ВОЗМОЖНОСТИ МРТ В ДИАГНОСТИКЕ И ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛЕЧЕНИЯ РАКА ПРЯМОЙ КИШКИ

А.В. Усова, И.Г. Фролова, С.Г. Афанасьев, А.С. Тарасова

ФГБУ «НИИ онкологии» СО РАМН, г. Томск
634028, г. Томск, ул. Савиных, 12/1, e-mail: afina.tomsk@mail.ru

Представлены современные возможности магнитно-резонансной томографии в оценке местной и лимфогенной распространенности, а также эффективности предоперационного этапа комбинированного лечения рака прямой кишки.

Ключевые слова: рак прямой кишки, магнитно-резонансная томография, комбинированное лечение.

POTENTIAL ROLE OF MAGNETIC RESONANCE IMAGING IN DIAGNOSIS AND ASSESSMENT OF TREATMENT RESPONSE IN PATIENTS WITH RECTAL CANCER

A.V. Usova, I.G. Frolova, S.G. Afanasyev, A.S. Tarasova
Cancer Research Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Medical Sciences, Tomsk
12/1, Savinykh Street, 634028-Tomsk, Russia, e-mail: afina.tomsk@mail.ru

This review describes the potential role of magnetic resonance imaging in assessment of locally advanced disease as well as preoperative treatment response in patients with rectal cancer.

Key words: rectal cancer, magnetic resonance imaging, combined modality treatment.

Рак прямой кишки (РПК) представляет собой одну из актуальных и сложных проблем современной онкологии. Колоректальный рак – второе по распространенности онкологическое заболевание у мужчин и третье у женщин, при этом доля РПК в структуре заболеваемости злокачественными новообразованиями мужского населения составляет 5,1 % (6-е ранговое место), женского – 4,7 % (8-е ранговое место). В структуре онкологической смертности рак прямой кишки находится на 5-м ранговом месте как у мужчин – 5,3 %, так и у женщин – 6,4 %. В 2011 г. в России было выявлено 25033 впервые выявленных случая РПК, при этом у 48,6 % больных диагностирован местнораспространенный ($T_{3-4}N_{1-2}$) или диссеминированный процесс [1, 4]. Высокая частота рецидивирования и агрессивные методы неoadъювантной терапии, принятые в качестве стандарта лечения местнораспространенного РПК, требуют всесторонней визуальной оценки опухолевого процесса как при первичной диагностике, так и на этапах комбинированного лечения [61, 66].

Основными методами неинвазивной визуализации при раке прямой кишки являются эндоректальная ультрасонография (ЭУЗИ), компьютерная томография (КТ) и магнитно-резонансная томография (МРТ). При предоперационной оценке местной

распространенности рака прямой кишки наиболее часто в клинической практике используется ЭУЗИ, которая позволяет с высокой точностью дифференцировать слои стенки прямой кишки. Точность метода в оценке степени опухолевой инвазии в стенку кишки и инфильтрации параректальной клетчатки составляет 85–95 % [32, 56]. На сегодняшний день ЭУЗИ является самой точной методикой для дифференциации T_1 - и T_2 - стадии [17, 62]. При этом специфичность ЭУЗИ существенно зависит от стадии опухолевого процесса, составляя 97, 91, 91 и 90 % соответственно. Недостатками ЭУЗИ является неспособность адекватно визуализировать собственно фасции кишки и оценить инвазию в соседние органы за счет ограниченного поля обзора. По этой же причине диагностическая точность ЭУЗИ в оценке регионарных лимфатических узлов не превышает 68 %. Кроме того, УЗИ является оператор-зависимым методом диагностики [24, 26, 29, 38].

Несмотря на активное развитие КТ и появление мультиспиральных томографов, информативность спиральной компьютерной томографии (СКТ) в диагностике рака прямой кишки ограничена ввиду относительно небольшой мягкотканой контрастности. В частности, невозможна дифференциация слоев прямой кишки, имеются сложности в

определении периферического края резекции. Чувствительность и специфичность СКТ для оценки Т-критерия опухоли составляют 72–79 % и 78–96 % соответственно [9]. Оценка лимфогенной распространенности по данным СКТ осуществляется на основании анатомических критериев, однако этот метод весьма неточен. Основными причинами диагностических ошибок являются либо доброкачественная гиперплазия лимфатических узлов, либо наличие микрометастазов в макроскопически не увеличенных лимфоузлах [69]. Чувствительность и специфичность СКТ в определении метастатического поражения лимфатических узлов составляет 55 % и 74 % соответственно [9]. Большую сложность вызывает оценка состояния структур малого таза на этапах комбинированного лечения РПК, особенно дифференциальная диагностика различных анатомических изменений в условиях постлучевого фиброза [3].

Магнитно-резонансная томография является диагностическим методом, сочетающим в себе преимущества пространственного и контрастного разрешения в сочетании с отсутствием лучевой нагрузки. В ранних работах исследовалась информативность МРТ с эндоректальной катушкой, которая обеспечивает высокое пространственное разрешение и возможность четкой детализации стенок прямой кишки, однако малое поле обзора затрудняет оценку собственной фасции, окружающих структур и лимфатических узлов, что приближает диагностическую эффективность метода к ЭУЗИ. Существенным ограничением является невозможность применения метода при стенозирующих и высоко расположенных процессах, а также дороговизна эндоректальных катушек [11, 47].

На сегодняшний день методом выбора для первичной диагностики рака прямой кишки, оценки эффективности проводимого лечения, выявления рецидивов является МРТ с фазированными поверхностными катушками. Появление последних позволило добиться высокого пространственного разрешения в сочетании с большим полем обзора, что обеспечило возможность визуализации структур до 1–2 мм в диаметре на большом протяжении. На этапе первичной диагностики МРТ является высокоэффективным инструментом для визуализации слоев кишечной стенки, параректальной клетчатки, собственной фасции прямой кишки и окружающих структур. В целом частота совпадения между

данными МРТ при оценке местной распространенности процесса и результатами гистологического исследования операционного материала колеблется в пределах от 66 % до 94 % [15, 35, 63].

Несмотря на более чем двадцатилетний опыт использования, основные МР-последовательности при раке прямой кишки до сих пор не стандартизированы. Т2-взвешенные изображения с высоким пространственным разрешением чаще всего применяются при первичной диагностике рака прямой кишки, а также на этапах лечения и являются методом выбора для оценки анатомии ректальной стенки [12, 35, 70]. В частности, возможна дифференциация слоев кишечной стенки за счет высокой интенсивности сигнала от слизистого слоя, гипоинтенсивности подслизистого слоя, средней интенсивности сигнала от мышечного слоя и гиперинтенсивности параректальной клетчатки. Выявление опухоли основывается на естественной разности интенсивности МР-сигнала между неизменной кишечной стенкой, прилежащими структурами и тканью опухоли. На Т2-взвешенных изображениях опухоли прямой кишки, как правило, имеют промежуточную интенсивность сигнала между параректальной жировой клетчаткой и мышечным слоем. Необходимо отметить, что интенсивность сигнала опухоли увеличивается, если образование содержит муцин, и снижается при наличии десмопластической реакции. Собственная фасция прямой кишки хорошо визуализируется на Т2-взвешенных изображениях как тонкая гипоинтенсивная структура на фоне высокоинтенсивной параректальной клетчатки, однако из-за уменьшающейся толщины параректальной клетчатки на уровне нижнеампулярного отдела оценка может быть затруднена. Показатели диагностической эффективности МРТ в определении опухолевой инфильтрации собственной фасции прямой кишки составляют: чувствительность – 75 %, специфичность – 88–98 %, точность – 85–92 % [40].

Одним из важных количественных критериев в правильной оценке распространенности РПК является латеральный край резекции, который равен расстоянию от края опухоли до собственной фасции прямой кишки. По данным ряда авторов, этот показатель является более надежным прогностическим фактором, чем Т-стадия [2, 41]. Затруднения в правильном определении латерального края резекции возможны при низком расположении

опухоли и у пациентов с ограниченным количеством параректальной клетчатки. Однако, в целом, совпадение данных предоперационной МРТ и результатов послеоперационного морфологического исследования латерального края резекции достигает 92 % [13, 41, 54].

T1-взвешенные последовательности менее эффективны в диагностике первичного РПК, оценке эффективности лучевого лечения и при рецидиве процесса. Введение контрастного препарата, по мнению некоторых авторов, дополнительно затрудняет возможность визуализации слоев кишечной стенки, однако может быть полезно в определении степени распространения процесса на анальный канал [12, 30]. Несмотря на высокое пространственное разрешение, все еще остаются сложности в стратификации опухоли по стадиям T₁ и T₂, за счет сложности визуализации слизистого и подслизистого слоев кишки [35]. Но основные диагностические трудности при МРТ-исследовании возникают при дифференциации между T₂- и T₃-стадиями. Отрицательная прогностическая значимость для оценки выхода процесса за пределы кишечной стенки колеблется от 76 до 93 %. Проблема возникает за счет десмопластической реакции вокруг опухоли, что мешает дифференцировать фиброзные изменения в параректальной клетчатке и истинную опухолевую инфильтрацию [8, 33]. В то же время специфичность МРТ при T₄-стадии очень высокая – 96 % [9].

Метастатическое поражение параректальных лимфатических узлов (ПЛУ) является индикатором вероятности отдаленного метастазирования, местного рецидива процесса и показанием для назначения неoadъювантной химиолучевой терапии [37]. При этом адекватная радиологическая оценка лимфогенного распространения РПК остается нерешенной проблемой. Наиболее часто используемым критерием для определения метастатического поражения лимфоузла является его увеличение, однако у этого подхода есть существенные ограничения, вызванные возможной доброкачественной лимфоидной гиперплазией или наличием микрометастазов в неувеличенных ПЛУ [51]. По данным L. Herrera et al., в 45 % размер метастатически пораженного лимфатического узла не превышал 5 мм [28]. Ряд авторов предложили в качестве критерия метастатического поражения оценивать контуры и интенсивность МР-сигнала. Они пришли к вы-

воду, что присутствие спикюлоподобной реакции, нечеткость контуров узла и неоднородность интенсивности сигнала повышают информативность метода [39, 59]. Использование указанных диагностических маркеров повышает специфичность метода от 68 (оценка только размера ПЛУ) до 97 % [14]. В настоящее время точность МРТ при оценке метастатического поражения лимфатических узлов колеблется от 71 до 91 % [8]. Однако результаты метаанализа показывают, что никакой из методов неинвазивной визуализации не обладает достаточной диагностической точностью для определения метастатически измененных ПЛУ [55].

Развитие визуализационных методик при РПК достигло большого прогресса в улучшении пространственного и контрастного разрешения, увеличении скорости получения данных, а также в возможностях сложной постобработки с получением трехмерных изображений и многоплоскостного моделирования, благодаря чему обеспечивается превосходная анатомическая детализация. Однако для более полноценного диагностического анализа местной распространенности рака прямой кишки необходима оценка функциональных параметров. Поэтому все больше внимания уделяется таким диагностическим методикам, как динамическая контрастированная МРТ, МРТ-диффузия, МР-спектроскопия, МР-лимфография.

Динамическая контрастная МРТ является одним из методов, позволяющих анализировать параметры опухолевого кровотока. Учитывая нелинейную зависимость между степенью усиления сигнала и количеством вводимого контрастного препарата, предложено несколько способов оценки, включая расчет перфузионного индекса, а также полуколичественный анализ кривых интенсивности сигнал–время [25, 34]. В ранних работах производились попытки поиска корреляций между степенью злокачественности первичной опухоли и параметрами динамической контрастной МРТ, при этом полученные данные оказались противоречивыми. Ряд авторов сообщали о наличии подобной корреляции, другие, напротив, не находили связи между степенью дифференцировки опухоли и параметрами динамической МРТ [10, 21, 53]. Имеются сообщения, посвященные определению дифференциально-диагностических критериев между нормальной кишечной стенкой и опухолевой тканью [68, 71]. Найдена корреляция между

показателями динамической МРТ и плотностью микрососудов опухоли [65]. Параметры динамической МРТ также использовались при оценке непосредственной эффективности предоперационной лучевой и химиотерапии на этапах комбинированного лечения [18, 20, 45, 52].

Одним из перспективных направлений является МРТ-диффузия, которая позволяет оценивать физиологические параметры тканей на основании регистрации скорости внутри- и внеклеточной диффузии молекул, методика может стать альтернативой крайне дорогостоящей ПЭТ [44]. Оценка диффузионной МРТ может быть как визуальной, основанной на разности интенсивностей МР-сигнала, так и количественной – с расчетом кажущегося коэффициента диффузии (ADC). Уже показана потенциальная ценность диффузионно-взвешенных изображений МРТ в первичной диагностике колоректального рака [31]. Есть указания на эффективность диффузионной МРТ в выявлении опухолей прямой кишки маленького размера [42, 60], а также при визуализации местного рецидива [57]. Показана высокая диагностическая эффективность МРТ-диффузии в выявлении первичного рака прямой кишки (чувствительность – 93–95 %, специфичность – 95–100 %). Однако в настоящее время наибольший интерес представляет использование диффузионной МРТ в качестве инструмента оценки эффективности лучевой терапии [6, 27, 43, 50, 58].

МР-спектроскопия является также весьма многообещающим методом диагностики, позволяющим оценивать тканевой метаболизм на биохимическом уровне. Множество работ посвящено МР-спектроскопии головного мозга, молочной железы и предстательной железы, однако опыт ее использования при раке прямой кишки практически отсутствует, в доступной литературе имеются единичные работы [23].

Совершенно новым направлением является использование в МРТ суперпарамагнитных наночастиц железа в качестве специфического маркера метастатического поражения лимфатических узлов [49, 64]. Показана высокая диагностическая эффективность метода, однако есть сообщения об ошибках и ограничениях, что требует дальнейших исследований [49, 55].

Современные подходы к лечению местнораспространенного рака прямой кишки предпо-

лагают использование неoadьювантной лучевой и химиолучевой терапии (НАХЛТ), что снижает частоту местных рецидивов и улучшает общую выживаемость [66]. При этом остро встает вопрос об адекватной оценке эффективности терапии и рестадировании процесса после завершения консервативного этапа комбинированного лечения. Проблемы постлучевой диагностики рака прямой кишки заключаются в сложности дифференциации между постлучевым фиброзом и жизнеспособной опухолевой тканью, что иногда приводит к завышению стадии процесса [5, 50]. Диагностическая точность МРТ после НАХЛТ при оценке T-стадии составляет 47–54 %, при оценке критерия N – 64–68 %, при определении латерального циркулярного края резекции – 66 % [5, 46, 67]. Была найдена связь между параметрами динамической МРТ и реакцией измененных параректальных лимфатических узлов на лучевую терапию [19, 20]. Есть указания на повышение диагностической эффективности метода при увеличении временного промежутка между окончанием курса НАХЛТ и МРТ-исследованием [36].

Показана корреляция между уровнем ADC и развитием постлучевого фиброза в первичной опухоли [27], доказана связь между выраженностью ADC, гистологически доказанным апоптозом опухолевых клеток и степенью регрессии новообразования в прямой кишке после химиолучевой терапии [16, 22]. В ряде работ сообщается о высокой информативности количественной оценки диффузионной МРТ в определении эффективности химиолучевого лечения и предсказательной ценности ADC в качестве маркера ответа как первичной опухоли [6, 20, 27], так регионарных лимфатических узлов [48, 58].

Таким образом, МРТ является высокоинформативным методом первичной диагностики при раке прямой кишки, что позволяет адекватно оценивать распространенность процесса и является крайне важным для планирования тактики лечения и отбора пациентов для неoadьювантной лучевой терапии. Кроме того, МРТ обеспечивает полноценную оценку эффективности проводимой терапии, в том числе с помощью функциональных количественных критериев, что гарантирует возможность коррекции проводимого лечения в зависимости от ответа первичной опухоли. Применение в клинической практике функциональных МРТ-технологий требует всестороннего

изучения и позволяет рассчитывать на повышение диагностической эффективности метода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бутенко А.В., Разбирин В.Н. Рак прямой кишки. Современные направления и тенденции в лечении (обзор литературы) // Сибирский онкологический журнал. 2011. № 6 (48). С. 83–89.
2. Невольских А.А., Бердов Б.А., Неборак Ю.Т. и др. Латеральный край резекции как фактор прогноза при раке прямой кишки // Сибирский онкологический журнал. 2010. № 5 (41). С. 5–10.
3. Силантьева Н.К., Бердов Б.А., Шавладзе З.Н. и др. Значение компьютерной томографии в изучении рентгеновской анатомии малого таза после комбинированного лечения больных раком прямой кишки // Сибирский онкологический журнал. 2009. № 5 (35). С. 17–23.
4. Состояние онкологической помощи населению России в 2011 году / Под ред. В.И. Чиссова, В.В. Старинского, Г.В. Петровой. М., 2012. 240 с.
5. Allen S., Padhani A., Dzik-Jurasz A., Glynn-Jones R. Rectal Cancer: MRI with Histologic Correlation before and after chemoradiation therapy // AJR. 2007. Vol. 188 (8). P. 442–451.
6. Barbaro B., Vitale R., Leccisotti L. et al. Restaging locally advanced rectal cancer with MR imaging after chemoradiation therapy // Radiographics. 2010. Vol. 30. P. 699–716.
7. Beets-Tan R.G., Beets G.L., Vliegen R.F. et al. Accuracy of magnetic resonance imaging in prediction of tumour-free resection margin in rectal cancer surgery // Lancet. 2001. Vol. 357. P. 497–504.
8. Beets-Tan R.G., Beets G.L. Rectal cancer: review with emphasis on MR imaging // Radiology. 2004. Vol. 232. P. 335–346.
9. Bipat S., Glas A.S., Slors F.J. et al. Rectal cancer: local staging and assessment of lymph node involvement with endoluminal US, CT, and MR imaging – a meta-analysis // Radiology. 2004. Vol. 232. P. 773–783.
10. Blomqvist L., Fransson P., Hindmarsh T. The pelvis after surgery and radio-chemotherapy for rectal cancer studied with Gd-DTPA-enhanced fast dynamic MR imaging // Eur. Radiol. 1998. Vol. 8 (5). P. 781–787.
11. Blomqvist L., Holm T., Rubio C. et al. Rectal tumours: MR imaging with endorectal and/or phased-array coils, and histopathological staging on giant sections – a comparative study // Acta Radiol. 1997. Vol. 38. P. 437–444.
12. Brown G., Daniels I.R., Richardson C. et al. Techniques and trouble-shooting in high spatial resolution thin slice MRI for rectal cancer // Br. J. Radiol. 2005. Vol. 78 (927). P. 245–251.
13. Brown G., Radcliffe A.G., Newcombe R.G. et al. Preoperative assessment of prognostic factors in rectal cancer using high-resolution magnetic resonance imaging // Br. J. Surg. 2003. Vol. 90. P. 355–364.
14. Brown G., Richards C.J., Bourne M.W. et al. Morphologic predictors of lymph node status in rectal cancer with use of high-spatial-resolution MR imaging with histopathologic comparison // Radiology. 2003. Vol. 227. P. 371–377.
15. Brown G., Kirkham A., Williams G.T. et al. High resolution MRI of the anatomy important in total mesorectal excision of the rectum // AJR. 2004. Vol. 182. P. 431–439.
16. Chinnaiyan A.M., Prasad U., Shankar S. et al. Combined effect of tumor necrosis factor-related apoptosis-inducing ligand and ionizing radiation in breast cancer therapy // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 2000. Vol. 97. P. 1754–1759.
17. Chun H.K., Choi D., Kim M.J. et al. Preoperative staging of rectal cancer: comparison of 3-T high-field MRI and endorectal sonography // AJR. 2006. Vol. 187 (6). P. 1557–1562.
18. de Lussanet Q.G., Backes W.H., Griffioen A.W. et al. Dynamic contrast-enhanced magnetic resonance imaging of radiation therapy-induced microcirculation changes in rectal cancer // Int. J. Radiat. Oncol. 2005. Vol. 63 (5). P. 1309–1315.
19. de Vries A.F., Griebel J., Kremser C. et al. Monitoring of tumor microcirculation during fractionated radiation therapy in patients with rectal carcinoma: preliminary results and implications for therapy // Radiology. 2000. Vol. 217 (2). P. 385–391.

20. de Vries A.F., Kremser C., Hein P.A. et al. Tumor microcirculation and diffusion predict therapy outcome for primary rectal carcinoma // Int. J. Radiat. Oncol. 2003. Vol. 56 (4). P. 958–965.
21. Dicle O., Obuz F., Cakmakci H. Differentiation of recurrent rectal cancer and scarring with dynamic MR imaging // Br. J. Radiol. 1999. Vol. 72 (864). P. 1155–1159.
22. Dzik-Jurasz A., Domenig C., George M. et al. Diffusion MRI for prediction of response of rectal cancer to chemoradiation // Lancet. 2002. Vol. 360. P. 307–308.
23. Dzik-Jurasz A.S., Murphy P.S., George M. et al. Human rectal adenocarcinoma: demonstration of IHMR spectra in vivo at 1.5 T // J. Magn. Reson. Med. 2002. Vol. 47. P. 809–811.
24. Engelen S., Beets G., Beets-Tan R. Role of Preoperative Local and Distant Staging in Rectal Cancer // Onkologie. 2007. Vol. 30. P. 141–145.
25. Fusco R., Sansone M., Petrillo M. et al. Dynamic Contrast Enhanced Magnetic Resonance Imaging in Rectal Cancer / Rectal Cancer – A Multidisciplinary Approach to Management / Eds. Dr. Giulio A. Santoro. 2011. P. 75–98.
26. Garcia-Aguilar J., Pollack J., Lee S.H. et al. Accuracy of endorectal ultrasonography in preoperative staging of rectal tumors // Dis. Colon Rectum. 2002. Vol. 45. P. 10–15.
27. Hein P.A., Kremser C., Judmaier W. et al. Diffusion-weighted magnetic resonance imaging for monitoring diffusion changes in rectal carcinoma during combined, preoperative chemoradiation: preliminary results of a prospective study // Eur. J. Radiol. 2003. Vol. 45. P. 214–222.
28. Herrera L., Brown M.T. Prognostic profile in rectal cancer // Dis. Colon Rectum. 1994. Vol. 37. Suppl. 2. S.1–5.
29. Herzog U., von Flue M., Tondelli P., Schuppisser J.P. How accurate is endorectal ultrasound in the preoperative staging of rectal cancer? // Dis. Colon Rectum. 1993. Vol. 36 (2). P. 127–134.
30. Hoeffel C., Marra M.D., Azizi L. et al. External phased-array MR imaging preoperative assessment of rectal cancer // J. Radiol. 2006. Vol. 87. P. 1821–1830.
31. Hosonuma T., Tozaki M., Ichiba N. et al. Clinical usefulness of diffusion-weighted imaging using low and high b-values to detect rectal cancer // J. Magn. Reson. Med. Sci. 2006. Vol. 5 (4). P. 173–177.
32. Hsieh P.S., Changchien C.R., Chen J.S. et al. Comparing results of preoperative staging of rectal tumor using endorectal ultrasonography and histopathology // Chang Gung Med. J. 2003. Vol. 26 (7). P. 474–478.
33. Hunerbein M., Pegios W., Vogl T.J. et al. Endorectal MRI for staging rectal carcinoma: preliminary experience // Br. J. Cancer. 1995. Vol. 72. P. 11.
34. Hylton N. Dynamic contrast-enhanced magnetic resonance imaging as an imaging biomarker // J. Clin. Oncol. 2006. Vol. 24. P. 3293–3298.
35. Iafrate F., Laghi A., Paolantonio P. et al. Preoperative staging of rectal cancer with MR Imaging: correlation with surgical and histopathologic findings // Radiographics. 2006. Vol. 26 (3). P. 701–714.
36. Johnston D.F., Lawrence K.M., Sizer B.F. et al. Locally advanced rectal cancer: histopathological correlation and predictive accuracy of serial MRI after neoadjuvant chemotherapy // Br. J. Radiol. 2009. Vol. 82. P. 332–336.
37. Kapiteijn E., Marijnen C.A., Nagtegaal I.D. et al. Preoperative radiotherapy combined with total mesorectal excision for resectable rectal cancer // N. Engl. J. Med. 2001. Vol. 345. P. 638–646.
38. Kauer W.K., Prantl L., Dittler H.J., Siewert J.R. The value of endosonographic rectal carcinoma staging in routine diagnostics: a 10-year analysis // Surg. Endosc. 2004. Vol. 18. P. 1075–1078.
39. Kim J.H., Beets G.L., Kim M.J. et al. High resolution MR imaging for nodal staging in rectal cancer: are there any criteria in addition to the size? // Eur. J. Radiol. 2004. Vol. 52. P. 78–83.
40. Kim S.H., Lee J.M., Park H.S. et al. Accuracy of MRI for Predicting the Circumferential Resection Margin, Mesorectal Fascia Invasion, and Tumor Response to Neoadjuvant Chemoradiotherapy for Locally Advanced Rectal Cancer // J. Magn. Res. Imag. 2009. Vol. 29. P. 1093–1101.
41. Kim Y.W., Cha S.W., Pyo J. et al. Factors related to preoperative assessment of the circumferential resection margin and the extent of mesorec-

tal invasion by magnetic resonance imaging in rectal cancer: a prospective comparison study // *World J. Surg.* 2009. Vol. 33. P. 1952–1960.

42. Koh D.M., Collins D.J. Diffusion-weighted MRI in the body: applications and challenges in oncology // *AJR.* 2007. Vol. 188. P. 1622–1635.

43. Koh D.M., Scurr E., Collins D. et al. Predicting response of colorectal hepatic metastasis: value of pretreatment apparent diffusion coefficients // *AJR.* 2007. Vol. 188. P. 1001–1008.

44. Kremser C., Judmaier W., Hein P. et al. Preliminary results on the influence of chemoradiation on apparent diffusion coefficients of primary rectal carcinoma measured by magnetic resonance imaging // *Strahlenther Onkol.* 2003. Bd. 179. S. 641–649.

45. Kremser C., Trieb T., Rudisch A. et al. Dynamic T(1) mapping predicts outcome of chemoradiation therapy in primary rectal carcinoma: sequence implementation and data analysis // *J. Magn. Reson. Imaging.* 2007. Vol. 26 (3). P. 662–671.

46. Kuo L.J., Chern M.C., Tsou M.H. et al. Interpretation of magnetic resonance imaging for locally advanced rectal carcinoma after preoperative chemoradiation therapy // *Dis. Colon Rectum.* 2005. Vol. 48 (1). P. 23–28.

47. Laghi A., Ferri M., Catalano C. et al. Local staging of rectal cancer using a phased array body coil // *Abdom. Imaging.* 2002. Vol. 27. P. 425–431.

48. Lahaye M.J., Beets G.L., Engelen S.M. et al. Locally advanced rectal cancer: MR imaging for restaging after neoadjuvant radiation therapy with concomitant chemotherapy. Part II. What are the criteria to predict involved lymph nodes? // *Radiology.* 2009. Vol. 252. P. 81–91.

49. Lahaye M.J., Engelen S.M., Kessels A.G. et al. USPIO-enhanced MR imaging for nodal staging in patients with primary rectal cancer: predictive criteria // *Radiology.* 2008. Vol. 246 (3). P. 804–811.

50. Lambregts D.M., Beets G.L., Maas M. et al. Accuracy of gadofosveset-enhanced MRI for nodal staging and restaging in rectal cancer // *Ann. Surg.* 2011. Vol. 253. P. 539–545.

51. McMahon C.J., Rofsky N.M., Pedrosa I. Lymphatic metastases from pelvic tumors: anatomic classification, characterization and staging // *Radiology.* 2010. Vol. 254. P. 31–46.

52. Mross, K., Fasol, U., Frost A. et al. DCE-MRI assessment of the effect of vandetanib on tumor vasculature in patients with advanced colorectal cancer and liver metastases: a randomized phase I study // *J. Angiogenes Res.* 2009. Vol. 1. P. 5.

53. Muller-Schimpfle M., Brix G., Layer G. et al. Recurrent rectal cancer: diagnosis with dynamic MR imaging // *Radiology.* 1993. Vol. 189 (3). P. 881–889.

54. Nagtegaal I.D., Gossens M.J., Marijnen C.A. et al. Combinations of tumor and treatment parameters are more discriminative for prognosis than the present TNM system in rectal cancer // *J. Clin. Oncol.* 2007. Vol. 25. P. 1647–1650.

55. Narayanan P., Iyngkaran T., Sohaib S.A. et al. Pearls and pitfalls of MR lymphography in gynecologic malignancy // *Radio-Graphics.* 2009. Vol. 29. P. 1057–1069.

56. Nielsen M.B., Qvitzau S., Pedersen J.F. et al. Endosonography for preoperative staging of rectal tumours // *Acta Radiol.* 1996. Vol. 37. P. 799–803.

57. Nishie A., Stolpen A.H., Obuchi M. et al. Evaluation of locally recurrent pelvic malignancy: performance of T2- and diffusion-weighted MRI with image fusion // *J. Magn. Reson. Imaging.* 2008. Vol. 28. P. 705–713.

58. Ono K., Ochiai R., Yoshida T. et al. Comparison of diffusion-weighted MRI and 2-[fluorine-18]-fluoro-2-deoxy-D-glucose positron emission tomography (FDG-PET) for detecting primary colorectal cancer and regional lymph node metastases // *J. Magn Reson Imaging.* 2009. Vol. 29. P. 336–340.

59. Poeze M., Houbiers J.G., van de Velde C.J. et al. Radical resection of locally advanced colorectal cancer // *Br. J. Surg.* 1995. Vol. 82. P. 1386–1390.

60. Rao S.X., Zeng M.S., Chen C.Z. et al. The value of diffusion-weighted imaging in combination with T2-weighted imaging for rectal cancer detection // *Eur. J. Radiol.* 2008. Vol. 65. P. 299–303.

61. Rich T., Gunderson L.L., Lew R. et al. Patterns of recurrence of rectal cancer after potentially curative surgery // *Cancer.* 1983. Vol. 52. P. 1317–1329.

62. Siddiqui A., Fayiga Y., Huerta S. The role of endoscopic ultrasound in the evaluation of rectal cancer // *Int. Sem. Surg. Oncol.* 2006. Vol. 3. P. 36–42.

63. Taflampas P., Christodoulakis M., de Bree E. et al. Preoperative decision making for rectal cancer // *Am. J. Surg.* 2010. Vol. 200 (3). P. 426–432.

64. Thoeny H.C., Triantafyllou M., Birkhauser F.D. et al. Combined ultrasmall superparamagnetic particles of iron oxide-enhanced and diffusion-weighted magnetic resonance imaging reliably detect pelvic lymph node metastases in normalsized nodes of bladder and prostate cancer patients // *Eur. Urol.* 2009. Vol. 55. P. 761–769.

65. Tuncbilek N., Karakas H.M., Altaner S. Dynamic mri in indirect estimation of microvessel density, histologic grade, and prognosis in colorectal adenocarcinomas // *Abdom. Imaging.* 2004. Vol. 29. P. 166–172.

66. Valentini V., Aristei C., Glimelius B. et al. Multidisciplinary Rectal Cancer Management: 2nd European Rectal Cancer Consensus Conference (EURECA-CC2) // *Radiother. Oncol.* 2009. Vol. 92. P. 148–163.

67. Vliegen R.F., Beets G.L., Lammering G. et al. Mesorectal fascia invasion after neoadjuvant chemotherapy and radiation therapy for locally advanced rectal cancer: accuracy of MR imaging for prediction // *Radiology.* 2008. Vol. 246 (2). P. 454–462.

68. Yao W.W., Zhang H., Ding B. et al. Rectal cancer: 3D dynamic contrast-enhanced MRI; correlation with microvascular density and clinicopathological features // *Radiol. Med.* 2011. Vol. 116 (3). P. 366–374.

69. Yeung J.M.C., Ferris N.J., Lynch A.C., Heriot A.G. Preoperative staging of rectal cancer // *Future Oncol.* 2009. Vol. 5 (8). P. 1295–1306.

70. Zhang X.M., Zhang H.L., Yu D. et al. 3-T MRI of rectal carcinoma: preoperative diagnosis, staging, and planning of sphincter-sparing surgery // *AJR.* 2008. Vol. 190. P. 1271–1278.

71. Zhang X.M., Yu D., Zhang H.L. et al. 3D dynamic contrast-enhanced MRI of rectal carcinoma at 3T: correlation with microvascular density and vascular endothelial growth factor markers of tumor angiogenesis // *J. Magn. Reson. Imaging.* 2008. Vol. 27 (6). P. 1309–1316.

Поступила 31.05.12