

Рисунки до статті С.В. Федьків, С.С. Теличкун (с. 103–112)

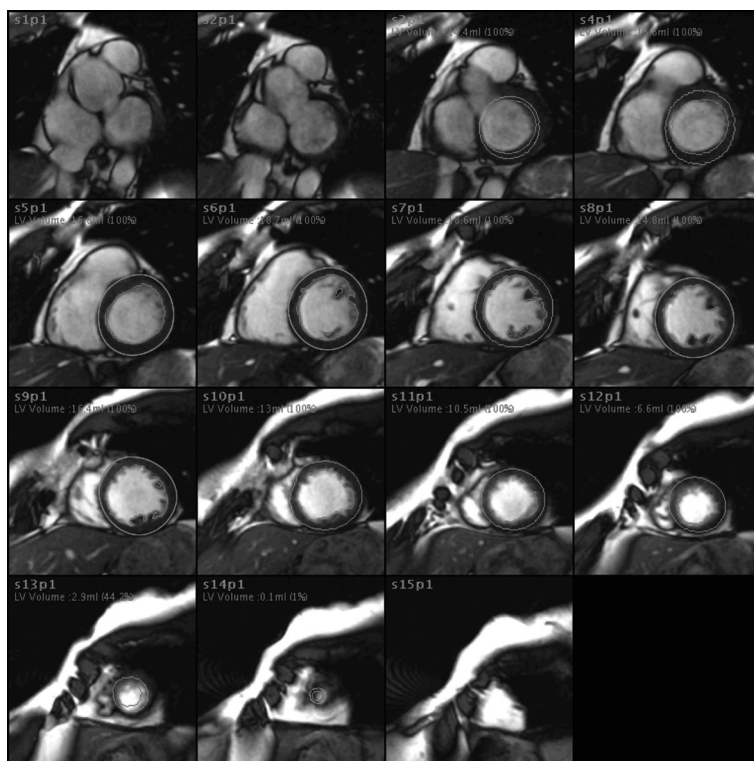


Рис. 1. Обробка МРВ-даних при комп'ютерному аналізі з вивченням регіональної та глобальної скоротливої функції серця, з точним визначенням ділянки: гіпокінезу, акінезу, дискінезу стінки ЛШ та функціонально-морфологічним аналізом з вимірюванням та розрахунком основних метричних, об'ємних та інших функціональних показників серця.

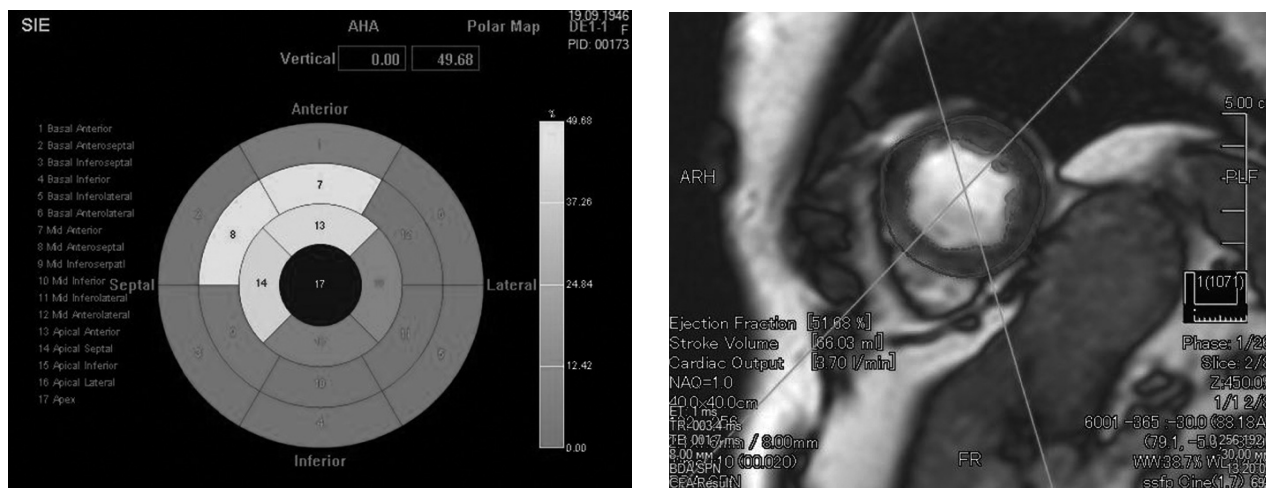


Рис. 3. Результати постпроцесингової обробки МРВ-даних представлено у вигляді 17-сегментної схеми оцінки ЛШ з вивченням регіональної скоротливої здатності міокарда.

УДК 616.127-005.4+616.124.2]-073

# Магнітно-резонансна візуалізація в діагностиці ішемічного ураження міокарда лівого шлуночка

С.В. Федьків<sup>1</sup>, С.С. Теличкун<sup>1,2</sup><sup>1</sup> ДУ «Національний науковий центр «Інститут кардіології ім. акад. М.Д. Стражеска» НАМН України», Київ<sup>2</sup> ДУ «Інститут ядерної медицини та променевої діагностики НАМН України», Київ

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** магнітно-резонансна візуалізація, ішемічна хвороба серця, інфаркт міокарда

Ішемічна хвороба серця (ІХС) – це головна причина захворюваності та смертності в індустриальних країнах світу. В Україні на смертність від хвороб системи кровообігу припадає 66,5 %, з яких від ІХС – 68,1 %. У структурі поширеності хвороб системи кровообігу та захворюваності на них серед дорослих частка ІХС становить відповідно 34,4 та 27,5 %; у працездатних – 27,1 та 23,5 %; пенсійного віку – 38,4 та 30,5 %. Найвищий приріст частоти випадків ІХС у молодшому віці припадає на розвиток її гострих форм – інфаркту міокарда (ІМ) та раптової смерті. У більш пізньому віці після перенесеного ІМ зростає ризик виникнення смерті через серцеву недостатність та інші ускладнення ІХС [5, 25].

Важлива своєчасна діагностика ІХС, а також динамічна оцінка функціональних і структурних показників міокарда під час лікування хворих на ІХС та тих, що перенесли ІМ, із застосуванням сучасних методів візуалізації.

## Методика МРВ в оцінці ішемічного ураження міокарда

Магнітно-резонансна візуалізація (МРВ) серця дозволяє оцінити структурний та функціональний стан міокарда, забезпечує детальну візуалізацію та оцінку особливостей анатомічної будови камер серця, вивчення структури міокарда, його функціонального стану, що надає важливі дані для діагностики ІХС [50]. Також з розвитком програмного забезпечення значно

розширюються діагностичні можливості МРВ серця: повна оцінка скоротливої здатності міокарда, точне визначення структурних і функціональних параметрів лівого шлуночка (ЛШ), у систолу та діастолу, і виявлення порушення функціонування клапанів серця [49]. За допомогою стандартизованого томографічного сегментарного аналізу серця із застосуванням методики кіно-МРВ визначають регіональну та глобальну скоротливу здатність міокарда [34]. Удосконалення програмного забезпечення МРВ дозволяє кількісно та якісно визначити зони ішемічного ураження міокарда.

Особливу діагностичну цінність серед інших променевих методів у визначенні ІХС мають методики МРВ серця з довенним болюсним контрастуванням. При цьому в ранню фазу контрастування проводять верифікацію і диференціальну діагностику ІМ та інших змін міокарда. Для визначення життєздатності міокарда ЛШ, постішемічних, рубцевих, фіброзних та запальних змін використовують пізню фазу контрастування – відтерміновану [54]. Також у спеціалізованих медичних установах кардіологічного профілю МРВ серця проводять з додатковими фармакологічними стрес-тестами, що дозволяє більш точно визначити ступінь, обсяг та зони ураження міокарда ЛШ [3].

Комплексне МРВ-дослідження серця за стандартною методикою проводять із синхронізацією за ЕКГ та дихальною функцією. Таким чином, забезпечується збереження якості та

запобігання виникненню артефактів руху від екскурсії грудної клітки та скорочень серця. Дані МРВ серця обробляють у режимах «біла» та «чорна» кров, кіно-МРВ, T1- та T2-зважені зображення (33), а також у багатовимірних реконструкціях. У режимі кіно-МРВ візуальний аналіз регіональної та глобальної скоротливої здатності міокарда ЛШ виконують під час перегляду всього серцевого циклу у вигляді відеоданих – кінопетлі у спокої, а також при проведенні фармакологічних стрес-тестів (рис. 1, див. кольорову вкладку на с. 102).

Під час МРВ серця із довшим контрастуванням візуалізується поступове надходження контрастної речовини до камер серця, а згодом і до серцевого м'яза в реальному часі, можлива оцінка перфузії міокарда ЛШ, наявності ознак як вогнищового, так і трансмурального ІМ, а також рубцевих та інших післяінфарктних змін міокарда ЛШ [1, 8].

МРВ серця – це сучасний метод діагностики ІХС, що дає можливість оцінити структурно-функціональний стан міокарда ЛШ. У міжнародній клінічній практиці це діагностичний метод другої черги, що використовується у спеціалізованих закладах з метою верифікації патологічних змін серця. МРВ серця застосовують після попереднього виконання стандартних інструментальних, лабораторних, функціональних методів дослідження, зокрема ехокардіографії (ЕхоКГ). У випадку такої необхідності МРВ серця є інформативним методом діагностики та верифікації ураження міокарда ЛШ при різних формах ІХС.

У кардіологічній практиці зростає значення методу МРВ завдяки високим показникам чутливості (87 %) та специфічності (84 %) [2, 3]. Перевагами МРВ над іншими методами візуалізації є її неінвазивність, відсутність іонізуючого випромінювання та значно нижча частота алергійних реакцій на введення контрастних препаратів гадолінію порівняно з рентгеноконтрастними речовинами [9, 23].

### Візуалізація структур серця

МРВ-обстеження серця дає змогу отримати тривимірне зображення камер серця і його структур; це обов'язкова вимога для належної інтерпретації зображень та якісної пост-процесингової обробки. На відміну від ЕхоКГ, метод МРВ дозволяє отримувати візуалізацію серця в будь-якій площині, незалежно від

доступності акустичних вікон [41]. Відповідна комбінація ортогональних площин серця при МРВ на мультипланарних зображеннях забезпечує інтерпретацію з реальними вимірами, на яких серцево-судинні структури можуть бути визначені в анатомічному форматі візуалізації.

Під час проведення МРВ серця кров виступає власним контрастом, що забезпечує отримання МР-зображень шлуночків, передсердь та їх перегородок (рис. 2), а також чітку диференціацію ендокарда, міокарда та епікарда. Передсердно-шлуночкові клапани тонкі й рухливі, тому на поперечних зрізах вони відображаються нечітко. Найкраще вони візуалізуються в систолічну фазу серцевого циклу [50].

Першим етапом МРВ-обстеження серця є отримання зрізів поперечної, сагітальної та корональної площин. Фактично серце розміщено в грудній порожнині з ротацією вліво і каудально на 30–45 °. Оскільки при МРВ-дослідженні можлива візуалізація у будь-якій проекції, це дає можливість отримати чіткі зображення зрізів по довгій та короткій осі серця [25].

На їх основі визначаються типові рівні серцево-судинних структур та проводиться розмітка інших зрізів серця. Сагітальні та коронарні зрізи потрібні для візуалізації анатомічних особливостей серця, середостіння, грудної та черевної аорти, інших магістральних судин та виявлення їх структурних особливостей [7].

Планування двокамерної проекції серця необхідне для отримання чотирикамерних проекцій, що в подальшому дає змогу планування МР-зображень лівого та правого шлуночків по короткій осі, а також є необхідним у постпроцесинговій обробці для визначення функціонального стану міокарда.

### Сегментарний аналіз лівого шлуночка при МРВ серця

МРВ-аналіз скоротливої здатності ЛШ базується на принципах, що застосовуються під час стандартних ЕхоКГ-вимірювань. Стандартизованим методом для вивчення регіональної скоротливої здатності ЛШ за допомогою ЕхоКГ вважається підхід, який передбачає поділ стінок ЛШ на 16 сегментів, запропонований Американським товариством ехокардіографії. При МРВ серця враховується ще додатковий 17-й – верхівковий сегмент ЛШ, який складно визначити методом ЕхоКГ через обмеження здатності його акустичного вікна. Кожен сегмент відпові-

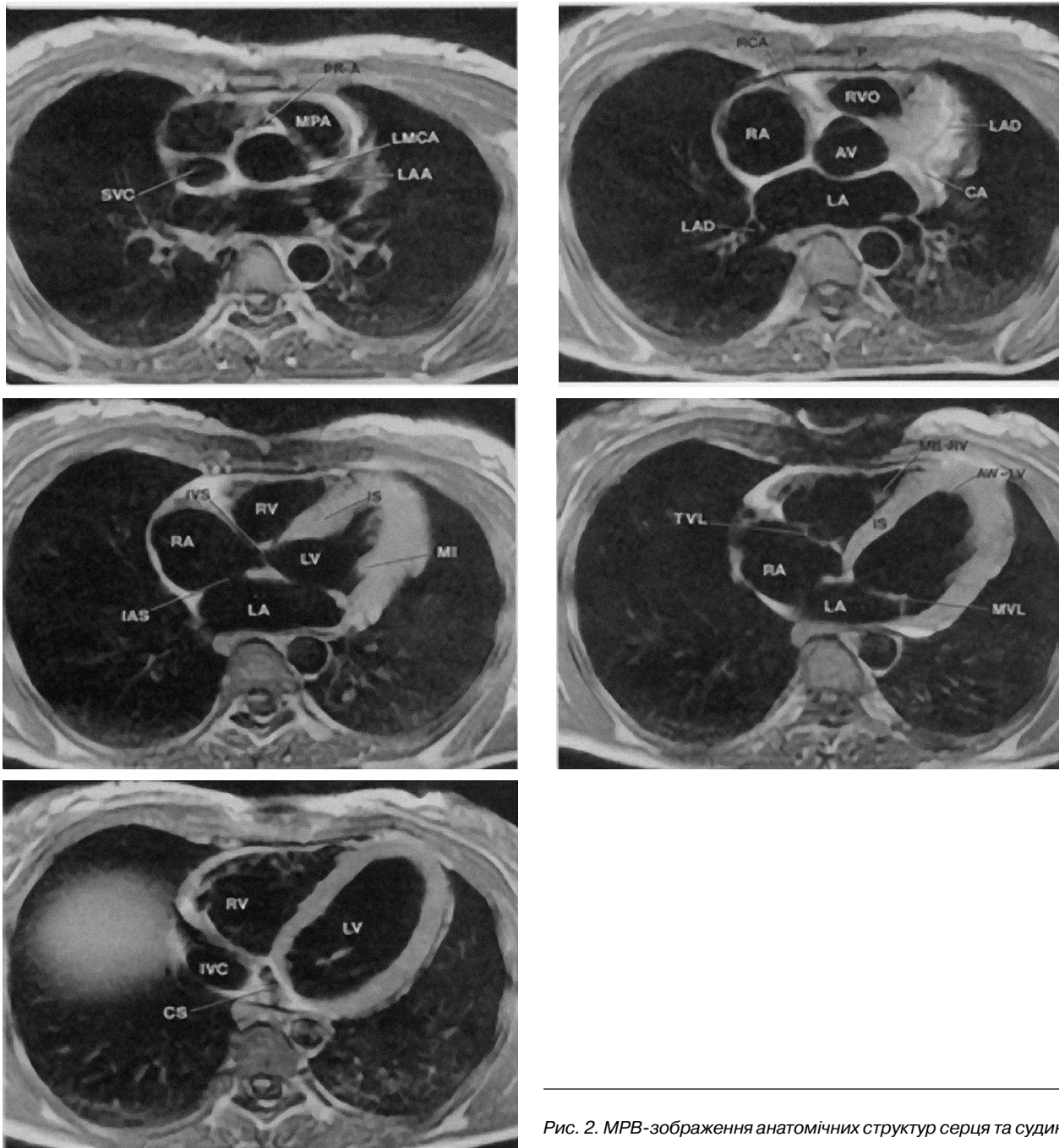


Рис. 2. МРВ-зображення анатомічних структур серця та судин.

дає 6,25 % поверхні ЛШ, а верхівка серця – 25 % [8, 55].

17-сегментна схема оцінки ЛШ затверджена Американською асоціацією серця як стандартизована схема для МРВ-зображень серця та відповідних досліджень за допомогою мультидетекторної комп'ютерної томографії (МДКТ). Сегментний розподіл ЛШ засновано на тому, що регіони його стінки васкуляризуються певною

гілкою вінцевого русла. Завдяки анатомічним даним, прямим зіставленням результатів селективних коронарографій, аутопсій та ЕхоКГ встановлено схеми 16- та 17-сегментної будови міокарда ЛШ, васкуляризація яких здійснюється відповідними вінцевими судинами [50].

При порівнянні 17-сегментної схеми ЛШ при МРВ серця із 16-сегментною схемою, що використовують при ЕхоКГ, збігаються всі орієнтири,

окрім додаткового верхівкового (17-го) сегмента. Це важливо знати як кардіологам, спеціалістам функціональної діагностики, так і рентгенологам для порівняння результатів МРВ серця, МДКТ та ЕхоКГ, а також під час проведення динамічного спостереження за хворими із серцево-судинними захворюваннями за допомогою цих методів [8].

Завдяки 17-сегментній оцінці ЛШ, стандартизованій для МРВ- та МДКТ-досліджень серця, легко визначаються топографічні ділянки ІМ та його співвідношення до судинних басейнів вінцевих артерій.

### **T1-зважені зображення**

Сучасна МРВ серця дозволяє проводити кількісну оцінку показників міокарда та крові в режимі T1-33, які є ключовими в оцінці стану його тканин. Кількісна оцінка в режимі T1-33 вимагає отримання кількох зображень для побудови кривої відновлення T1, що відповідає постійній часу поздовжньої релаксації у режимі T1. Цей параметр може відобразитися на T1-картуванні, коли оцінка сигналів у режимі T1-33 кодується у інтенсивності кожного пікселя [35, 36].

МРВ серця може відслідковувати біологічно важливі зміни в міокарді за допомогою нативних (без контрастування) T1-33, що відображають захворювання міокарда із визначенням змін як у кардіоміоцитах, так і в інтерстиціальній тканині, та оцінки позаклітинної об'ємної фракції після введення контрастної речовини за допомогою візуалізації та вимірювання розміру позаклітинного простору. Останні напрямки досліджень методик візуалізації намагаються оцінити об'єм клітинного та міжклітинного компонента міокарда. Концепція використання позаклітинних елементів для кількісної оцінки інтерстиціального простору досліджується вченими протягом багатьох десятиліть [26]. Сучасні можливості T1-33 дозволяють проводити рутинну неінвазивну оцінку позаклітинного об'єму.

Також нативні T1-33 міокарда дозволяють неінвазивним шляхом виявити біологічно важливі процеси, що сприяє покращенню діагностики та проведенню оцінки тяжкості захворювання і встановленню потенційного прогнозу подальшого його перебігу. При МРВ серця на нативних T1-33 можливо виявити зміни в міокарді та патологічні процеси, пов'язані з надлишком води у зонах набряку [35, 51], накопичення протеїнів [27] та інших додаткових компонентів, що візуалізуються на T1-33, таких як ліпіди [44,

46] або залізо (при кровотечах чи гемосидерозі) [37]. Оскільки отримання T1-33 – це безконтрастний метод, залишається можливість проведення МРВ-обстеження хворим з нирковою недостатністю. Зміни міокарда на нативних T1-33 можуть свідчити як про серцево-судинні захворювання (гострий коронарний синдром, гострий ІМ та міокардити), які мають на T1-33 МР-сигнал високої інтенсивності [39], так і про системні ураження: амілоїдоз (МР-сигнал зниженої інтенсивності на T1-33) [27], хвороба Андерсона – Фабрі (МР-сигнал низької інтенсивності на T1-33) [44] і гемосидероз (сигнал низької інтенсивності на T1-33).

Ранні ознаки захворювань міокарда на T1-33 (T1-картування) у поєднанні з іншими протоколами МРВ серця дають можливість виявити зони та характер ураження при гострому коронарному синдромі [35, 51], недіагностованих дифузних міокардитах (без контрастного підсилення) та інших хворобах серця на доклінічних стадіях (гемосидероз, хвороба Фабрі, амілоїдоз) [27, 44].

Попри те, що МР-режим із використанням відтермінованого контрастного підсилення (late gadolinium enhancement – LGE), безсумнівно, дає важливу діагностичну та прогностичну інформацію [16, 19, 32], методика T1-картування та оцінка позаклітинного об'єму можуть мати перевагу над методикою LGE як у кількісному визначенні позаклітинного простору, так і в оцінюванні ступеня його поширення. Методика LGE менш інформативна для кількісної оцінки змін у позаклітинному просторі при патологіях, за яких відмінності між нормальною і ураженою тканиною міокарда менш чіткі, ніж при ІМ [28, 43].

Просторове поширення фіброзу міокарда робить можливим його виявлення на LGE МР-зображеннях [28]. У дослідженні С.А. Beltramі та співавторів з вивченням 10 сердець під час автопсії при ішемічній кардіоміопатії повідомлялося, що розподілення колагену в міокарді в більшості випадків було дифузним, а не локальним [10, 58]. Такий дифузний розподіл вмісту колагену майже неможливо кількісно оцінити за допомогою методики LGE. Оцінка позаклітинного об'єму може встановити ранні фіброзні зміни, які не завжди виявляються на LGE [28, 45, 58]. Нові можливості методик T1-33 з МР-аналізом позаклітинного об'єму дозволяють швидко виміряти позаклітинний об'єм і можуть створити нові можливості для кардіологічних досліджень у цьому напрямку [29, 57].

## **T2-33 у діагностиці гострого інфаркту міокарда**

У режимі T2-33 можлива діагностика гострого ІМ [20]. Одразу після оклюзії вінцевої артерії виникає набряк та зворотні порушення функції кардіоміоцитів, що належать до басейну ураженої артерії. З часом, за збереження оклюзії вінцевої артерії, поступова загибель кардіоміоцитів призводить до незворотних змін міокарда. Загибель кардіоміоцитів поступово прогресує від субендокардіального до субепікардіального шару.

Ділянки ураженого міокарда через набряк мають гіперінтенсивний сигнал на T2-33. Режим T2-33 дозволяє визначити зону набряку, розташовану як у ділянках некрозу міокарда, так і по периферії [42]. Тому для визначення зворотно ураженого міокарда, що має ризик некротизації, проводять МР-аналіз міокарда в режимі T2-33 та відтермінованого контрастування у режимі T1. На T2-33 життєздатний міокард матиме гіперінтенсивний сигнал, але при відтермінованому контрастуванні у режимі T1-33 у цих ділянках міокарда ЛШ не визначатиметься накопичування контрастної речовини. Нежиттєздатний міокард має ділянки гіперінтенсивного сигналу як у режимі T2-33, так і у фазу відтермінованого контрастування на T1-33 [20, 42].

## **Кіно-MPV**

У діагностиці ІХС важливою є оцінка глобальної та регіональної скоротливої здатності міокарда, особливості роботи клапанів серця та інших функціональних показників. Можливість отримання кіно-зображення за допомогою МРВ збільшує діагностичну цінність методу. Візуалізація за допомогою кіно-MPV дозволяє виявити функціональні зміни міокарда в післяінфарктний період. У хворих, які перенесли ІМ, порушення сегментарної скоротливості міокарда можуть бути зворотними, коли кардіоміоцити зберігають свою життєздатність, і незворотними, коли кардіоміоцити заміщуються фіброзною тканиною з утворенням рубця [55]. Також при проведенні МРВ серця є можливість точно визначити межі післяінфарктних рубцевих змін серцевого м'яза та оцінити уражені зони, порівняно з інтактним міокардом.

Під час постпроцесингової обробки МР-зображень оцінюють регіональні та глобальні порушення скоротливої здатності ЛШ із використанням 17-сегментної схеми оцінки ЛШ (рис. 3, див. кольорову вкладку на с. 102).

Для аналізу регіонального руху стінки ЛШ визначена загальна інтерпретація: нормальна скоротливість ЛШ (нормокінез), гіпокінезія, акінезія, дискінезія [8]. Глобальна скоротлива здатність ЛШ при аналізі кіно-MPV зображень оцінюється так: нормальна, незначно, помірно, значно обмежена, підвищена зі збільшенням амплітуди руху стінок ЛШ та збільшення систолічного потовщення його стінок. Наведені характеристики для опису регіональної та глобальної скоротливої здатності ЛШ використовуються як загальноприйняті визначення при ЕхоКГ, МРВ та МДКТ.

## **Магнітно-резонансна візуалізація з контрастним підсиленням: магнітно-резонансна перфузіографія; відтерміноване контрастне підсилення**

Порушення перфузії серцевого м'яза лежить в основі патогенезу ІХС. Вивчення перфузії серцевого м'яза дає можливість визначити локалізацію, ступінь та розміри ішемічного ураження міокарда. За допомогою внутрішньовенного введення парамагнітної контрастної речовини та змін МР-сигналу від неуряженого міокарда МР-перфузіографія дає можливість вивчити стан кровопостачання серцевого м'яза та оцінити його післяінфарктні зміни. МР-перфузіографія дозволяє виявити зміни в гострий період ішемічного ураження міокарда [59].

Під терміном «тканинна перфузія» розуміється процес доставки з кров'ю кисню на капілярному рівні. МР-перфузія виявляє зміни на мікроциркуляторному рівні, які можуть виникати вже в ранній період від початку клінічної симптоматики гострого ІМ [9, 59].

При проведенні МР-перфузіографії серця внутрішньовенно болюсно за допомогою автоматичного шприца-інжектора вводиться контрастний препарат з розрахунку 0,1–0,2 ммоль/кг у загальному об'ємі 15–20 мл. Оцінка МР-зображень передбачає вивчення змін інтенсивності МР-сигналу міокарда та побудови кривих «інтенсивність – час». Вони відображають проходження контрастного препарату через уражені ішемією сегменти ЛШ і, відповідно, дають можливість оцінити стан кровотоку в цих сегментах. У випадку стенозування вінцевої судини ці криві мають менший кут підняття і менші значення пікової інтенсивності, ніж у зонах неуряженого міокарда [24].

МРВ серця з довшим контрастуванням складається з трьох фаз: перфузія (перше про-



Рис. 4. МРВ-зображення ЛШ у чотирикамерній проекції при відтермінованому контрастуванні з гадолінієм. Спостерігається підсилення інтенсивності МР-сигналу (пізні підсилення) – затримка вимивання контрасту в зоні трансмурального ураження міокарда ЛШ. Чітко візуалізується пристінковий тромб у проекції верхівкового та перегородкового сегмента ЛШ (білі стрілки).

ходження контрастної речовини), раннє контрастування та відтерміноване контрастне підсилення. Фази перфузії та відтермінованого контрастного підсилення є референтним стандар-

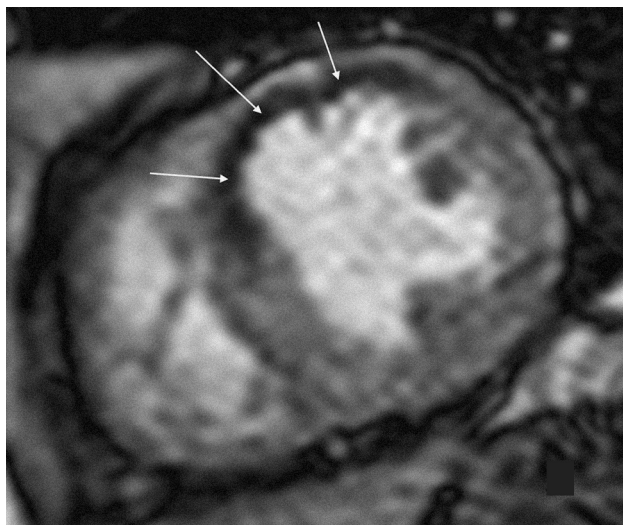


Рис. 5. МРВ-зображення ЛШ по короткій осі при МР-перфузіографії. Спостерігається зниження інтенсивності МР-сигналу за рахунок дефекту перфузії в зоні післяінфарктних змін міжшлуночкової перегородки і передньої стінки ЛШ (білі стрілки).

том для дослідження та оцінки життєздатності міокарда [2, 12, 54].

При першому проходженні контрастної речовини (20–40 с) неуражений міокард показує збільшення інтенсивності МР-сигналу з подальшим вимиванням контрастної речовини. Міокард, який забезпечується кров'ю через стенозовану судину, даватиме сигнал низької інтенсивності (рис. 5).

При пізньому підсиленні (на 10–15 хв) міокард, що кровопостачається через стенозовану вінцеву артерію на МРВ, матиме МР-сигнал збільшеної інтенсивності, порівняно з нормальним міокардом через порушення процесу «вимивання» контрастної речовини. Це обумовлено тим, що в пошкодженому міокарді збільшується об'єм позаклітинного простору та тим, що при порушенні перфузії сповільнюється вимивання контрастної речовини (рис. 6).

МРВ серця з методикою LGE є методом візуалізації з високою роздільною здатністю, який дає можливість встановити локалізацію післяінфарктного рубця та оцінити поширеність ішемічного ураження і надати інформацію щодо ділянок збереженої життєздатності міокарда. Методика LGE заснована на затримці вимивання гадолінію в некротизованій (при гострому ІМ) або рубцевій / фіброзній тканині (в пізній

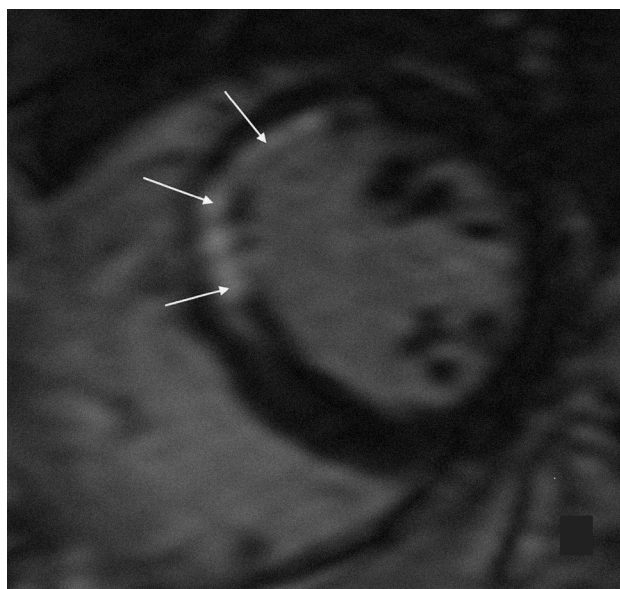


Рис. 6. МРВ-зображення ЛШ по короткій осі при відтермінованому контрастуванні. Спостерігається підвищення інтенсивності МР-сигналу за рахунок затримки контрастної речовини в зоні післяінфарктних змін міжшлуночкової перегородки і передньої стінки ЛШ (білі стрілки).

післяінфарктний період). Головною ознакою в МР-зображенні відсутності рубцевих змін міокарда є відсутність затримки контрасту при LGE [31]. Враховуючи високу просторову здатність МРВ серця, можна визначити як кількість уражених сегментів міокарда ЛШ, так і трансмуральне поширення рубця, та провести подальше динамічне спостереження цих змін. Можливість методу МРВ оцінювати локалізацію та глибину ураження міокарда є перевагою, порівняно з іншими методами візуалізації міокарда. Ішемічне ураження міокарда, яке становить  $\leq 50\%$  від товщини неуразеної стінки ЛШ, – найкращий прогностичний критерій, що вказує на можливість відновлення функції міокарда після його реваскуляризації або медикаментозної терапії [31, 47].

МРВ серця дає можливість отримати якісні та кількісні показники ЛШ, оцінити глобальну та регіональну скоротливу здатність міокарда та вивчити анатомічні особливості серця. У поєднанні з контрастуванням МРВ серця дозволяє провести точну кількісну оцінку післяінфарктного рубця [30] і спрогнозувати ймовірність функціонального відновлення після реваскуляризації [14, 47, 56]. Цінність окремого використання LGE безпосередньо впливає на точність цієї методики у прогнозуванні функціонального відновлення. Разом зі збільшенням цінності даних LGE чутливість падає, але специфічність збільшується. Наприклад, при ішемічному ураженні  $> 75\%$  збільшується несприятливий прогноз щодо відновлення міокарда після проведення

реваскуляризації [31]. Однак при ішемічному ураженні  $< 75\%$  міокарда додаткова оцінка із введенням малих доз добутаміну поліпшує точність прогнозу щодо ефективності реваскуляризації, порівняно з оцінкою виключно даних, отриманих за допомогою LGE [15, 22]. На підставі цих даних важливо визначити МР-параметри життєздатності ЛШ, отримані за допомогою МРВ серця, для кращого прогнозування відновлення дисфункціональних сегментів міокарда після реваскуляризації [13].

Життєздатний міокард характеризується кількома ознаками: цілісністю клітинних мембран, збереженою метаболічною активністю й інотропним резервом [11, 21]. Ці характеристики формують основу різних сучасних методів дослідження, а також можливість застосування методів візуалізації серця для виявлення ознак життєздатності міокарда. Окрім МРВ, життєздатність міокарда визначають за допомогою однофотонної емісійної комп'ютерної томографії і позитронно-емісійної комп'ютерної томографії. Визначення життєздатності міокарда – дуже важливий критерій для тактики лікування хворих з регіонарними порушеннями скоротливості ЛШ [55].

За допомогою методу МРВ із високою точністю можуть бути визначені післяінфарктні рубцеві зміни в серцевому м'язі після перенесеного ІМ (рис. 7).

#### Гібернований міокард при МРВ-зображенні

Гібернований міокард зазвичай визначається як життєздатний та дисфункціональний

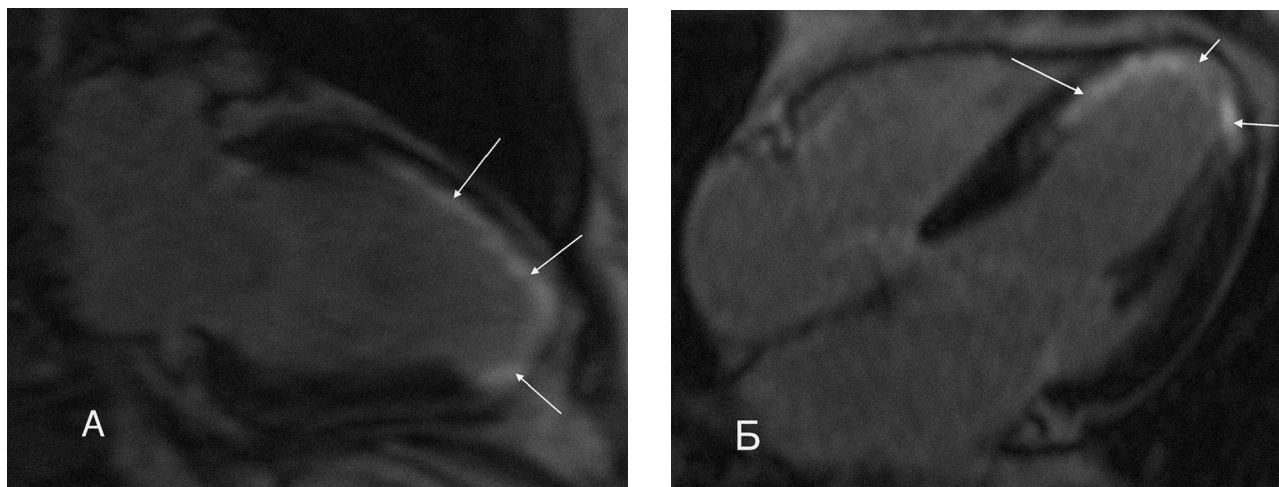


Рис. 7. МРВ-зрізи, отримані на МР-апараті Vantage Titan 1.5T HSR. А: двокамерна проекція, LGE; Б: чотирикамерна проекція, LGE. Затримка контрастної речовини (збільшення інтенсивності МР-сигналу) в проекції перегородкових, передніх, бічних та верхівкового сегментів, післяінфарктне ураження міокарда ЛШ (стрілки).



міокард, що частково відновлює своє функціонування з відновленням адекватного кровотоку після реваскуляризації [52]. Цей зворотний стан повинен бути чітко відокремленим від незворотного ішемічного ураження міокарда, при якому відновлення в'язцевого кровотоку може бути невиправданим. Визначення життєздатності міокарда відіграє важливу роль у прогнозуванні клінічного стану пацієнтів зі зниженою фракцією викиду ЛШ, що тим самим сприяє точнішій оцінці можливої користі від реваскуляризації порівняно з ризиками від неї [48]. Однак проведені окремі проспективні рандомізовані дослідження, зокрема The Heart Failure Revascularisation Trial (HEART), The Positron Emission Tomography (PET), Recovery Following Revascularisation Trial (PARR-2) та The Surgical Treatment for Ischaemic Heart Failure Trial (STICH), не до кінця визначили доцільність оцінки життєздатності для прийняття клінічних рішень або впливу на рівень смертності [17, 53]. Навіть після дослідження STICH залишається потреба в подальшому з'ясуванні питання: наскільки реваскуляризація при гібернованому міокарді більш адекватна порівняно з ефективною медикаментозною терапією.

### **МРВ серця з фармакологічним навантаженням (стрес-тест)**

При МРВ серця з фармакологічним навантаженням проводиться діагностика ІХС з визначенням перфузії міокарда та порушенням кровообігу [18]. З цією метою МРВ-сканування проводять у стані спокою та зі стрес-тестом, при якому внутрішньовенно вводять добутамін або дипіридабол чи аденозин. При введенні низьких доз добутаміну виявлятиметься поліпшення скоротливості стінки ЛШ, за наявності життєздатного міокарда, але при введенні більш високих доз відбудеться погіршення скоротливості, якщо ця ділянка міокарда забезпечується в'язцевою артерією зі значним стенозом. МРВ серця зі стресовим фармакологічним навантаженням – метод, що дозволяє провести кількісну оцінку резерву перфузії міокарда [32].

Зокрема оцінка життєздатності міокарда, поряд з інформацією про стан в'язцевого русла і фракцію викиду ЛШ, може мати вирішальне значення при визначенні подальшої тактики ведення пацієнтів – а саме щодо вибору медикаментозного або оперативного лікування ІХС. Своєчасна інтервенційна реваскуляризація

життєздатних дисфункціональних ділянок відновлює їхню скоротливість, знижує ймовірність серцевої недостатності і поліпшує прогноз. МРВ серця високоінформативна для хворих, що перенесли ІМ, та в пізній післяінфарктний період із систолічною дисфункцією ЛШ, яка ускладнена недостатністю кровообігу. Отримані результати дозволяють спланувати тактику ведення хворих і прогноз інтервенційного / хірургічного лікування.

Виявлення життєздатного міокарда методом МРВ найбільш актуально для хворих, які мають виражені порушення систолічної функції з фракцією викиду 35 % і менше, тому що в цьому випадку ризик оперативного лікування виправдовується потенційною можливістю поліпшення як регіонарної, так і глобальної скоротливої функції ЛШ [33].

### **Висновки**

На сьогодні МРВ серця – високоінформативний метод діагностики ІХС. Неінвазивність та відсутність променевого навантаження, високі показники чутливості та специфічності у виявленні ішемічних змін міокарда, визначення точної локалізації рубцевих змін і життєздатного міокарда є головними перевагами методу МРВ над іншими методами візуалізації.

Спеціалізовані МРВ-методики при кардіологічних дослідженнях дозволяють оцінювати структуру серця та його функціональні параметри, визначити перфузію міокарда та життєздатність, локалізацію та розміри ішемічного ураження ЛШ, а також аналізувати ці зміни в динамічному спостереженні.

МРВ серця допомагає точно встановити діагноз та визначити подальшу тактику лікування хворих, що перенесли ІМ, а також визначити перебіг післяінфарктного періоду та віддаленого прогнозу.

Отже, широкий спектр діагностичних можливостей МРВ серця в оцінці ішемічного ураження міокарда ЛШ зумовлює актуальність подальшого детального вивчення та впровадження цього методу в клінічну кардіологічну практику та в наукові кардіодіагностичні дослідження.

### **Література**

1. Бабий Я.С., Федьків С.В. Компьютерная и магнитно-резонансная томография в диагностике сердечно-сосудистых заболеваний: Метод. рекомендации / Под ред. В.Н. Коваленко, В.М. Корнацкого. – К., 2005. – 28 с.
2. Ватутін М.Т., Савченко О.О., Шевельок А.М., Дегтярьова Г.Е. Магнитно-резонансная визуализация в диагностике

- острого инфаркта миокарда // Укр. кардіол. журн.– 2014.– № 3.– С. 95–102.
3. Железняк И.С. Возможности магнитно-резонансной томографии с контрастным усилением в диагностике структурных и функциональных изменений миокарда при стенокардии напряжения, остром инфаркте миокарда: Автореф. дис. ...к. мед. н.– СПб, 2009.– 22 с.
  4. Клауссен К.Д., Миллер Ш., Риссен Р. и др. Сердце. Лучевая диагностика.– М.: МЕДпресс-информ, 2011.– 320 с.
  5. Коваленко В.М. Руководство по кардиологии.– К.: Морион, 2008.– Р. 580–586 с.
  6. Коваленко В.М., Корнацкий В.М. Хвороби системи кровообігу, як медико-соціальна і суспільно-політична проблема.– К., 2014.– 134 с.
  7. Труфанов Г.Е., Железняк И.С., Рудь С.Д. и др. МРВ в диагностике ишемической болезни сердца.– СПб: Элбис-СПб, 2012.– 64 с.
  8. Федьків С.В., Коваленко В.М. Магнітно-резонансна томографія в кардіології.– К, 2013.– 60 с.
  9. Antony R., Daghani M., McCann G.P. et al. Cardiovascular magnetic resonance activity in the United Kingdom: a survey on behalf of the British Society of Cardiovascular Magnetic Resonance // *J. Cardiovasc. Magn. Reson.*– 2011.– Vol. 13.– P. 57–63.
  10. Beltrami C.A., Finato N., Rocco M. et al. Structural basis of end-stage failure in ischemic cardiomyopathy in humans // *Circulation.*– 1994.– Vol. 89.– P. 151–163.
  11. Bettencourt N., Chiribiri A., Schuster A. et al. Assessment of myocardial ischemia and viability using cardiac magnetic resonance // *Curr. Heart Fail. Rep.*– 2009.– Vol. 6.– P. 142–153.
  12. Bogaert J., Dymarkowski S., Taylor A.M. *Clinical Cardiac MRI* // Springer.– 2005.– P. 187–195.
  13. Bondarenko O., Beek A.M., McCann G.P., van Rossum A.C. Revascularization in patients with chronic ischaemic myocardial dysfunction: insights from cardiovascular magnetic resonance imaging // *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging.*– 2012.– Vol. 13 (12).– P. 985–990.
  14. Bondarenko O., Beek A.M., Twisk J.W. et al. Time course of functional recovery after revascularization of hibernating myocardium: a contrast-enhanced cardiovascular magnetic resonance study // *Eur. Heart J.*– 2008.– Vol. 29 (16).– P. 2000–2005.
  15. Bove C.M., DiMaria J.M., Voros S. et al. Dobutamine response and myocardial infarct transmural: functional improvement after coronary artery bypass grafting—initial experience // *Radiology.*– 2006.– Vol. 240 (3).– P. 835–841.
  16. Cheong B.Y., Muthupillai R., Wilson J.M. et al. Prognostic significance of delayed-enhancement magnetic resonance imaging: survival of 857 patients with and without left ventricular dysfunction // *Circulation.*– 2009.– Vol. 120.– P. 2069–2076.
  17. Cleland J.G., Calvert M., Freemantle N. et al. The heart failure revascularisation trial (HEART) // *Eur. J. Heart. Fail.*– 2011.– Vol. 13 (2).– P. 227–233.
  18. Coelho-Filho O.R., Seabra L.F., Mongeon F.P. et al. Stress myocardial perfusion imaging by CMR provides strong prognostic value to cardiac events regardless of patient's sex // *JACC. Cardiovasc. Imaging.*– 2011.– Vol. 4.– P. 850–861.
  19. De Waha S., Desch S., Eitel I. et al. Impact of early vs. late microvascular obstruction assessed by magnetic resonance imaging on long-term outcome after ST-elevation myocardial infarction: a comparison with traditional prognostic markers // *Eur. Heart J.*– 2010.– Vol. 31.– P. 2660–2668.
  20. Eitel I., Friedrich M.G. T2-weighted cardiovascular magnetic resonance in acute cardiac disease // *J. Cardiovasc. Magn. Reson.*– 2011.– Vol. 13.– P. 13–18.
  21. Florian A., Jurcut R., Ghingina C. et al. Cardiac magnetic resonance imaging in ischemic heart disease: a clinical review // *J. Med. Life.*– 2011.– Vol. 4.– P. 330–345.
  22. Glaveckaitė S., Valeviciene N., Palionis D. et al. Value of scar imaging and inotropic reserve combination for the prediction of segmental and global left ventricular functional recovery after revascularisation // *J. Cardiovasc. Magn Reson.*– 2011.– Vol. 13.– P. 35–49.
  23. Glaveckaitė S., Valeviciene N., Laucevicius A. et al. Cardiovascular magnetic resonance imaging for detection of myocardial viability in chronic ischemic left ventricular dysfunction // *Medicina (Kaunas).*– 2009.– Vol. 45.– P. 585–599.
  24. Heydari B., Jerosch-Herold M., Kwong R.Y. Assessment of myocardial ischemia with cardiovascular magnetic resonance // *Prog. Cardiovasc. Dis.*– 2011.– Vol. 54.– P. 191–203.
  25. Hombach V., Merkle N., Rasche V. et al. The role of cardiovascular magnetic resonance imaging in the diagnosis and prognosis of patients with heart failure // *Herz.*– 2011.– Vol. 36.– P. 84–93.
  26. Jerosch-Herold M., Sheridan D.C., Kushner J.D. et al. Cardiac magnetic resonance imaging of myocardial contrast uptake and blood flow in patients affected with idiopathic or familial dilated cardiomyopathy // *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.*– 2008.– Vol. 295.– P. 1234–1242.
  27. Karamitsos T.D., Piechnik S.K., Banypersad S.M. et al. Noncontrast T1 mapping for the diagnosis of cardiac amyloidosis // *JACC Cardiovasc. Imaging.*– 2013.– Vol. 6.– P. 488–497.
  28. Kellman P., Wilson J.R., Xue H. et al. Extracellular volume fraction mapping in the myocardium, Part 2: initial clinical experience // *J. Cardiovasc. Magn. Reson.*– 2012.– Vol. 14.– P. 64–70.
  29. Kellman P., Wilson J.R., Xue H. et al. Extracellular volume fraction mapping in the myocardium, Part 1: evaluation of an automated method // *J. Cardiovasc. Magn. Reson.*– 2012.– Vol. 6.– P. 63–69.
  30. Kim R.J., Fieno D.S., Parrish T.B. et al. Relationship of MRI delayed contrast enhancement to irreversible injury, infarct age, and contractile function // *Circulation.*– 1999.– Vol. 100 (19).– P. 1992–2002.
  31. Kim R.J., Wu E., Rafael A. et al. The use of contrast-enhanced magnetic resonance imaging to identify reversible myocardial dysfunction // *New Engl. J. Med.*– 2000.– Vol. 343 (20).– P. 1445–1453.
  32. Klem I., Shah D.J., White R.D. et al. Prognostic value of routine cardiac magnetic resonance assessment of left ventricular ejection fraction and myocardial damage: an international multicenter study // *Circ. Cardiovasc. Imaging.*– 2011.– Vol. 4.– P. 610–619.
  33. Kociemba A., Karmelita-Katuliska K., Siniawski A. et al. Magnetic resonance imaging in the diagnostics of myocardial infarction // *Pol. J. Radiol.*– 2011.– Vol. 76.– P. 53–57.
  34. Kramer A. et al. Standardized cardiovascular magnetic resonance (CMR) protocols, 2013 update // *J. Cardiovasc. Magn. Reson.*– 2013.– Vol. 15.– P. 91–98.
  35. Messroghli D.R., Niendorf T., Schulz-Menger J. et al. T1 mapping in patients with acute myocardial infarction // *J. Cardiovasc. Magn. Reson.*– 2003.– Vol. 5.– P. 353–359.
  36. Messroghli D.R., Radjenovic A., Kozerke S. et al. Modified look-locker inversion recovery (MOLLI) for high-resolution T1 mapping of the heart // *Magn. Reson. Med.*– 2004.– Vol. 52.– P. 141–146.
  37. Pedersen S.F., Thrysoe S.A., Robich M.P. et al. Assessment of intramyocardial hemorrhage by T1-weighted cardiovascular magnetic resonance in reperfused acute myocardial infarction // *J. Cardiovasc. Magn. Reson.*– 2012.– Vol. 14.– P. 59–67.
  38. Pegg T.J., Selvanayagam J.B., Jennifer J. et al. Prediction of global left ventricular functional recovery in patients with heart failure undergoing surgical revascularisation, based on late gadolinium enhancement cardiovascular magnetic resonance // *J. Cardiovasc. Magn. Reson.*– 2010.– Vol. 12.– P. 56–62.
  39. Puntmann V.O., D'Cruz D., Smith Z. et al. Native myocardial T1 mapping by cardiovascular magnetic resonance imaging in sub-clinical cardiomyopathy in patients with systemic lupus erythematosus // *Circ. Cardiovasc. Imaging.*– 2013.– Vol. 6.– P. 295–301.
  40. Rizzello V., Poldermans D., Boersma E. et al. Opposite patterns of left ventricular remodeling after coronary revascularization in patients with ischemic cardiomyopathy. Role of myocardial viability // *Circulation.*– 2004.– Vol. 110.– P. 2383–2388.
  41. Romero J., Xue X., Gonzalez W. CMR Imaging assessing viability in patients with chronic ventricular dysfunction due to coronary artery disease: a meta-analysis of prospective trials // *JACC. Cardiovasc. Imaging.*– 2012.– Vol. 5.– P. 494–508.

42. Ruder T.D., Ebert L.C., Khattab A.A. Edema is a sign of early acute myocardial infarction on post-mortem magnetic resonance imaging // *Forensic S. Med. Pathol.*– 2013.– Vol. 14.– P. 518–525.
43. Sado D.M., Flett A.S., Banyersad S.M. et al. Cardiovascular magnetic resonance measurement of myocardial extracellular volume in health and disease // *Heart.*– 2012.– Vol. 98.– P. 1436–1441.
44. Sado D.M., White S.K., Piechnik S.K. et al. The identification and assessment of Anderson Fabry disease by cardiovascular magnetic resonance non-contrast myocardial T1 mapping // *Circ. Cardiovasc. Imaging.*– 2013.– Vol. 6.– P. 392–398.
45. Schelbert E.B., Testa S.M., Meier C.G. et al. Myocardial extravascular extracellular volume fraction measurement by gadolinium cardiovascular magnetic resonance in humans: slow infusion versus bolus // *J. Cardiovasc. Magn. Reson.*– 2011.– Vol. 13.– P. 16–21.
46. Scholz T.D., Fleagle S.R., Parrish F.C. et al. Effect of tissue fat and water content on nuclear magnetic resonance relaxation times of cardiac and skeletal muscle // *Magn. Reson. Imaging.*– 1990.– Vol. 8.– P. 605–611.
47. Selvanayagam J.B., Kardos A., Francis J.M. et al. Value of delayed-enhancement cardiovascular magnetic resonance imaging in predicting myocardial viability after surgical revascularization // *Circulation.*– 2004.– Vol. 110 (12).– P. 1535–1541.
48. Shah B.N., Khattar R.S., Senior R. The hibernating myocardium: current concepts, diagnostic dilemmas, and clinical challenges in the post-STICH era // *Eur. Heart J.*– 2013.– Vol. 34 (18).– P. 1323–1336.
49. Slart R.H., Bax J.J., Veldhuisen D.J. et al. Imaging techniques in nuclear cardiology for the assessment of myocardial viability // *Int. J. Cardiovasc. Imaging.*– 2006.– Vol. 22 (1).– P. 63–80.
50. Sugeng L., Mor-Avi V., Weinert L. et al. Quantitative assessment of left ventricular size and function: side-by-side comparison of real-time three-dimensional echocardiography and computed tomography with magnetic resonance reference // *Circulation.*– 2006.– Vol. 114.– P. 654–661.
51. Ugander M., Bagi P.S., Oki A.J. et al. Myocardial edema as detected by pre-contrast T1 and T2 CMR delineates area at risk associated with acute myocardial infarction // *JACC Cardiovasc. Imaging.*– 2012.– Vol. 5.– P. 596–603.
52. Underwood S.R., Bax J.J., vom Dahl J. et al. Imaging techniques for the assessment of myocardial hibernation. Report of a study group of the European Society of Cardiology // *Eur Heart J.*– 2004.– Vol. 25.– P. 815–836.
53. Velazquez E.J., Lee K.L., Deja M.A. et al. Coronary-artery bypass surgery in patients with left ventricular dysfunction // *N. Engl. J. Med.*– 2011.– Vol. 364 (17).– P. 1607–1616.
54. Vogel-Claussen J.J., Vogel-Claussen C.E., Rochitte K.C. et al. Delayed enhancement MR imaging: utility in myocardial assessment // *Radiographics.*– 2006.– Vol. 26 (3).– P. 795–810.
55. Weinsaft J.W., Weinsaft I., Klem R.M. et al. MRI for the assessment of myocardial viability // *Cardiol. Clin.*– 2007.– Vol. 25 (1).– P. 35–56.
56. Wellnhofer E., Olariu A., Klein C. et al. Magnetic resonance low-dose dobutamine test is superior to SCAR quantification for the prediction of functional recovery // *Circulation.*– 2004.– Vol. 109 (18).– P. 2172–2174.
57. Wong T.C., Piehler K., Kang I.A. et al. Myocardial extracellular volume fraction quantified by cardiovascular magnetic resonance is increased in diabetes and associated with mortality and incident heart failure admission // *Eur. Heart J.*– 2013.– Vol. 34 (18).– P. 1093/eurheartj/eh193
58. Wong T.C., Piehler K., Meier C.G. et al. Association between extracellular matrix expansion quantified by cardiovascular magnetic resonance and short-term mortality // *Circulation.*– 2012.– Vol. 126.– P. 1206–1216.
59. Yang Y., Detsky J.S., Pop M. et al. Detecting clinically significant subtle myocardial damage in myocardial infarction using multicontrast delayed enhancement MRI: correlation with whole-mount heart histology at micron-level resolution // *J. Magn. Reson. Med.*– 2009.– Vol. 17.– P. 373–376.

Надійшла 10.09.2014 р.

## Магнитно-резонансная визуализация в диагностике ишемического поражения миокарда левого желудочка

С.В. Федькив<sup>1</sup>, С.С. Теличкун<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> ГУ «Национальный научный центр “Институт кардиологии им. акад. Н.Д. Стражеско” НАМН Украины», Киев

<sup>2</sup> ГУ «Институт ядерной медицины и лучевой диагностики НАМН Украины», Киев

Представлен обзор литературы, касающейся роли магнитно-резонансной визуализации (МРВ) в диагностике ишемического повреждения миокарда левого желудочка. Описаны принципы получения и оценки изображений при использовании разных методик МРВ: T1-, T2-взвешенные изображения с визуализацией структур сердца, МРВ с контрастным усилением (перфузионная МРВ, отсроченное контрастирование), МРВ с фармакологической нагрузкой, кино-МРВ. Уделено особое внимание сегментарному анализу миокарда левого желудочка, оценке гибернированного миокарда при МРВ, оценке внеклеточного пространства в режиме T1-взвешенных изображений.

**Ключевые слова:** магнитно-резонансная визуализация, ишемическая болезнь сердца, инфаркт миокарда.

## Magnetic resonance imaging in the diagnosis of the ischemic myocardial lesions of the left ventricle

S.V. Fedkiv<sup>1</sup>, S.S. Telychkun<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> National Scientific Center «M.D. Strazhesko Institute of Cardiology NAMS of Ukraine», Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup> Institute of Nuclear Medicine and Diagnostic Radiology NAMS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

This literature review concerns diagnosis of ischemic heart disease with cardiac magnetic resonance imaging (MRI) using different techniques: T1, T2, contrast-enhanced cardiac MRI (MR perfusion, late gadolinium enhancement), cardiac MRI with pharmacological stress test, cine-MRI. A special emphasis is paid to hibernating myocardium, T1 mapping and extracellular volume measurement, left ventricular segmentation.

**Key words:** magnetic resonance imaging, ischemic heart disease, myocardial infarction.