

И.С. Железняк^{1,2}, Г.Е. Труфанов^{1,2}, С.Д. Рудь^{1,2},
И.А. Меньков¹, Г.Г. Романов^{1,2}, К.А. Краковская²

УДК [616–073.756.8:538.27]:616.12+
[616–073.755.4:616.12–005.4]

Усовершенствование методики магнитно-резонансной томографии сердца с контрастным усилением при ишемической болезни сердца

¹Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург

²Федеральный центр сердца, крови и эндокринологии имени В.А. Алмазова, Санкт-Петербург

Резюме. Магнитно-резонансная томография сердца с контрастным усилением при ишемической болезни сердца позволяет за одно исследование визуализировать рубцовые изменения, зоны отека миокарда, оценить его перфузию, глобальную и локальную сократительную функцию. Однако на каждом этапе исследования существуют определенные трудности визуализации и ограничения методики, которые препятствуют ее широкому клиническому применению.

Усовершенствованная методика магнитно-резонансной томографии сердца с контрастным усилением позволяет сократить общее время исследования, улучшает визуализацию миокарда на T2-взвешенных изображениях. Предложенный способ задержки дыхания при оценке перфузии обеспечивает неподвижность сердца в момент лучшего контрастирования, что улучшает качество перфузионных изображений. При отсроченном сканировании выбор времени инверсии от рубца позволяет улучшить визуализацию субэндокардиальных рубцов. Предложенная методика оценки массы рубца даже при отсутствии специализированного программного обеспечения позволяет наглядно оценить тяжесть рубцового поражения миокарда.

Ключевые слова: магнитно-резонансная томография, контрастное усиление, ишемическая болезнь сердца, жизнеспособность миокарда, отсроченное контрастирование, перфузия миокарда, отек миокарда, нарушение кинетики миокарда.

Введение. В настоящее время магнитно-резонансная томография (МРТ) сердца является золотым стандартом оценки жизнеспособности миокарда [2–4]. Помимо прямой визуализации рубцовых изменений методика позволяет за одно исследование визуализировать зоны отека миокарда, оценить его перфузию и сократительную функцию [4, 7–10]. Стандартная методика МРТ сердца с контрастным усилением при ишемической болезни сердца (ИБС) состоит из нескольких этапов. После выполнения ориентировочных сканов оценивается сократительная функция [7, 8], после чего проводится фармакологическая нагрузка, вводится контрастный препарат и оценивается перфузия миокарда [1, 5, 6, 12]. Отсроченное сканирование для визуализации рубцовых изменений миокарда проводится с 15-минутной задержкой [4, 9, 11]. У пациентов с острым инфарктом миокарда фармакологическая нагрузка не выполняется, вместо нее визуализируют зоны отека миокарда на T2-взвешенных изображениях (ВИ) [8, 9]. Однако на каждом этапе исследования существуют определенные трудности визуализации и ограничения методики, которые препятствуют ее широкому клиническому применению.

Цель исследования. Совершенствование методики МРТ с контрастным усилением у пациентов с ИБС.

Материалы и методы. На 1,5 Тл магнитно-резонансном томографе «Magnetom Symphony», фирмы «Siemens» (Германия) обследованы 127 пациентов с ИБС, которых разделили на три группы: 1 – имеющих стенокардию напряжения различных функциональных классов (25), 2 – недавно перенесших инфаркт миокарда сроком от 2 до 7 суток (18), 3 – имеющих постинфарктный кардиосклероз (84).

Для оценки эффективности усовершенствованной методики всем пациентам исследование выполнялось дважды – за 1–2 недели до реваскуляризирующей операции по стандартной методике и через 2–3 месяца после операции по усовершенствованной методике. Для оценки эффективности усовершенствованной методики перфузии миокарда пациентам 1 группы до операции оценка перфузии выполнялась дважды в начале исследования и после отсроченного сканирования (через 15 минут). Аналогично поступали для оценки эффективности визуализации отека миокарда у пациентов 2 группы – стандартная методика выполнялась в начале исследования, усовершенствованная в конце.

Одним из главных недостатков стандартной методики МРТ сердца с контрастным усилением при ИБС является длительное время исследования. Для того чтобы ответить на все поставленные кардиологами вопросы, применяется большое количество различ-

ных импульсных последовательностей в стандартных сердечных плоскостях. Сканирование осуществляется в положении пациента на спине, во время диастолы желудочков, с задержкой дыхания на вдохе. В зависимости от импульсной последовательности время задержки дыхания составляет от 10 до 18 с, а после нее пациенту требуется определенное время для восстановления дыхания. За счет этого время исследования в среднем составляет 45–55 мин. В зависимости от степени тяжести ИБС и сопутствующей патологии, значительная часть пациентов не может долго и неподвижно находиться в положении лежа на спине в узком тоннеле томографа и выполнять частые задержки дыхания. Из-за этого приходится уменьшать количество используемых импульсных последовательностей и плоскостей, жертвуя диагностической информацией.

Для сокращения времени исследования предлагаем получать изображения для полуавтоматической оценки глобальной сократительной функции во время 15-минутной задержки. При этом общее время сканирования сокращается до 30–40 мин, что позволяет пациентам лучше переносить исследование (рис. 1).

Для компьютерной оценки глобальной сократительной функции левого желудочка с использованием turboFLASH последовательностей (Fast Low Angle Single Shot – последовательность с использованием

одного подготовительного импульса, короткого времени повторения и малого угла отклонения вектора намагниченности) получают 8–12 серий изображений подвижного миокарда по короткой оси левого желудочка. Для лучшей визуализации локальных нарушений кинетики в апикальных сегментах, а также диагностики аневризм и тромбов в области верхушки сердца рекомендуем обязательно получать серии киноизображений в двух- и четырехкамерной проекции по длинной оси левого желудочка.

Для визуализации изменений миокарда при остром инфаркте используют турбо-спин-эхо последовательность (turbo spin echo – TSE T2-последовательности), на которых зоны отека визуализируются в виде участков миокарда с гиперинтенсивным сигналом.

При использовании стандартной методики с одной фазированной системой катушек на 1,5 Тл МР-томографе визуализация этих изменений часто бывает затруднена вследствие неравномерного намагничивания тканей градиентными полями. Мы предлагаем использовать две фазированные системы катушек, установленные от левой задней подмышечной линии до правой передней подмышечной линии с перекрытием в области грудины (рис. 2). Такая схема позволяет получить более однородную намагниченность зоны исследования и улучшить соотношение

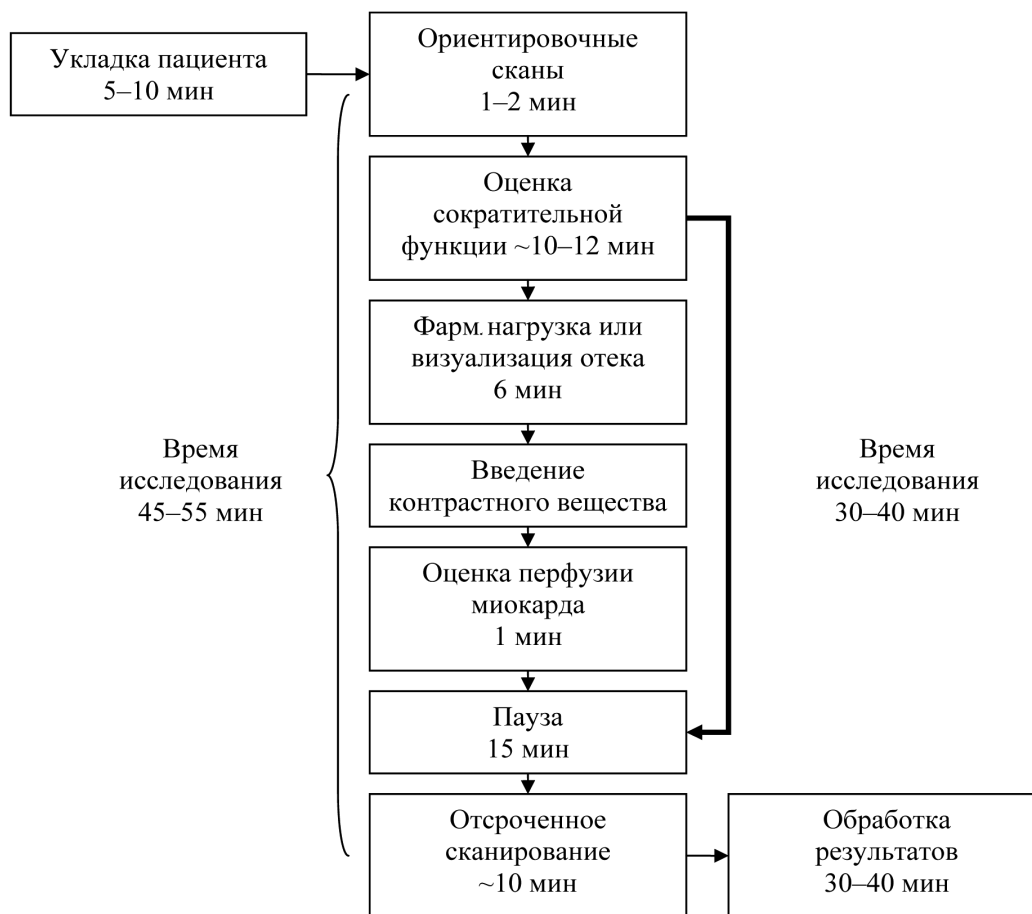


Рис. 1. Этапы методики МРТ сердца с контрастным усилением при ИБС

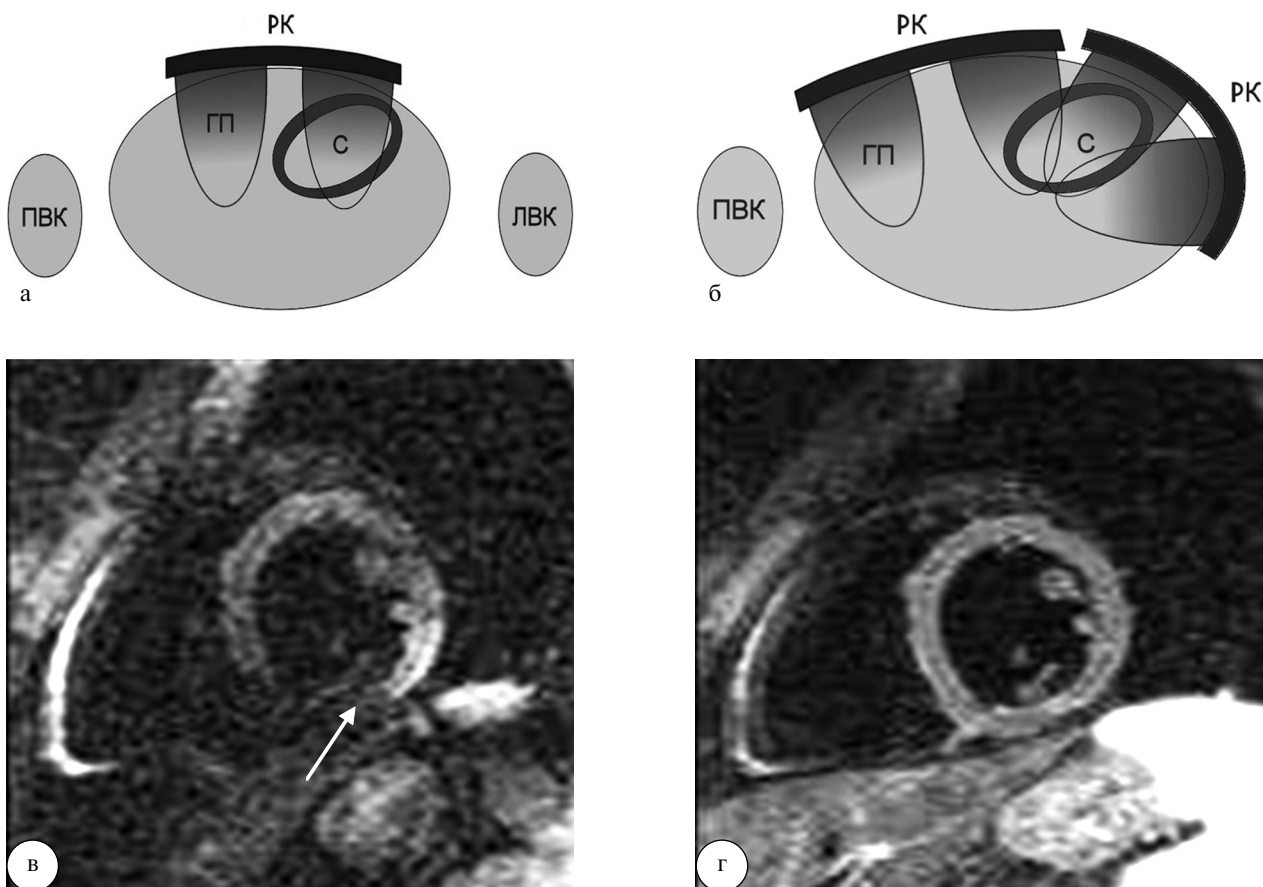


Рис. 2. Схематическое изображение аксиального среза груди на уровне сердца. Расположение катушек и градиентных полей при стандартной укладке (а) и при использовании разработанной схемы (б): ГП – градиентное поле; ЛВК – левая верхняя конечность; ПВК – правая верхняя конечность; С – сердце; РК – радиочастотная катушка. TSE T2-ВИ одного и того же пациента: в – стандартная методика не позволяет оценить изменения задней стенки левого желудочка (стрелка); г – усовершенствованная методика позволяет провести оценку всех сегментов

сигнал–шум, что улучшает и делает более достоверной визуализацию зон отека миокарда. Исключение левой верхней конечности из поля исследования позволяет уменьшить его размер, что приводит к увеличению пространственного разрешения и исчезновению артефактов от наложения тканей.

Следующим этапом исследования является оценка перфузии с помощью методики отслеживания «первого прохождения» контрастного вещества. Для этого гадолиний-содержащее парамагнитное контрастное вещество концентрацией 0,5 ммоль/мл в дозировке 0,125 мл/кг вводится внутривенно со скоростью 5 мл/с, с последующим введением 20 мл физиологического раствора. При использовании фармакологической нагрузки до контрастного препарата внутривенно вводится натрия аденозин трифосфат в течение 6 мин в дозировке 140 мкг/кг/мин.

Для получения перфузионных изображений используются сверхбыстрые turboFLASH-последовательности с получением 3 срезов по короткой оси левого желудочка и одного среза в двухкамерной проекции по длинной оси с использованием 40–50 повторений. Дополнительный срез в

двухкамерной проекции требуется для оценки перфузии верхушки левого желудочка. Дефекты перфузии миокарда визуализируются в виде зон миокарда с гипоинтенсивным сигналом, свидетельствующем о задержке поступления контрастного вещества.

При использовании стандартной методики задержка дыхания при оценке перфузии выполняется от момента начала сканирования и длится около 15 с. При этом качество томограмм, полученных после задержки дыхания, значительно хуже за счет артефактов от смещения сердца при дыхании. При полуколичественном анализе перфузии миокарда выявлено, что максимальная разница в интенсивности сигнала между интактным и ишемизированным миокардом составляет 30–35% и наблюдается с 15 по 30 с от начала введения контрастного вещества. Поэтому проводить задержку дыхания пациента необходимо не с начала сканирования, а с 10 с. 5 с требуется на выполнение команд оператора для задержки дыхания. Предложенный способ задержки дыхания обеспечивает неподвижность сердца в момент лучшего контрастирования миокарда, что в свою очередь повышает качество перфузионных изображений (рис. 3).

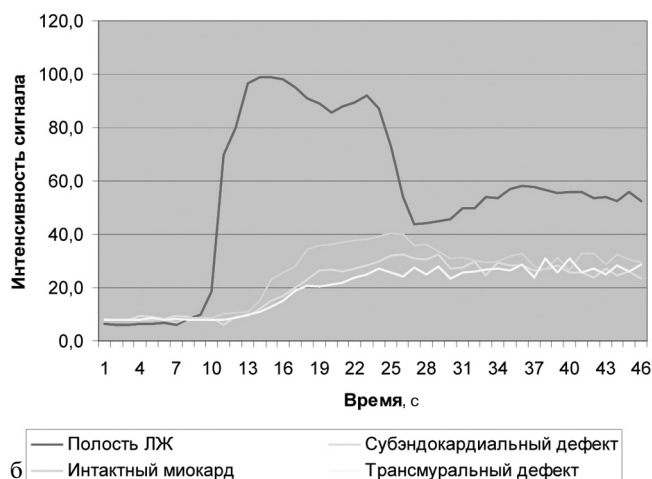
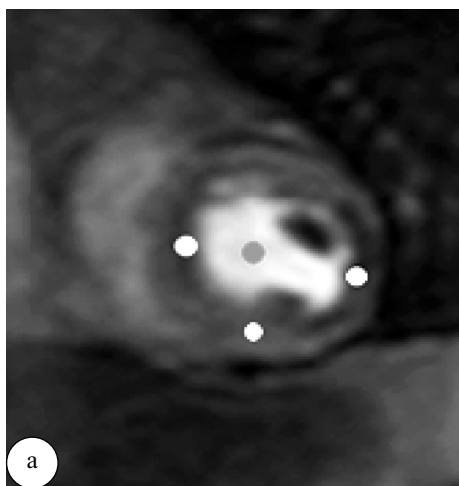


Рис. 3. Определение зон интереса (а) и график интенсивности сигнала (б) при полуколичественной оценке перфузии миокарда. Сравнение интенсивности сигнала в полости левого желудочка (красный), интактном миокарде (зеленый), субэндокардиальном (голубой) и трансмуральном (желтый) дефекте перфузии

Для визуализации рубцовых изменений и повреждения миокарда через 15 мин после введения контрастного веществ используется отсроченное сканирование с помощью сверхбыстрых FLASH последовательностей с инверсией сигнала от интактного миокарда. При этом время инверсии в среднем составляет 280–320 мс. На постконтрастных изображениях оценивают толщину и протяженность зон отсроченного контрастирования, которые визуализируются в виде участков миокарда с гиперинтенсивным сигналом, свидетельствующем о задержке выведения контрастного вещества.

Установлено, что при использовании инверсии сигнала от интактного миокарда сложно визуально отграничить небольшую зону субэндокардиального контрастирования от полости левого желудочка. В таких случаях необходимо использовать инверсию сигнала от рубца (время инверсии 150–180 мс). При этом изображение инвертируется – рубец визуализируется как участок миокарда с гипоинтенсивным сигналом, что позволяет его четко отграничить от гиперинтенсивной полости левого желудочка и интактного миокарда (рис. 4).

Для более наглядного отображения тяжести рубцового поражения предлагаем использовать количественный параметр – массу рубца (при остром инфаркте миокарда – массу поврежденного миокарда). При отсутствии специализированного программного обеспечения можно использовать встроенную функцию расчета объема левого желудочка. Для этого на серии отсроченных изображений вместо контура эндокарда следует обводить контур рубца. После этого получившийся объем (значение конечного диастолического объема) умножают на 1,05 (коэффициент, отражающий диастолическую плотность миокарда) и получают массу рубца. Процентное отношение массы рубца к общей массе миокарда (вычисленной при компьютерном анализе глобальной сократительной

функции левого желудочка) позволяет оценить тяжесть поражения миокарда.

Результаты и их обсуждение. Показано, что среднее время исследования при использовании стандартной методики составило $48,1 \pm 7,4$ мин, усовершенствованной – $34,6 \pm 6,1$ мин. Число пациентов, которым приходилось сокращать протокол исследования, составило 32 и 8 соответственно.

При визуализации зон отека миокарда на TSE T2-ВИ из 306 сегментов диагностическим качеством обладали: при стандартной методике – 237, усовершенствованной – 283. При сравнении результатов оценки перфузии с помощью стандартной методики выявлено 72 сегментов, усовершенствованной – 95. При отсроченном сканировании с помощью стандартной методики выявлено 116 сегментов с субэндокардиальным отсроченным контрастированием, усовершенствованной – 131.

При расчете массы рубца в 3 группе (постинфарктный кардиосклероз) минимальное значение составило 0,7 г, а максимальное – 47 г (в среднем $8,0 \pm 9,7$ г). При сопоставлении с массой всего миокарда было выявлено, что минимальное поражение составило 0,5%, а максимальное – 25,9% (в среднем $4,8 \pm 5,0\%$). При расчете массы поврежденного миокарда во 2 группе (острый инфаркт миокарда) минимальное значение составило 4 г, а максимальное – 34,5 г (в среднем $13,9 \pm 8,8$ г). При сопоставлении с массой всего миокарда минимальное поражение составило 3,8%, а максимальное – 16,7% (в среднем, $8,6 \pm 3,6\%$).

Заключение. Усовершенствованная методика МРТ сердца с контрастным усилением позволяет сократить общее время исследования, улучшить визуализацию миокарда на TSE T2-ВИ. Предложенный способ задержки дыхания при оценке перфузии обеспечивает неподвижность сердца в момент лучшего

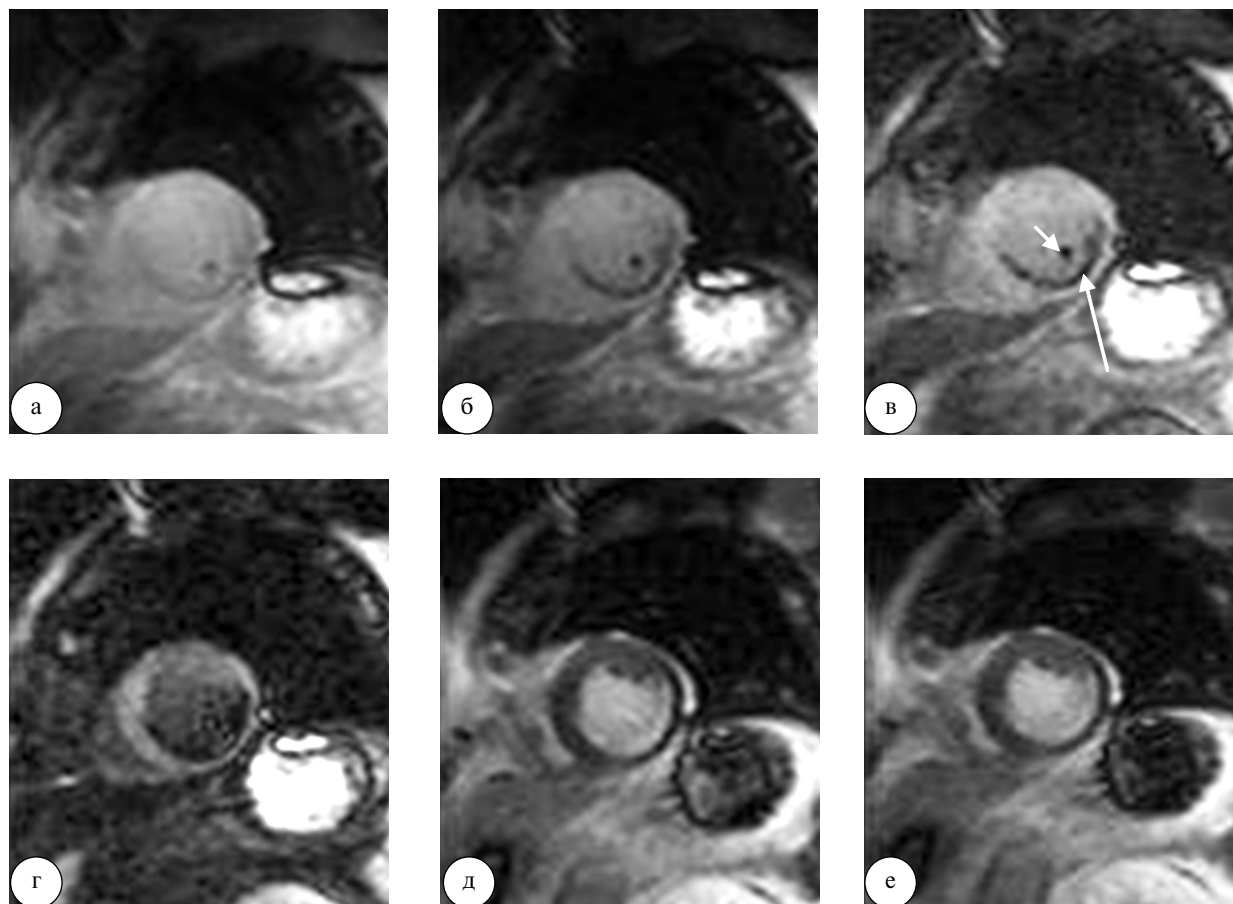


Рис. 4 Визуализация рубца и интактного миокарда при разном времени инверсии сигнала (TI). TI=120 мс (а), TI=150 мс (б), TI=180 мс (в), TI=240 мс (г), TI=280 мс (д), TI=320 мс (е). Субэндокардиальная зона отсроченного контрастирования (длинная стрелка) в средних отделах перегородки, нижней и латеральной стенках левого желудочка и зона отсроченного контрастирования в задней папиллярной мышце (короткая стрелка) лучше визуализируются при инверсии сигнала от рубца (TI=150–180 мс при 1,5 Тл)

контрастирования, что улучшает качество перфузионных изображений. При отсроченном сканировании выбор времени инверсии «от рубца» позволяет улучшить визуализацию субэндокардиальных рубцов. Предложенная методика оценки массы рубца даже при отсутствии специализированного программного обеспечения позволяет наглядно оценить тяжесть рубцового поражения миокарда.

Литература

1. Грамович, В.В. Количественная оценка перфузии миокарда с помощью магнитно-резонансной томографии у больных хронической ишемической болезнью сердца / В.В. Грамович [и др.] // Кардиология. – 2004. – Т. 44, № 8. – С. 4–12.
2. Саидова, М.А. Современные методы диагностики жизнеспособного миокарда / М.А. Саидова // Кардиология. – 2005. – Т. 45, № 9. – С. 47–54.
3. Стукалова, О.В. Оценка миокарда у больных ИБС с помощью контрастной МРТ / О.В. Стукалова, В.Е. Сеницын, С.К. Терновой // Мед. визуализация. – 2004. – № 5. – С. 18–23.
4. Cury, R.C. Diagnostic performance of stress perfusion and delayed-enhancement MR imaging in patients with coronary artery disease / R.C. Cury [et al.] // Radiology. – 2006. – Vol. 240, № 1. – P. 39–45.
5. Fenchel, M. Detection of regional myocardial perfusion deficit using rest and stress perfusion MRI: A feasibility study / M. Fenchel [et al.] // Am. j. radiol. – 2005 – Vol. 185, № 3. – P. 627–635.
6. Ishida, N. Noninfarcted myocardium: correlation between dynamic first-pass contrast-enhanced myocardial MR imaging and quantitative coronary angiography / N. Ishida [et al.] // Radiology. – 2003. – Vol. 229, № 1. – P. 209–216.
7. Messroghli, D.R. Assessment of regional left ventricular function: accuracy and reproducibility of positioning standard short-axis sections in cardiac MR imaging / D.R. Messroghli [et al.] // Radiology. – 2005. – Vol. 235, № 1. – P. 229–236.
8. Myerson, S.G. Assessment of left ventricular mass by cardiovascular magnetic resonance / S.G. Myerson [et al.] // Hypertension. – 2002. – Vol. 39, №3. – P. 750–755.
9. Schmidt, A. Infarct tissue heterogeneity by magnetic resonance imaging identifies enhanced cardiac arrhythmia susceptibility in patients with left ventricular dysfunction / A. Schmidt [et al.] // Circulation. – 2007. – Vol. 115, № 15. – P. 2006–2014.
10. Schwitler, J. Assessment of myocardial perfusion in coronary artery disease by magnetic resonance: a comparison with positron emission tomography and coronary angiography / J. Schwitler [et al.] // Circulation. – 2001. – Vol. 103, № 18. – P. 2230–2235.

11. Vogt, F.M. Myocardial late enhancement in contrast-enhanced cardiac MRI: distinction between infarction scar and non-infarction-related disease / F.M. Vogt [et al.] // Am. j. radiol. – 2005. – Vol. 184, № 5. – P. 1420–1426.
12. Wolff, S.D. Assessment of first-pass myocardial perfusion imaging during rest and adenosine stress: comparison with cardiac catheterization / S.D. Wolff [et al.] // Proc. ISMRM. – 1999. – Vol. 7, № 1. – P. 305.

I.S. Zheleznyak, G.E. Trufanov, S.D. Rud, I.A. Menkov, G.G. Romanov, K.A. Krakovskaya

Refinement of method of magnetic resonance imaging of heart with contrast enhancement at coronary heart disease

Abstract. Contrast-enhanced magnetic resonance imaging is able to assess myocardium viability, it allows detecting myocardial ischemia, edema, scar and to assess left ventricular function in one examination.

Advanced technique of magnetic resonance imaging of the heart with contrast enhancement reduces the total time of the study and improves visualization of myocardial edema. The proposed method of breath hold improves the quality of perfusion images. Using low inversion time improves visualization of subendocardial scarring on a late enhancement images. The proposed method of estimating the mass of scar, even in the absence of specialized software, allows estimating severity of myocardial scarring.

Key words: Contrast-enhanced magnetic resonance imaging, coronary artery disease, myocardium viability, late enhancement, myocardial perfusion, myocardial edema, myocardial wall motion abnormalities.

Контактный телефон: 8 (812) 292-33-47; e-mail: rentgenvma@mail.ru