

ДИАГНОСТИКА ЗАБОЛЕВАНИЙ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ И ИШЕМИИ МИОКАРДА С ПОМОЩЬЮ МАГНИТОРЕЗОНАНСНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ С КОНТРАСТНЫМ УСИЛЕНИЕМ

Чл-корр. РАМН Н. Л. ШИМАНОВСКИЙ

DIAGNOSIS OF CARDIOVASCULAR DISEASES AND MYOCARDIUM ISCHEMIA USING MAGNETIC RESONANCE IMAGING WITH CONTRAST ENHANCEMENT

N. L. SHIMANOVSKY

Российский государственный медицинский университет, Москва, Российская Федерация

Показана возможность выявления патологических изменений в миокарде (инфаркт, ишемия) и сосудистой системе (стеноз) с помощью магниторезонансной визуализации с контрастным усилением.

Ключевые слова: магниторезонансные контрастные средства, инфаркт миокарда, стеноз артериальных сосудов.

The possibility to reveal pathological changes in the myocardium (infarction, ischemia) and vascular system (stenosis) using magnetic resonance imaging with contrast enhancement is shown.

Key words: magnetic resonance contrast substances, myocardial infarction, arterial stenosis.

В последние годы наблюдается значительное расширение показаний к использованию гадолинийсодержащих магниторезонансных контрастных средств (МРКС) для диагностики ишемической и воспалительной болезней сердца, визуализации коронарных артерий и особенно шунтов с помощью МР ангиографии [1–10, 13, 14]. Последний метод все чаще используют при диагностике врожденной патологии.

Внедрение магниторезонансной визуализации (МРВ) с контрастным усилением значительно улучшило качество диагностики острой и хронической ишемии миокарда. Сейчас существует два метода: определение перфузии и контрастное исследование в более поздние периоды после введения МРКС. Измерение перфузии при первичном прохождении болюса МРКС позволяет судить о перфузии миокарда. Этот метод применяют преимущественно для первичного выявления заболевания коронарных артерий (ЗКА). Поскольку в состоянии покоя в большинстве случаев даже значительный стеноз не приводит к гипоперфузии, диагностику ЗКА следует проводить в условиях фармакологической нагрузки аденозином. Введение аденозина сопровождается расширением неизмененных коронарных артерий и приводит к гипоперфузии в области стенозированной коронарной артерии вследствие феномена «обкрадывания». В процессе самой магниторезонансной диагностики продолжается регистрация ЭКГ, кровяного давления и частоты пульса. Преимущество метода измерения перфузии за-

ключается в том, что он позволяет судить о его гемодинамических последствиях. Кроме того, такое исследование может также включать регистрацию изображения в более поздние периоды после введения МРКС, позволяя выявлять «молчаливый» инфаркт или определять размеры инфаркта. При выявлении гипоперфузии миокарда в состоянии покоя или стресса гадолинийсодержащий препарат (например, гадопентетат, магневист) вводят внутривенно в количестве 0,07 мл/кг со скоростью 3 мл/с, и сканирование начинают сразу после начала введения контрастного средства. Измерение МР-перфузии миокарда с контрастным усилением магневистом позволяет определить индуцируемую нагрузкой вторичную гипоперфузию миокарда вследствие гемодинамического стеноза коронарной артерии.

МРВ с контрастным усилением можно использовать при инфаркте миокарда для определения точного его размера. Через 15 мин после введения МРКС контрастирование позволяет выявлять участки некроза и рубцовых изменений. Согласно экспериментальным исследованиям, МРКС накапливаются именно в рубцовой ткани, образующейся после инфаркта. Причиной этого является изменение накопления МРКС в участках миокарда, где произошло увеличение внеклеточного пространства. Кроме выявления локализации и размеров патологии, МРВ также позволяет дифференцировать субэндокардиальный инфаркт и его трансмуральную форму. Региональные нарушения движения стенки часто развиваются вторично после инфаркта мио-

карда. Причиной этого может быть рубец, т. е. нежизнеспособный участок миокарда или жизнеспособный, но не сокращающийся в данный момент. Два различных механизма могут принимать участие в последнем случае. Во-первых, жизнеспособный миокард с нарушенным движением стенки может быть хронически слабо перфузируемым; в этом участке клетки, хотя и не погибли, но неспособны сокращаться (состояние гибернации). Во-вторых, клетки могут находиться в состоянии длительного «оглушения» до 4 нед после восстановления перфузии. Реваскуляризация путем расширения коронарных сосудов или операция шунтирования приводят к улучшению региональной, а значит, и всей функции левого желудочка только в том случае, если ткань после реваскуляризации жизнеспособна. Целью диагностики жизнеспособности является предсказание возможности восстановления функции областей с нарушенной подвижностью стенки миокарда после реваскуляризации. Оценив степень трансмурального контрастирования в более поздние периоды времени, можно определить вероятность восстановления. Накопление контрастного средства тканью стенки миокарда на толщину, превышающую 50%, является критерием нежизнеспособности.

После инфаркта миокарда размер инфаркта и жизнеспособность ткани можно точно определить с помощью МРВ с контрастным усилением магневиомом. Обычно для этой цели внутривенно вводят магневист в дозе 0,3 мл/кг со скоростью 1 мл/с. Сканирование начинают через 5 мин после введения контрастного средства. У пациентов с инфарктом миокарда контрастирование магневиомом (сканирование проводят через 10–15 мин после внутривенного введения гадопентетата в дозе 0,15–0,20 ммоль/кг) позволяет определить околоинфарктную зону (см. рисунок) и на этом основании прогнозировать изменение функции левого желудочка, а следовательно, дать долгосрочный прогноз выживаемости таких больных [15].

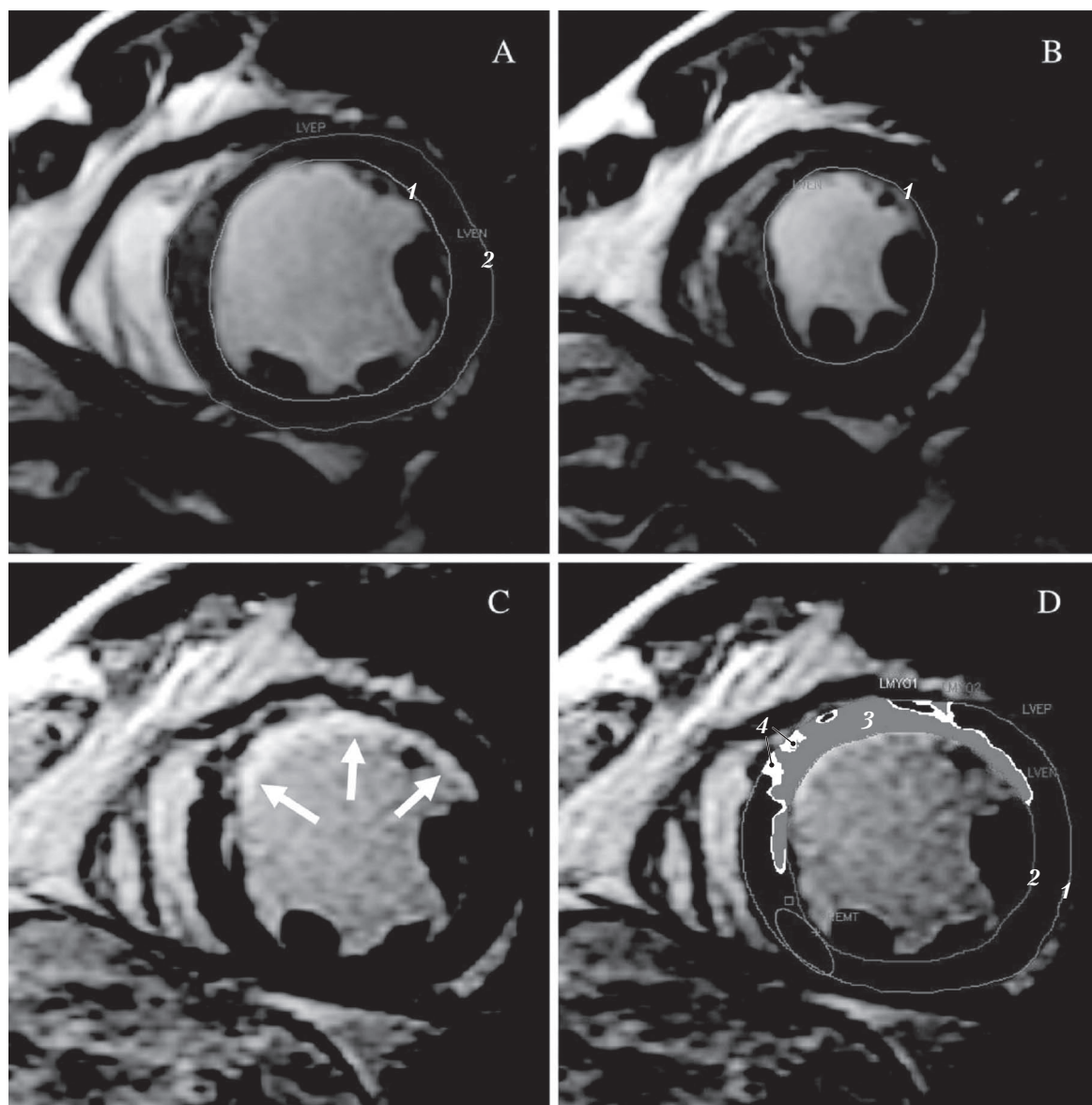
МРВ с контрастным усилением позволяет контролировать лечебный эффект интервенционных мероприятий или шунтирования коронарных артерий, давая возможность определять проходимость шунтированных сосудов сердца с точностью 95%. Еще важнее, что данный метод дает возможность оценить функциональную способность шунта при его комбинации с исследованием перфузии миокарда. При диагностике проходимости аортокоронарного шунта магневист рекомендуется вводить в дозе 0,2 мл/кг со скоростью 2 мл/с. Время циркуляции определяют с помощью тест-болуса (2 мл магневиста). Начало сканирования отсрочено на величину, равную времени транзита контрастного средства + (время регистрации/2) + 4 с. МР-аортография с контрастным усилением позволяет диагностировать стеноз перешейка аорты и выявлять коллатеральные сосуды.

Кардиальная МРВ играет все большую роль при диагностике врожденной патологии. В то время как эхокардиография обычно дает удовлетворительные результаты при исследовании сердца у новорожденных и детей, МРВ сегодня все чаще применяется для послеоперационного контроля лечения у взрослых, когда качество эхокардиографической визуализации становится ограниченным в условиях улучшения терапевтических возможностей. В этих случаях с помощью МРВ можно как получать информацию, соответствующую той, которую дает прямая ангиография, так и оценивать функциональную способность и количественно определять степень повреждений в сердце с помощью измерения тока крови.

Недавно были опубликованы результаты двух многоцентровых клинических исследований, в которых сравнивали диагностическую эффективность выявления стеноза артерий с помощью цифровой субтракционной ангиографии (ЦСА) и МРВ с контрастированием полумолярными МРКС — гадопентетатом и гадодамином [12] и одномолярным МРКС — гадобутролом [11].

Рандомизированное двойное слепое исследование в 18 центрах с участием 247 пациентов не выявило статистически значимой разницы в диагностической эффективности гадодиамида и гадопентетата. Точность определения стенозов была низкой и составила 56,4% для гадодиамида и 52,8% для гадопентетата при их внутривенном введении в дозе 0,1 ммоль/кг со скоростью 2–4 мл/с [12]. В то же время после внутривенного введения гадобутрола (гадовист 1,0) со скоростью 0,8–2 мл/с в средней дозе 0,12 ммоль/кг точность определения стеноза артерий составила 96%. Корреляция между данными диагностики у 179 больных, проведенной с помощью ЦСА и МРВ с гадовистом 1,0, составила 96,6%. Даже при минимальной стандартизации между центрами, оценка степени клинически значимого стеноза артерий, производимая с помощью МРВ с использованием гадобутрола (1,0 М), сравнима с той, которая была получена с помощью ЦСА.

Следовательно, данные этих двух работ позволяют заключить, что точность диагностики артериальных стенозов с помощью МРВ с гадобутролом 1,0 сравнима с ЦСА, а МРВ с полумолярными МРКС примерно в 2 раза хуже. При этом важно отметить, что полумолярные МРКС (например, магневист) нельзя просто заменить гадовистом 1,0 при сканировании на высокопольных МР-томографах с инжекторами. При использовании гадовиста 1,0 параметры сканирования следует «оптимизировать» для малых объемов и плотных болюсов, в ином случае болюс просто «теряется». Специфические аспекты применения гадовиста 1,0 для магниторезонансной ангиографии (МРА) сводятся к изменению протокола исследования. При использовании полумолярных МРКС доза в среднем составляет 18 мл и скорость введения 3 мл/с, а продолжительность введения 6 с. При



Динамическая визуализация контрастного усиления магнестом инфаркта миокарда. В диастолическую (А) и систолическую (В) фазы можно наблюдать акинез переднеперегородочной и передней стенки миокарда. Показаны границы эндокарда (1) и эпикарда (2). Применена методика полуавтоматической компьютерной оценки процента отсроченного контрастного усиления у этого же пациента с инфарктом миокарда передней стенки (белые стрелки) С и D. С помощью компьютера определены зоны ядра инфаркта (3) и околоинфарктной области (4) [15].

введении такой же дозы по гадолинию однолярного препарата (например, гадовист 1,0) его следует вводить в количестве 9 мл. Возможны три варианта оптимальной визуализации с помощью гадовиста 1,0:

- 1) снижение скорости введения на 50% (скорость введения 1,5 мл/с);
- 2) уменьшение продолжительности введения на 50% (продолжительность введения 3 с);
- 3) изменение нескольких параметров.

При выборе этих вариантов рекомендуется учитывать следующие положения.

Вариант 1. Снижение скорости введения на 50%. МРА-исследование проводится по протоколу для полуполярных МРКС, но гадовист 1,0 вводится медленнее, чем полуполярные МРКС, со скоростью вдвое ниже. При этом исследователь должен помнить о к-пространстве, которое должно соответствовать используемой импульсной последовательности и времени начала сканирования. Для нахождения оптимального времени начала сканирования, определяемого индивидуальной скоростью кровотока, следует использовать доступный способ оценки времени появления болюса

в зоне интереса, например, рентгеновский метод с тест-болусом. Предпочтительно использовать автоматический инжектор с обязательным введением физиологического раствора после введения контрастного средства.

Этот вариант самый простой при переходе с полумолярных МРКС на гадовист 1,0. Его рекомендуют при наличии стандартных показаний для МРА с контрастным усилением. Гадовист 1,0 по сравнению с полумолярными МРКС, благодаря более высокой релаксирующей способности, дает более высокое отношение сигнал — шум и позволяет лучше визуализировать сосуды, особенно небольшого диаметра.

Вариант 2. Снижение продолжительности введения. Снижение только продолжительности введения может привести к изменению времени появления болюса в зоне интереса и снижению качества визуализации. Определить время достижения максимальной концентрации контрастного средства («пик болюса») в зоне интереса может быть труднее вследствие увеличенной компактности болюса. Время задержки начала сканирования должно быть сокращено. В зависимости от расположения зоны интереса, индивидуальных физиологических особенностей пациента и параметров используемого оборудования концентрация контрастного средства в периферическом к-пространстве может снижаться, приводя к потере качества изображения.

При уменьшении только времени инъекции МРКС возможны следующие причины снижения качества визуализации:

слишком короткое по времени снижение времени релаксации крови, которое не позволяет получить высокую интенсивность сигнала при обычных временах появления эхо;

неоптимальность стандартных углов отклонения при обычных GRE-последовательностях им-

пульсов для более коротких времен релаксации; нежелательное снижение сигнала вследствие повышенного влияния T2(*) эффектов (индукции локальных колебаний магнитного поля под влиянием сильного магнитного момента гадолиния) при высоких концентрациях контрастного средства при T1-взвешенном изображении.

Данный вариант рекомендуют при использовании очень быстрых импульсных последовательностей, и он требует очень точного определения времени задержки сканирования.

Вариант 3. Изменение нескольких параметров. При использовании современных МР-сканеров рекомендуются:

сокращение продолжительности введения на 30–50 % (по сравнению с полуполярными МРКС);

определение оптимального времени начала сканирования в связи с изменением геометрии болюса (сокращение времени задержки, например с 10 до 7 с, в соответствии с изменением центра к-пространства при максимальной концентрации контрастного вещества);

увеличение угла отклонения на 10–20° при отсутствии ограничений в отношении специфической скорости поглощения.

По-видимому, в настоящее время для получения наилучших результатов визуализации сосудов с помощью МРВ с контрастным усилением следует использовать гадовист 1,0, вводя его внутривенно со скоростью 0,8–2 мл/с в средней дозе 0,12 моль/кг в сочетании с импульсной последовательностью SENSE [11]. При этом МРВ с контрастным усилением обладает неоспоримым преимуществом по сравнению с катетерной ангиографией (ЦСА), так как не требует инвазивного вмешательства, рентгеновского облучения и использования йодированных контрастных средств.

Литература

1. Tissue heterogeneity by contrast-enhanced MRI as a marker of risk for sudden cardiac death in ischemic cardiomyopathy / C. Azevedo, J. A. Lima, C. Silva et al. // *Circulat.*— 2004; 110 (suppl III): III-645. Abstract.
2. Myocardial Gd-DTPA kinetics determine MRI contrast enhancement and reflect the extent and severity of myocardial injury after acute reperfused infarction / R. J. Kim, E. L. Chen, J. A. Lima, R. M. Judd // *Circulat.*— 1996; 94: 3318–3326.
3. Acute myocardial infarction: evaluation with first-pass enhancement and delayed enhancement MR imaging compared with ²⁰¹Tl SPECT imaging / G. K. Lund, A. Stork, M. Saeed et al. // *Radiol.*— 2004; 232: 49–57.
4. Reproducibility of chronic infarct size measurement by contrast-enhanced magnetic resonance imaging / H. Mahrholdt, A. Wagner, T. A. Holly et al. // *Circulat.*— 2002; 106: 2322–2327.
5. Delayed enhancement cardiovascular magnetic resonance assessment of non-ischaemic cardiomyopathies / H. Mahrholdt, A. Wagner, R. M. Judd et al. // *Eur. Heart. J.*— 2005; 26: 1461–1474.
6. Prophylactic implantation of a defibrillator in patients with myocardial infarction and reduced ejection fraction / A. J. Moss, W. Zareba, W. J. Hall et al. // *N. Engl. J. Med.*— 2002; 346: 877–883.
7. Magnetic resonance assessment of the substrate for inducible ventricular tachycardia in nonischemic cardiomyopathy / S. Nazarian, D. A. Bluemke, A. C. Lardo et al. // *Circulat.* 2005; 112: 2821–2825.
8. MR imaging assessment of cardiac function / S. Pujadas, G. P. Reddy, O. Weber et al. // *J. Magn. Reson. Imaging.*— 2004; 19: 789–799.
9. Reperfused myocardial infarction as seen with use of necrosis-specific versus standard extracellular MR contrast media in rats / M. Saeed, J. Bremerich, M. F. Wendland et al. // *Radiol.*— 1999; 213: 247–257.

10. Magnetic resonance characterization of the peri-infarction zone of reperfused myocardial infarction with necrosis-specific and extracellular nonspecific contrast media / M. Saeed, G. Lund, M. F. Wendland et al. // *Circulat.*— 2001; 103: 871–876.
11. *Schaefer F.K.W.* A multicenter, site-independent, blinded study to compare the diagnostic accuracy of contrast-enhanced magnetic resonance angiography using 1.0 M gadobutrol (Gadovist™) to intraarterial digital subtraction angiography in body arteries // *Eur. J. Radiol.*— 2007, 61(2): 315–323.
12. Abdominal and Iliac Arterial Stenoses: Comparative Double-blinded Randomized Study of Diagnostic Accuracy of 3D MR Angiography with Gadodiamide or Gadopentetate Dimeglumine / P. J. Schaefer // *Radiol.*— 2006; 238: 827–840.
13. An improved MR imaging technique for the visualization of myocardial infarction / O. P. Simonetti, R. J. Kim, D. S. Fieno et al. // *Radiol.*— 2001; 218: 215–223.
14. Sudden death in patients with myocardial infarction and left ventricular dysfunction, heart failure, or both / S. D. Solomon, S. Zelenkofske, J. J. McMurray et al. // *N. Engl. J. Med.*— 2005; 352: 2581–2588.
15. Characterization of the Peri-Infarct Zone by Contrast-Enhanced Cardiac Magnetic Resonance Imaging Is a Powerful Predictor of Post-Myocardial Infarction Mortality / A. T. Yan, A. J. Shayne, K. A. Brown et al. // *Circulat.*— 2006; 114: 32–39.

Поступила 27.02.2007