністю цього методу обстеження точно диференціювати парасептальні структури на відміну від МРТС [6].

МРТС є особливо цінною в носіїв мутацій, які спричиняють ГКМП, оскільки здатна ідентифікувати гіпертрофічні ділянки навіть у пацієнтів із нормальною трансторакальною ЕхоКГ. Це зумовлює надзвичайну важливість проведення МРТС у молодих осіб із підозрою на ГКМП, із відповідним сімейним анамнезом, змінами ЕКГ, недіагностичними результатами трансторакальної ЕхоКГ чи іншими факторами ризику ГКМП [6].

Показаннями до МРТС у пацієнтів із ГКМП є недіагностична ЕхоКГ, незадовільні ехокардіографічні вікна; потреба в оцінці анатомічної структури серця, обчисленні параметрів функції ЛШ та визначенні рівня фіброзу; підготовка до проведення хірургічної міоектомії; багаторівнева обструкція ЛШ; аномалії вихідного тракту правого шлуночка; підозра на залучення до патологічного процесу верхівки серця (гіпертрофія, аневризма); потреба в стратифікації ризику аритмій; виявлення рубців та визначення регресії маси міокарда ЛШ після алкогольної абляції міжшлуночкової перетинки або міоектомії; диференційна діагностика (із серцем спортсмена, інфільтративною чи гіпертензивною кардіоміопатією, хворобою Фабрі, амілоїдозом). Для останньої може застосовуватися нативне Т1-сканування [12, 16, 27].

Показано, що наявність великих рубців та фіброзу міокарда, виявлених за допомогою МРТ із ППГ, асоціюється з розвитком шлуночкових тахікардій та аритмій [20, 52]. Описано також застосування МРТ для діагностики ГКМП у педіатричній популяції [27].

Однією з причин зниження толерантності до фізичного навантаження та серцевої недостатності за умов ГКМП є механічна обструкція вихідного тракту ЛШ через систолічний рух уперед передньої стулки мітрального клапана. Визначення наявності та ступеня цієї обструкції впливає на вибір лікування, оскільки в разі відсутності відповіді на фармакотерапію призначаються інвазивні заходи (міектомія, алкогольна септальна абляція). МРТС дозволяє визначити місце обструкції,

її рівень та причини (аномальне вставлення переднього сосочкового м'яза чи подовжені листки мітрального клапана) [38].

Серце спортсмена. Фізичні тренування асоціюються з адаптивними змінами серця, у т.ч. збільшенням ширини шлуночків та потовщенням стінки ЛШ [43]. S.E. Petersen та співавт. (2005) стверджують, що ці зміни слід ретельно диференціювати від патологічних форм гіпертрофії серця за допомогою МРТС [40]. Однак деякі науковці повідомляють, що високоінтенсивні фізичні навантаження на витривалість асоціюються з минушим погіршенням систолічної функції, аритміями, розвитком фіброзу міокарда [4, 8, 10, 21].

За допомогою МРТС можливо виявити фокальний фіброз міокарда в професійних спортсменів [7, 31]. У дослідженні S. Puigadas та співавт. (2018) взяли участь 34 професійних бігуни-марафонці стажем >10 років, яким було проведено МРТС, а також 12 осіб контрольної групи, відповідні за віком та площею поверхні тіла. Автори виявили в спортсменів збільшення об'ємів обох шлуночків порівняно з групою контролю, однак, незважаючи на значно потовщену стінку міокарда, зростання індексованої маси міокарда ЛШ зафіксовано не було. Фізіологічність процесу спортивного ремоделювання було підтверджено відсутністю збільшення інтерстиційних просторів за рахунок фіброзу міокарда, хоча в 9% обстежених виявляли фокальний фіброз [43].

Недостатність аортального клапана (НАК). Точне чисельне визначення тяжкості НАК за допомогою ЕхоКГ часто є складним, а подекуди — неможливим, що зумовлює доцільність застосування із цією метою МРТС. А.А. Kammerlander та співавт. (2018) проаналізували дані 232 пацієнтів з аортальною регургітацією (АР), що підлягали проведенню МРТС упродовж 4 тиж. після ЕхоКГ [15]. Під час МРТС вимірювався об'єм крові, що підлягав регургітації, його фракція на рівні синотубулярного з'єднання, а також виявлявся голодіастолічний ретроградний потік (ГРП) у низхідній аорті. Значна АР визначалась як наявність ГРП при проведенні МРТС. У значній кількості пацієнтів ступінь тяжкості, визначений за МРТС, відрізнявся від раніше встановленого за ЕхоКГ ступеня. Так, у 6,8% учасників із помірною АР на ЕхоКГ під час проведення МРТС визначався ГРП, і навпаки, у 34,1% осіб із встановленою при ЕхоКГ тяжкою АР МРТС не виявила ГРП, що дозволило віднести цих хворих до групи незначної АР. Серед 40 пацієнтів із невизначеним (від помірно тяжкого до тяжкого) ступенем АР за ЕхоКГ у 45,0% при проведенні МРТС визначався ГРП. Таким чином, за наявності регургітації на аортальному клапані МРТС дозволяє отримати важливу діагностичну та прогностичну інформацію [15].

МРТС у вагітних жінок. ССЗ є важливою причиною захворюваності та смертності серед вагітних жінок, однак у багатьох медичних закладах цій категорії пацієнтів відмовляють у проведенні МРТС. Аналіз A.S. Herrey та співавт. (2018), що включав дані 38 вагітних жінок, яким у 4 великих медичних центрах була проведена діагностична МРТС, виявив, що найчастішими показаннями до МРТС виступали судинні хвороби чи вроджені вади ССЗ (48%), а також кардіоміопатії та міокардити (43%) [11]. У 19% випадків застосовувалося контрастування. Важливо, що результати, отримані при МРТС, стали підґрунтям для змін лікування в 35% усіх пацієток і 50% учасниць, що отримували контраст [11]. Таким чином, МРТС є цінним методом, що впливає на вибір лікування. За наявності показань слід пропонувати вагітним проведення МРТС, у т.ч. введення контрасту відповідно до поточних рекомендацій.

Інше. Пухлини серця здатні імітувати асиметричну ГКМП. Хоча інтенсивність сигналу пухлинної тканини та нормального міокарда може бути однаковою при кінематографічному зображенні, T1- чи T2-зважені зображення та ППГ дозволяють відрізнити ці стани та окреслити межі патологічного ураження. Проспективне когортне дослідження M. Kassi (2018) включало 130 пацієнтів, що підлягали МРТС із приводу підозри на новоутворення серця [17]. Після виключення тромбозів та пухлин невизначеного генезу було оцінено морфологічно 66 пухлин. Частоти феномену першого проходження (100% проти 33%, $p < 0,001$) та ППГ (100% проти 59,2%, $p < 0,001$) були достовірно вищими при злоякісних пухлинах. Автори вказують, що МРТС є корисним неінвазивним методом для диференціальної діагностики злоякісних та доброякісних пухлин серця [17].

Протягом останньої декади застосування МРТС перед імплантацією кардіовертерів-дефібриляторів значно зросло. Згідно з дослідженням A. Lilli та співавт. (2018), у 25% таких пацієнтів при МРТС були отримані неочікувані результати, що призвело до негайних змін терапевтичної стратегії в 13% випадків [23]. Найчастішими несподіваними знахідками виявилися патерн фіброзу, відмінний від змін, характерних для попереднього діагнозу; наявність тромбу; анатомічні відхилення від норми. На думку авторів, унікальна інформація стосовно характеристик тканин серця, отримувана в ході МРТС, є надзвичайно цінною для визначення оптимальної лікарської тактики [23].

Завдяки великій кількості методик та вищій просторовій роздільній здатності МРТС є важливим неінвазивним діагностичним інструментом оцінки стану серця при системних васкулітах. Магнітно-резонансна ангіографія та виявлення фіброзу і набряку дозволяє визначити такі ранні зміни кардіоваскулярної системи, як гостре та/або хронічне

запалення, порушення макро- та мікроциркуляції у вінцевих судинах, васкуліт дрібних судин [28].

У дослідженні L.Q. Lin та співавт. (2018) за участю 338 пацієнтів, що підлягали трансплантації серця без проведення МРТС, етіологію кардіоміопатії було помилково визначено в 7% [24]. Найчастішими недіагностованими станами були різні підвиди ішемічної кардіоміопатії. У пацієнтів із діагнозом неішемічної кардіоміопатії проведення МРТС знижувало імовірність діагностичної помилки на 86% порівняно з тими, кому МРТС проведена не була [24]. Наявність ішемічного патерну ППГ, що характеризується залученням субендокардіальних ділянок та розташуванням у ділянці перфузії епікардіальної вінцевої артерії, є чіткою ознакою ішемічної кардіоміопатії за МРТС [3, 25]. Подальше вивчення особливостей ППГ дозволяє точно встановити етіологію патологічного процесу [3], а відсутність ППГ зводить до пошуку до неішемічних кардіоміопатій (ідіопатичної дилатаційної, сімейної, стресової, перипартальної, токсичної). Такі техніки, як Т1-картування, також здатні допомогти у визначенні причин неішемічного ураження серця, зокрема амілоїдозу та хвороби Фабрі.

У дослідженні A. Voskoboinik та співавт. (2018) було показано, що помірне вживання алкоголю (7-28 стандартних одиниць алкоголю впродовж >12 міс.) асоціювалося з меншою вираженістю шлуночкового фіброзу на тлі однакових параметрів ЛШ за Т1-картуванням порівняно з особами, що не вживали алкоголь [53]. На думку авторів, виявлений феномен може частково пояснювати асоціацію між «соціальним» вживанням алкоголю та зменшенням частоти раптової смерті та серцевої недостатності [53].

Вдосконалення лікування злоякісних пухлин привело до покращення виживаності онкологічних пацієнтів. Однак у цього контингенту спостерігається зростання кількості серцево-судинних подій, передусім, у зв'язку з прийомом кардіотоксичних хімотерапевтичних препаратів. Раннє розпізнання ССЗ на субклінічних стадіях за допомогою МРТС дозволяє розпочати застосування запобіжних заходів, протидіючи прогресуванню патофізіологічних змін [36].

ППГ дозволяє виявити навіть маленькі ділянки некрозу міокарда, наприклад мікроінфаркти, спричинені медичними втручаннями [46, 48]. K. Rahimi та співавт. (2009) повідомили, що поява нових вогнищ ППГ після перкутанного коронарного втручання асоціювалася із зростанням смертності, кількості нефатальних інфарктів міокарда та стійких шлуночкових аритмій [44]. У таких хворих часом визначається також зростання тропонінів та МВ-фракції креатинфосфокінази. Поєднання маркерів некрозу міокарда з ППГ-МРТ дозволяє збільшити чутливість і специфічність виявлення мікроінфарктів, у т.ч. ятрогенних [9].

Окрім описаних аспектів застосування, МРТС дозволяє виявляти ризик пов'язаної зі спортом раптової смерті в школярів [2], визначати резерв коронарного кровотоку [14], здійснювати селекцію хворих із хронічними хворобами нирок для подальшого обстеження та проведення медичних втручань [45], виявляти аритмогенні субстрати за умов шлуночкової тахікардії та фібриляції [29].

Обмеження та перспективи застосування МРТС. Окрім уже згадуваних значних тривалості та вартості дослідження, перешкодою до широкого клінічного впровадження МРТС є відсутність стандартизованого протоколу обстеження, інтерпретації та обробки зображень [18, 47]. Необхідним також є встановлення референсних показників для кожного підвиду МРТС з урахуванням відмінностей між приладами різних виробників, сили застосовуваного магнітного поля тощо. Існує потреба в проведенні багатоцентрових клінічних досліджень із метою точного встановлення діагностичної цінності МРТС при різноманітних хворобах серця [22]. Серед більшості клініцистів МРТС вважається повільним, складним та дорогавартісним методом дослідження, тому кількість скерувань на це обстеження вкрай мала. Також слід зазначити, що функціональна МРТ супроводжується певним дискомфортом у зв'язку з клаустрофобією [33].

МРТС включає низку різних технік, що дають можливість визначити функціонування міокарда, наявність рубців, стан перфузії та судин тощо [13, 32, 47]. Однак ці методики роблять проведення МРТС тривалим (>45 хв), дорогавартісним та складним, що значно обмежує застосування методу. K. Menacho та співавт. (2018) впровадили ультрашвидкий (8 хв) протокол МРТС без контрасту для виявлення таласемії, який дозволяє знизити вартість обстеження в 4 рази [1]. Дослідження INCA Regu (n=100) оцінювало застосування створеного цими ж авторами швидкого (18±7 хв) та дешевшого протоколу МРТ із контрастним підсиленням. Хороша якість зображення була отримана в 91% випадків, помірна — у 7%. У решті 2% ППГ було надзвичайно нетиповим і тому класифіковано як погана якість зображення, однак при повторному обстеженні було встановлено, що ці випадки дійсно являли собою амілоїдоз серця. МРТ безпосередньо вплинула на лікарську тактику впродовж найближчого року в 56% випадків, причому в 19% пацієнтів було встановлено новий, відмінний від попереднього, діагноз. Ще в 5% хворих, окрім вже згаданих 56%, МРТС надала показання для проведення недоступних для даних хворих втручань (кардіохірургія, встановлення кардіостимулюючих пристроїв), тобто загалом пришвидшений протокол МРТС міг привести до змін лікування в 61% випадків. Швидка МРТС задовільнила усі вимоги до візуалізаційного дослідження у 89% пацієнтів

і виявилася в 3-5 разів дешевшою, ніж стандартна процедура [30].

Висновки

Таким чином, візуалізація різних ділянок кардіо-васкулярної системи за допомогою МРТС дозволяє отримувати детальні зображення, що удосконалюють діагностику низки ССЗ. Візуалізація за допомогою МРТС надає цінну інформацію стосовно анатомічно-функціональних параметрів серця, перфузії, наявності та типу фіброзу, стану судин. МРТС дає можливість визначити патофізіологічне підґрунтя хвороби, виявляти зміни серця та судин на субклінічних стадіях, оцінювати прогноз та впливає на прийняття клінічних рішень стосовно оптимальної тактики лікування. Незважаючи на деякі обмеження (висока вартість, значна тривалість), удо-

сконалення томографів та програмного обладнання розширюють можливості застосування МРТС у майбутньому. На сьогодні МРТС досить широко застосовується і перебуває в сталому динамічному розвитку. З'являються новітні техніки одержання й обробки зображень, однак деякі з них ще перебувають на стадії становлення і не повністю опановані, у т. ч. функціональний трекінг.

Застосування МРТС в Україні стримує нестача апаратури та програмного забезпечення належного рівня, а також дефіцит спеціалістів-радіологів, що можуть виконувати ці дослідження на належному рівні. Суттєва діагностична цінність МРТС зумовлює необхідність в ознайомленні лікарів-клініцистів (лікарів загальної практики — сімейної медицини, терапевтів, кардіологів) з основами даного діагностичного методу та інтерпретацією його результатів.

Список використаної літератури

1. Abdel Gadir A., Vorasettakarnkij Y., Ngamkasem H. et al. Ultrafast magnetic resonance imaging for iron quantification in thalassemia participants in the developing world: the TIC-TOC Study (Thailand and UK International Collaboration in Thalassaemia Optimising Ultrafast CMR) // *Circulation*. — 2016. — Vol. 134. — P. 432-434.
2. Angelini P., Cheong B.Y., Lenge De Rosen V.V. et al. High-Risk Cardiovascular Conditions in Sports-Related Sudden Death: Prevalence in 5.169 Schoolchildren Screened via Cardiac Magnetic Resonance // *Tex. Heart Inst. J.* — 2018, Aug. — Vol. 45 (4). — P. 205-213.
3. Annamalai S., Maulik M., Chetan S. et al. Identifying the Etiology: A Systematic Approach Using Delayed-Enhancement Cardiovascular Magnetic Resonance // *Heart Failure Clinics*. — 2009. — Vol. 5 (3). — P. 349-367. Doi: 10.1016/j.hfc.2009.02.009.
4. Benito B., Gay-Jordi G., Serrano-Mollar A. et al. Cardiac arrhythmogenic remodeling in a rat model of long-term intensive exercise training // *Circulation*. — 2011. — Vol. 123. — P. 13-22. Doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.110.938282.
5. Bois J.P., Geske J.B., Foley T.A. et al. Comparison of maximal wall thickness in hypertrophic cardiomyopathy differs between magnetic resonance imaging and transthoracic echocardiography // *Am. J. Cardiol.* — 2017. — Vol. 119. — P. 643-650.
6. Brenes J.C., Doltra A., Prat S. Cardiac magnetic resonance imaging in the evaluation of patients with hypertrophic cardiomyopathy // *Glob. Cardiol. Sci. Pract.* — 2018, Aug. — Vol. 12. — P. 22.
7. Breuckmann F., Möhlenkamp S., Nassenstein K. et al. Myocardial late gadolinium enhancement: prevalence, pattern, and prognostic relevance in marathon runners // *Radiology*. — 2009. — Vol. 251. — P. 50-7. Doi: 1148/radiol.2511081118.
8. Carrió I., Serra-Grima R., Berná L. et al. Transient alterations in cardiac performance after a six-hour race // *Am. J. Cardiol.* — 1990. — Vol. 65. — P. 1471-4. Doi: 10.1016/0002-9149(90)91357-C.
9. Chibana H., Ikeno F. Usability of cardiac magnetic resonance imaging for procedural myocardial infarction undergoing rotational atherectomy // *J. Thorac. Dis.* — 2018, Sep. — Vol. 10 (Suppl. 26). — P. S3237-S3240.
10. Claessen G., Claus P., Delcroix M. et al. Interaction between respiration and right versus left ventricular volumes at rest and during exercise: a real-time cardiac magnetic resonance study // *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.* — 2014. — Vol. 306. — P. H816-24. Doi: 10.1152/ajpheart.00752.2013.
11. Herrey A.S., Francis J.M., Hughes M. et al. Cardiovascular magnetic resonance can be undertaken in pregnancy and guide clinical decision-making in this patient population // *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging*. — 2018, Nov. 20. Doi: 10.1093/ehjci/jej162.
12. Hinojar R., Varma N., Child N. et al. T1 mapping in discrimination of hypertrophic phenotypes: hypertensive heart disease and hypertrophic cardiomyopathy: Findings from the international T1 multicenter cardiovascular magnetic resonance study // *Circ. Cardiovasc. Imaging*. — 2015. — Vol. 8. — P. e003285.
13. Hundley W.G., Bluemke D.A., Finn J.P. et al. ACCF/ACR/AHA/NASCI/SCMR2010 expert consensus document on cardiovascular magnetic resonance: a report of the American College of Cardiology Foundation Task Force on Expert Consensus Documents // *J. Am. Coll. Cardiol.* — 2010. — Vol. 55. — P. 2614-2662.
14. Indorkar R., Kwong R.Y., Romano S. et al. Global Coronary Flow Reserve Measured During Stress Cardiac Magnetic Resonance Imaging Is an Independent Predictor of Adverse Cardiovascular Events // *JACC Cardiovasc. Imaging*. — 2018, Oct 22. pii: S1936-878X(18)30745-9. doi: 10.1016/j.jcmg.2018.08.018. [Epub. ahead of print]
15. Kammerlander A.A., Wiesinger M., Duca F. et al. Diagnostic and Prognostic Utility of Cardiac Magnetic Resonance Imaging in Aortic Regurgitation // *JACC Cardiovasc. Imaging*. — 2018, Nov. — Vol. 8. pii: S1936-878X(18)30907-0. doi: 10.1016/j.jcmg.2018.08.036. [Epub. ahead of print]
16. Karur G.R., Robison S., Iwanochko R.M. et al. Use of myocardial T1 mapping at 3.0 T to differentiate Anderson-Fabry disease from hypertrophic cardiomyopathy // *Radiology*. — 2018. — P. 172-613.
17. Kassi M., Polsani V., Schutt R.C. et al. Differentiating benign from malignant cardiac tumors with cardiac magnetic resonance imaging // *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* — 2018. pii: S0022-5223(18)32561-3. doi: 10.1016/j.jtcvs.2018.09.057. [Epub. ahead of print]
18. Kramer C.M., Barkhausen J., Flamm S.D. et al. Society for Cardiovascular Magnetic Resonance Board of Trustees Task Force on Standardized Protocols. Standardized cardiovascular magnetic resonance (CMR) protocols 2013 update // *J. Cardiovasc. Magn. Reson.* — 2013. — Vol. 15. — P. 91.
19. Krishnamurthi R.V., Feigin V.L., Forouzanfar M.H. et al. Global and regional burden of first-ever ischaemic and haemorrhagic stroke during 1990-2010: findings from the Global Burden of Disease Study // *Lancet Glob. Health*. — 2013. — Vol. 1 (5). — P. e259-e281.
20. Kwon D.H., Setser R.M., Popović Z.B. et al. Association of myocardial fibrosis, electrocardiography and ventricular tachyarrhythmia in hypertrophic cardiomyopathy: a delayed contrast enhanced MRI study // *Int. J. Cardiovasc. Imaging*. — 2008. — Vol. 24. — P. 617-25.

21. La Gerche A., Claessen G., Dymarkowski S. et al. Exercise-induced right ventricular dysfunction is associated with ventricular arrhythmias in endurance athletes // *Eur. Heart J.* — 2015. — Vol. 36. — P. 1998-2010. Doi: 10.1093/eurheartj/ehv202.
22. Lee S.E., Nguyen C., Xie Y. et al. Recent Advances in Cardiac Magnetic Resonance Imaging // *Korean Circ. J.* — 2019. — Vol. 49. — P. e13.
23. Lilli A., Tessa C., Del Meglio J. et al. Diagnostic and Prognostic Role of Cardiac Magnetic Resonance Before Implantable Cardioverter Defibrillator // *Am. J. Cardiol.* — 2018. pii: S0002-9149(18)32141-6. doi: 10.1016/j.amjcard.2018.11.036. [Epub. ahead of print]
24. Lin L.Q., Kazmirczak F., Chen K.H.A. et al. Impact of Cardiovascular Magnetic Resonance Imaging on Identifying the Etiology of Cardiomyopathy in Patients Undergoing Cardiac Transplantation // *Sci. Rep.* — 2018. — Vol. 8. — P. 16212.
25. Mahrholdt H. et al. Cardiovascular magnetic resonance assessment of human myocarditis: a comparison to histology and molecular pathology // *Circulation.* — 2004. — Vol. 109. — P. 1250-1258. Doi: 10.1161/01.CIR.0000118493.13323.81.
26. Maron M.S., Maron B.J. Clinical impact of contemporary cardiovascular magnetic resonance imaging in hypertrophic cardiomyopathy // *Circulation.* — 2015. — Vol. 132. — P. 292-298.
27. Martinez-Naharro A., Treibel T.A., Abdel-Gadir A. et al. Magnetic resonance in transthyretin cardiac amyloidosis // *J. Am. Coll. Cardiol.* — 2017. — Vol. 70. — P. 466-477.
28. Mavrogeni S.I., Dimitroulas T., Kitas G.D. Cardiovascular magnetic resonance in the diagnosis and management of cardiac and vascular involvement in the systemic vasculitides // *Curr. Opin. Rheumatol.* — 2019, Jan. — Vol. 31 (1). — P. 16-24. Doi: 10.1097/BOR.0000000000000560.
29. Mavrogeni S.I., Sfikakis P.P., Markousis-Mavrogenis G. et al. Cardiovascular magnetic resonance imaging pattern in patients with autoimmune rheumatic diseases and ventricular tachycardia with preserved ejection fraction // *Int. J. Cardiol.* — 2018. pii: S0167-5273(18)34895-2. doi: 10.1016/j.ijcard.2018.10.067. [Epub. ahead of print]
30. Menacho K., Ramirez S., Segura P. et al. INCA (Peru) Study: Impact of Non-Invasive Cardiac Magnetic Resonance Assessment in the Developing World // *J. Am. Heart Assoc.* — 2018, Sep. 4. — Vol. 7 (17). — P. e008981.
31. Möhlenkamp S., Lehmann N., Breuckmann F. et al. Running: the risk of coronary events: prevalence and prognostic relevance of coronary atherosclerosis in marathon runners // *Eur. Heart J.* — 2008. — Vol. 29. — P. 1903-10. Doi: 10.1093/eurheartj/ehn163.
32. Moon J., Messroghli D., Kellman P. et al. Myocardial T1 mapping and extracellular volume quantification: Society for Cardiovascular Magnetic Resonance (SCMR) and CMR Working Group of the European Society of Cardiology consensus statement // *J. Cardiovasc. Magn. Reson.* — 2013. — Vol. 15. — P. 15-92.
33. Munn Z., Moola S., Lisy K. et al. Claustrophobia in magnetic resonance imaging: a systematic review // *Radiography.* — 2015. — Vol. 21. — P. e59-e63. Doi:10.1016/j.radi.2014.12.004.
34. Murray C.J.L., Vos T., Lozano R. et al. Disability-adjusted life years (DALYs) for 291 diseases and injuries in 21 regions, 1990-2010: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study // *Lancet.* — 2012. — Vol. 380. — P. 2197-2223.
35. O'Flaherty M., Buchan I., Capewell S. Contributions of treatment and lifestyle to declining CVD mortality: why have CVD mortality rates declined so much since the 1960s? // *Heart.* — 2013. — Vol. 99. — P. 159-162.
36. Parashar A., Hundley W.G. The Role of Cardiovascular Magnetic Resonance for Surveillance of Cardiac Performance upon Receipt of Potentially Cardiotoxic Cancer Therapeutics // *Curr. Cardiol. Rep.* — 2018. — Vol. 20 (12). — P. 142. Doi: 10.1007/s11886-018-1075-7.
37. Parekh K., Markl M., Deng J. et al. T1 mapping in children and young adults with hypertrophic cardiomyopathy // *Int. J. Cardiovasc. Imaging.* — 2017. — Vol. 33. — P. 109-117.
38. Patel P., Dhillon A., Popovic Z.B. et al. Left ventricular outflow tract obstruction in hypertrophic cardiomyopathy patients without severe septal hypertrophy: implications of mitral valve and papillary muscle abnormalities assessed using cardiac magnetic resonance and echocardiography // *Circ. Cardiovasc. Imaging.* — 2015. — Vol. 8. — P. e003132.
39. Patel A.R., Kramer C.M. Role of cardiac magnetic resonance in the diagnosis and prognosis of nonischemic cardiomyopathy // *JACC Cardiovasc. Imaging.* — 2017. — Vol. 10. — P. 1180-1193.
40. Petersen S.E., Selvanayagam J.B., Francis J.M. et al. Differentiation of athlete's heart from pathological forms of cardiac hypertrophy by means of geometric indices derived from cardiovascular magnetic resonance // *J. Cardiovasc. Magn. Reson.* — 2005. — Vol. 7. — P. 551-8.
41. Pons-Lladó G., Carreras F., Borrás X. et al. Comparison of morphologic assessment of hypertrophic cardiomyopathy by magnetic resonance versus echocardiographic imaging // *Am. J. Cardiol.* — 1997. — Vol. 79. — P. 1651-6.
42. Poma J.L., Blanksma P.K., van der Wall E.E. et al. Assessment of quantitative hypertrophy scores in hypertrophic cardiomyopathy: magnetic resonance imaging versus echocardiography // *Am. Heart J.* — 1996. — Vol. 132. — P. 1020-7.
43. Pujadas S., Doñate M., Li C.H. et al. Myocardial remodelling and tissue characterisation by cardiovascular magnetic resonance (CMR) in endurance athletes // *BMJ Open Sport Exerc. Med.* — 2018. — Vol. 4 (1). — P. e000422.
44. Rahimi K., Banning A.P., Cheng A.S. et al. Prognostic value of coronary revascularisation-related myocardial injury: a cardiac magnetic resonance imaging study // *Heart.* — 2009. — Vol. 95. — P. 1937-43. Doi: 10.1136/hrt.2009.173302.
45. Ramesh Prasad G.V., Yan A.T., Nash M.M. et al. Determinants of Left Ventricular Characteristics Assessed by Cardiac Magnetic Resonance Imaging and Cardiovascular Biomarkers Related to Kidney Transplantation // *Can. J. Kidney Health Dis.* — 2018. — Vol. 5. Doi: 2054358118809974.
46. Ricciardi M.J., Wu E., Davidson C.J. et al. Visualization of discrete microinfarction after percutaneous coronary intervention associated with mild creatine kinase-MB elevation // *Circulation.* — 2001. — Vol. 103. — P. 2780-3. Doi: 10.1161/hc2301.092121.
47. Schulz-Menger J., Bluemke D.A., Bremerich J. et al. Standardized image interpretation and post processing in cardiovascular magnetic resonance: Society for Cardiovascular Magnetic Resonance (SCMR) board of trustees task force on standardized post processing // *J. Cardiovasc. Magn. Reson.* — 2013. — Vol. 1. — P. 15-35.
48. Selvanayagam J.B., Porto I., Channon K. et al. Troponin elevation after percutaneous coronary intervention directly represents the extent of irreversible myocardial injury: insights from cardiovascular magnetic resonance imaging // *Circulation.* — 2005. — Vol. 111. — P. 1027-32. Doi: 10.1161/01.CIR.0000156328.28485.AD.
49. Sen-Chowdhry S., Jacoby D., Moon J.C. et al. Update on hypertrophic cardiomyopathy and a guide to the guidelines // *Nat. Rev. Cardiol.* — 2016. — Vol. 13. — P. 651-675.
50. Stringhini S., Viswanathan B., Gédéon J. et al. The social transition of risk factors for cardiovascular disease in the African region: evidence from three cross-sectional surveys in the Seychelles // *Int. J. Cardiol.* — 2013. — Vol. 168. — P. 1201-1206
51. Stuber M., Botnar R.M., Fischer S.E. et al. Preliminary report on in vivo coronary MRA at 3 Tesla in humans // *Magn. Reson. Med.* — 2002. — Vol. 48. — P. 425-429.
52. Suk T., Edwards C., Hart H. et al. Myocardial scar detected by contrast-enhanced cardiac magnetic resonance imaging is associated with ventricular tachycardia in hypertrophic cardiomyopathy patients // *Hear. Lung Circ.* — 2008. — Vol. 17. — P. 370-374.
53. Voskoboinik A., Costello B.T., La Gerche A. et al. Relation of Alcohol Consumption to Left Ventricular Fibrosis Using Cardiac Magnetic Resonance Imaging // *Am. J. Cardiol.* — 2018, Nov 6. pii: S0002-9149(18)32041-1. doi: 10.1016/j.amjcard.2018.10.026. [Epub. ahead of print]
54. Webb J., Villa A., Bekri I. et al. Usefulness of cardiac magnetic resonance imaging to measure left ventricular wall thickness for determining risk scores for sudden cardiac death in patients with hypertrophic cardiomyopathy // *Am. J. Cardiol.* — 2017. — Vol. 119. — P. 1450-1455.

Надійшла до редакції 09.04.2019 р.