

DOI: 10.31146/1682-8658-ecg-162-2-89-95

Возможности магнитно-резонансной томографии в оценке метастатического поражения регионарных лимфатических узлов нижеампулярного рака прямой кишки

Волкова С. Н.², Сташук Г. А.¹, Вишнякова М. В.¹, Черменский Г. В.¹, Левченко С. В.²¹ ГБУЗ МО «Московский областной научно-исследовательский клинический институт им. М. Ф. Владимирского», Москва, Россия² ГБУЗ «Городская клиническая больница № 24» ДЗ Москвы, Москва, Россия

Capabilities of magnetic resonance imaging in evaluating metastatic regional lymph nodes in lower ampullar rectal cancer

S. N. Volkova², G. A. Stashuk¹, M. V. Vishnyakova¹, G. V. Chermensky¹, S. V. Levchenko²¹ Moscow regional research and clinical Institute n.a. M. F. Vladimirovsky, Moscow, Russia² City clinical hospital № 24, Moscow, Russia

Для цитирования: Волкова С. Н., Сташук Г. А., Вишнякова М. В., Черменский Г. В., Левченко С. В. Возможности магнитно-резонансной томографии в оценке метастатического поражения регионарных лимфатических узлов нижеампулярного рака прямой кишки. Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология. 2019;162(2): 89–95. DOI: 10.31146/1682-8658-ecg-162-2-89-95

For citation: Volkova S. N., Stashuk G. A., Vishnyakova M. V., Chermensky G. V., Levchenko S. V. Capabilities of magnetic resonance imaging in evaluating metastatic regional lymph nodes in lower ampullar rectal cancer. *Experimental and Clinical Gastroenterology*. 2019;162(2): 89–95. (In Russ.) DOI: 10.31146/1682-8658-ecg-162-2-89-95

Волкова Снежана Николаевна, врач-рентгенолог

Сташук Галина Александровна, д.м.н., главный научный сотрудник рентгенологического отделения

Вишнякова Мария Валентиновна, д.м.н., руководитель рентгенологического отделения

Черменский Григорий Валерьевич, младший научный сотрудник рентгенологического отделения

Левченко Светлана Владимировна, к.м.н., врач-рентгенолог

Snezhana N. Volkova, City clinical hospital № 24, radiologist

Galina A. Stashuk, chief researcher of the x-ray Department

Mariya V. Vishnyakova, head of the x-ray Department

Grigory V. Chermensky, Junior researcher of the x-ray Department

Svetlana V. Levchenko, radiologist

✉ *Corresponding author:*

Волкова

Снежана Николаевна

Snezhana N. Volkova

5960323@mail.ru

Резюме

Рак прямой кишки занимает одно из лидирующих мест в структуре смертности у представителей обоих полов, при этом единственным радикальным методом лечения остается хирургическое вмешательство. Для планирования оперативного лечения важной является оценка метастатического поражения локорегионарных лимфатических узлов, что является важным предиктором возникновения рецидива заболевания. Эффективность и достоверность дооперационного определения метастатического поражения регионарных лимфоузлов при нижеампулярном раке прямой кишки существенным образом возросла после внедрения в клиническую практику магнитно-резонансной томографии с применением диффузионно-взвешенных изображений и неионного парамагнетика.

Статья посвящена проблемам дооперационного стадирования и определению метастазов в регионарных пара-ректальных лимфатических узлах путем сопоставления результатов МРТ — исследования с контрастным усилением и МРТ с ДВИ в диагностике метастаз-положительных локорегионарных лимфоузлов, сравнения с данными гистологического исследований интраоперационного материала.

Ключевые слова: рак нижеампулярного отдела прямой кишки, магнитно-резонансная томография, метастазы, лимфоузлы

Summary

Rectal cancer is one of the leaders in the structure of mortality in both sexes, with the only radical method of treatment is surgery. For the planning of surgical treatment, it is important to assess the metastatic lesion of the locoregional lymph nodes, which is an important predictor of the recurrence of the disease. The efficiency and accuracy of the preoperative

determination of metastatic regional lymph nodes in low-ampullar rectal cancer increased significantly after the introduction into clinical practice of magnetic resonance imaging with the use of diffusion-weighted image and a non-ionic paramagnetic.

The article is devoted to the problems of preoperative staging and determination of metastases in regional pararectal lymph nodes by comparing the results of MRI studies with contrast enhancement and MRI with diffusion-weighted images (DWI) in the diagnosis of metastases – positive locoregional lymph nodes, comparison with the data of histological studies of intraoperative material.

Keywords: low- ampullar rectal cancer, magnetic resonance imaging, metastasis, lymph nodes

Введение

Рак прямой кишки (РПК) представляет собой одну из актуальных и сложных проблем современной онкокопроктологии. Распространенность и смертность населения от этой патологии по-прежнему остаются высокими [1]. В ряду колоректальных раков особое место занимают раки прямой кишки низких локализаций (ниже 6 см), при лечении которых применяются комбинированные методы лечения, а частота местных рецидивов, несмотря на выполнение зачастую инвалидизирующих операций, значительно выше.

Метастатическое поражение параректальных лимфатических узлов (ПЛУ) при нижеампулярном раке прямой кишки является индикатором вероятности отдаленного метастазирования, местного рецидива процесса и показанием для назначения неоадьювантной химиолучевой терапии [19, 22]. 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 увеличенных параректальных лимфоузлах [9,10,11,18].

Диагностика метастатического поражения лимфоузлов рака нижеампулярного отдела прямой кишки осуществляется, как правило, с помощью эндоскопического ультразвукового исследования, компьютерной и магнитно-резонансной томографии, чувствительность которых 61–80, 56–79 и 57–85% соответственно [8].

В последнее время, наряду с рутинной компьютерной томографией и МРТ для предоперационного стадирования и выявления метастатически измененных лимфатических узлов, начали применять ПЭТ-КТ с F18-фтордезоксиглюкозой (ФДГ). Рядом авторов было доказано, чтобы данный метод диагностики может быть полезным определения метастазов рака прямой кишки в мелких регионарных лимфатических узлах путем выявления в них метаболической активности [4,7,27]. Однако ПЭТ/КТ F18-ФДГ также как и МРТ не показала высокой чувствительности в выявлении метастазов в лимфатических узлах, что было связано с наличием частичного объемного эффекта в поврежденных лимфоузлах размерами менее 10 мм, что приводит к ложноотрицательным результатам оценки метаболической активности в них [23,25].

В соответствии с рекомендациями Европейского общества медицинской онкологии МРТ является первоочередным методом диагностики, так как позволяет оценить состояние тканей как внутри мезоректума, так и вне его (состояние тазовых органов) [5]. Чувствительность и специфичность метода для диагностики метастатического поражения лимфатических узлов 77 и 71% [16].

Одной из проблем, связанных с МРТ диагностикой метастатического лимфоузла, является отсутствие корректных диагностических критериев. Ряд авторов предложили в качестве критерия метастатического поражения оценивать контуры и интенсивность МР-сигнала. Они пришли к выводу, что присутствие спикүлоподобной реакции, нечеткость контуров узла и неоднородность интенсивности сигнала повышают информативность метода. Использование указанных диагностических маркеров повышает специфичность метода с 68% (оценка только размера лимфоузла) до 97% [2].

Ряд авторов проводили экспериментальные исследования в области использования МРТ с динамическим контрастированием для определения метастатического поражения лимфатических узлов при раке прямой кишки. Однако использование таких последовательностей до настоящего времени не нашло применения в повседневной клинической практике в виду малой информативности, высоких временных затрат на исследование и увеличения его стоимости [12–17].

Недавно было предложено использовать диффузионно-взвешенные изображения (ДВИ) МРТ в диагностике злокачественных опухолей. При обнаружении на ДВИ лимфоузлов с высокой интенсивностью сигнала вне зависимости от его размера, они считаются метастаз-положительными. Но дифференциальная диагностика метастаз-позитивных и метастаз-негативных лимфоузлов на ДВИ ограничена, поскольку нормальные лимфоузлы также могут давать высокую интенсивность сигнала в определенных случаях [17]. Например, в случае воспаления и реактивного отека лимфоузла результат ДВИ в отношении метастатического поражения может быть ложно положительным. Тогда как на ранних стадиях рака реактивного увеличения лимфатических узлов не происходит, и поэтому ДВИ сигнал высокой интенсивности для лимфатического узла в случае раннего рака прямой кишки, более вероятно, связан с его метастатическим поражением [20,21].

Точность МРТ в оценке вторичного поражения мезоректальных лимфатических узлов остается умеренной, так как нет надежных критериев оценки метастатически пораженных лимфоузлов. Одним из наиболее перспективных достижений МРТ может быть использование новых лимфографических агентов, которые помогают оценить распространение опухоли в лимфатические узлы. В недавнем исследовании МРТ с гадолинием улучшило специфичность узлового стадирования с 82%, достигнутых со стандартной МРТ, до 97% [16,17].

Сочетание диффузионно-взвешенной МРТ с T2-взвешенными изображениями улучшает идентификацию тазовых лимфатических узлов по сравнению с одними только T2-взвешенными изображениями. Использование сочетания изображений позволило обнаружить 29% дополнительных узлов по сравнению с одними только T2-взвешенными изображениями [20,26].

Neijpen и Seber показали, что ДВИ увеличивает точность выявления пораженного лимфатического

узла, а ДВИ с измеряемым коэффициентом диффузии может играть определенную роль в характеристике лимфатического узла, но как единственный метод диагностики МРТ не является надежным для дифференциации доброкачественных и злокачественных узлов [6,24].

Результаты мета-анализа показывают, что никакой из методов неинвазивной визуализации не обладает достаточной диагностической точностью для определения метастатически измененных параректальных лимфоузлов.

В этой связи, целью нашего исследования была оптимизация диагностического алгоритма в стадировании нижнеампулярного рака прямой кишки путем сопоставления результатов МРТ – исследования с контрастным усилением и МРТ с ДВИ в диагностике метастаз-положительных параректальных лимфоузлов, а также сравнения с данными гистологического исследования интраоперационного материала для определения постадийной чувствительности и специфичности каждого метода.

Материалы и методы

В исследуемую группу вошли 57 пациентов - 10 здоровых добровольцев и 47 пациентов с раком нижнеампулярного отдела прямой кишки и анального канала на различных стадиях.

Средний возраст пациентов в первой подгруппе составил 57,6±9,4 лет, из них 50% составляли мужчины (n=5) и 50% женщины (n=5).

Средний возраст пациентов во второй подгруппе составил 64,5±13,8 лет, из них 57% составляли мужчины (n=27) и 43% женщины (n=20).

Всем пациентам проводилась комплексная лучевая диагностика, включавшая компьютерную томографию органов брюшной полости с болюсным контрастным усилением и компьютерная томография органов грудной клетки, магнитно-резонансная томография малого таза, из них 28 пациентам было проведено исследование с внутривенным введением парамагнетика.

Исследования проводились на магнитно-резонансном томографе GEOptimaMR450wGEM, с использованием поверхностной и встроенной в стол катушек. Всем пациентам МРТ малого таза выполнялось по стандартизированному протоколу, включавшему три серии T2-ВИ (в аксиальной, сагиттальной и коронарной плоскостях) толщиной 3мм, одну серию аксиальных T1-ВИ и серию

аксиальных диффузно-взвешенных изображений (ДВИ) с диффузионными факторами b=500 и b=1000 с/мм². Группе пациентов (n=28) дополнительно выполнялись T1-ВИ в сагиттальной и коронарной плоскостях до введения парамагнетика и T1-ВИ в аксиальной, сагиттальной и коронарной плоскостях после введения неионного парамагнетика 20мл.

Компьютерная томография пациентам выполнялась на компьютерном томографе SIEMENS SOMATOM Emotion 6 (SiemensMedicalSystems, Германия), с применением неионных йодсодержащих контрастных веществ в виде болюсного контрастирования.

Комплексная лучевая диагностика проводилась с целью стадирования опухоли по системе TNM для определения последующей тактики лечения: из исследуемой группы пациентов 25 было прооперировано в течение месяца с момента проведения МРТ малого таза, 22 человек получил курс предоперационной химиолучевой терапии и прооперированы в течение года после комплексного обследования.

Чувствительность и специфичность МРТ оценивалась путем сравнения полученных данных с результатами патоморфологического исследования интраоперационного материала.

Результаты

В соответствии с TNM –классификацией от 2009 г. стадирование рака прямой кишки по N- критерию (указывает на наличие метастазов в регионарных лимфоузлах) было следующим:

- NX – недостаточно данных для оценки регионарных лимфатических узлов
- N0 – поражения регионарных лимфатических узлов нет
- N1 – метастазы в 1–3 (включительно) регионарных лимфатических узлах

- N1a – метастазы в 1 регионарном лимфатическом узле
- N1b – метастазы в 2–3 лимфатических узлах
- N1c – диссемины в брыжейке без поражения регионарных лимфатических узлов
- N2 – метастазы более чем в 3 регионарных лимфатических узлах
- N2a – метастазы в 4–6 лимфатических узлах
- N2b – метастазы в 7 и более лимфатических узлах.

Таблица 1.

Распределение пациентов зависимости от N стадии в группе пациентов, у которых в качестве метода диагностики и стадирования применялась МРТ с ДВИ

Table 1.

Distribution of patients depending on stage N in the group of patients who used MRI with DVI as a method of diagnosis and staging

Стадия опухоли	Число пациентов, абс	Число пациентов,%
Nx	0	0
N0	8	42,0
N1a	2	10,5
N1b	2	10,5
N1c	0	
N2a	2	10,5
N2b	5	26,5
Итого	19	100

Таблица 2.

Распределение пациентов зависимости от N стадии в группе пациентов, у которых в качестве метода диагностики и стадирования применялась МРТ с в/в контрастным усилением.

Table 2.

Distribution of patients depending on the N stage in the group of patients in whom MRI with contrast enhancement was used as a method of diagnosis and staging.

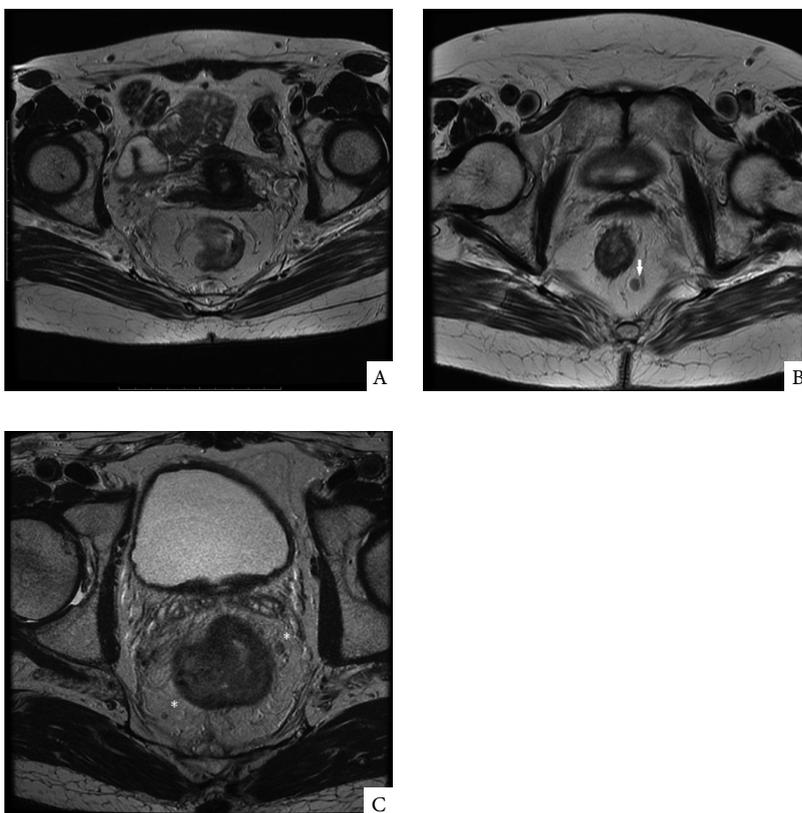
Стадия опухоли	Число пациентов, абс	Число пациентов,%
Nx	0	0
N0	18	64,4
N1a	2	7,1
N1b	3	10,7
N1c	0	0
N2a	2	7,1
N2b	3	10,7
Итого	28	100

Рисунок 1.

Примеры опухолей нижнеампулярного отдела прямой кишки на стадиях N0, N1a, N1b на T2-ВИ в аксиальной плоскости. (a) стадия N0 – пораженных лимфоузлов не определяется; (b) стадия N1a – дифференцируется 1 пораженный регионарный лимфоузел (обозначен стрелкой); (c) стадия N1b – определяется 2 пораженных лимфоузла (обозначены звездочками).

Figure 1.

Examples of tumors of the lower rectal cancer at stages N0, N1a, N1b on T2-VI in the axial plane. (a) the stage of N0 – affected lymph nodes is not determined; (b) stage N1a – differentiates 1 affected regional lymph node (indicated by an arrow); (c) stage N1b – identifies 2 affected lymph nodes (indicated by asterisks).



Распределение пациентов по результатам проведенных обследований представлено в таблицах 1 и 2. При МРТ с ДВИ наибольшее количество больных выявлено N0 и N2b стадиями (42,0 и 26,5% соответственно). МРТ с в/в контрастным усилением выявило 64,4% больных с N0 и по 10,7% - с N1b и N2b.

На рисунках 1 и 2 представлены различные стадии метастатического поражения регионарных лимфатических узлов.

По результатам сравнения данных МРТ с ДВИ с данными патоморфологического исследования интраоперационного материала в определении N1b и N2a стадии опухоли ошибок не допущено, в то время как в случае с опухолями N0, N1a и N2b имели место 5 случаев гипердиагностики N0 опухолей как N1a и N2b, которые были обусловлены фолликулярной гиперплазией регионарных лимфоузлов (таб.3).

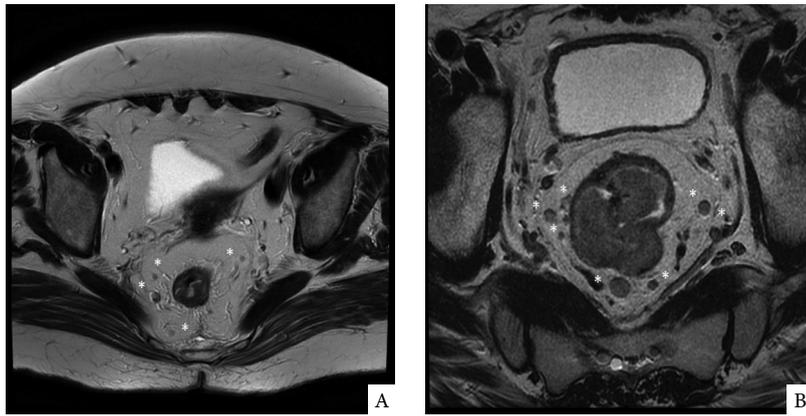


Рисунок 2.
Примеры опухолей нижнеампулярного отдела прямой кишки на стадиях N2a, N2b на T2-ВИ в аксиальной плоскости. (a) стадия N2a – определяется 4 пораженных лимфоузла; (b) стадия N2b – дифференцируется 7 пораженных регионарных лимфоузлов, пораженные лимфатические узлы обозначены звездочками;

Figure 2.
Examples of tumors of the of the lower rectal cancer at stages N2a, N2b on T2-VI in the axial plane. (a) stage N2a-4 affected lymph nodes are identified; (b) stage N2b-7 affected regional lymph nodes are differentiated, the affected lymph nodes are marked with asterisks

МРТ (чел)	Патоморфология (чел)					Совпадений (чел)	Расхождений (чел)
	N0	N1a	N1b	N2a	N2b		
N0	8	0	0	0	0	8	0
N1a	2	0	0	0	0	0	2
N1b	0	0	2	0	0	2	0
N2a	0	0	0	2	0	2	0
N2b	3	0	0	0	2	2	3
Итого	13	0	2	2	2	14	5

Таблица 3.
Сравнение стадирования рака нижнеампулярного отдела прямой кишки и анального канала методом МРТ с ДВИ и по данным патоморфологического исследования интраоперационного материала

Table 3.
Comparison of cancer staging of the lower rectal cancer and anal canal by MRI with DVI and according to the pathomorphological study of intraoperative material

	N- стадия опухоли				
	N0	N1a	N1b	N2a	N2b
Чувствительность,%	61,5	0	100	100	60
Специфичность,%	72,2	0	100	100	71,4

Таблица 4.
Диагностические показатели МРТ с ДВИ в определении N-стадии нижнеампулярного рака прямой кишки и анального канала

Table 4.
Diagnostic parameters of MRI with DVI in the determination of N-stage of lower rectal cancer and anal canal

МРТ (чел)	Патоморфология (чел)					Совпадений (чел)	Расхождений (чел)
	N0	N1a	N1b	N2a	N2b		
N0	18	0	0	0	0	18	0
N1a	1	1	0	0	0	1	1
N1b	0	0	3	0	0	3	0
N2a	0	0	0	2	0	2	0
N2b	0	0	0	0	3	3	0
Итого	19	1	3	2	3	27	1

Таблица 5.
Сравнение стадирования рака нижнеампулярного отдела прямой кишки и анального канала методом МРТ с в/в контрастированием и по данным патоморфологического исследования интраоперационного материала.

Table 5.
Comparison of cancer staging of the lower rectal cancer and anal canal by MRI with contrast and according to the pathomorphological study of intraoperative material.

На основании полученных результатов сравнения МРТ исследования с данными гистологического исследования интраоперационного материала расчет чувствительности осуществлялся по формуле $a/(a+c) \times 100$, где а-истинно положительные результаты, с- ложно-отрицательные.

Расчет чувствительности осуществлялся по формуле $d/(b+d) \times 100$, где b-ложно положительные результаты, d- истинно-отрицательные. Полученные данные по стадийной чувствительности и специфичности представлены в таблице 4.

По результатам сравнения данных МРТ с внутривенным контрастным усилением с данными патоморфологического исследования интраоперационного материала в определении N1b, N2aи N2b стадии опухоли ошибок не допущено, в то время как в случае с опухолями N1a имело место 1 случай гипердиагностики N0 опухолей как N1a, который также был обусловлен фолликулярной гиперплазией регионарного лимфатического узла (таб. 5).

Аналогичным предыдущему способом определены чувствительность и специфичность для

Таблица 6.

Диагностические показатели МРТ с внутривенным контрастным усилением в определении N-стадии нижнеампулярного рака прямой кишки и анального канала

	N- стадия опухоли				
	N0	N1a	N1b	N2a	N2b
Чувствительность,%	94,7	50	100	100	100
Специфичность,%	95	66,7	100	100	100

Table 6.

Diagnostic parameters of MRI with intravenous contrast enhancement in the determination of the N-stage of lower rectal cancer and anal canal

МРТ с внутривенным контрастным усилением для каждой стадии, которые составили для N0 94,7 и 95% соответственно.

Как следует из таблиц 4 и 6, метод МРТ как с ДВИ, так и с применением внутривенного контрастирования характеризуется наибольшей чувствительностью для стадирования опухолей на N1b и N2a стадиях, применение же внутривенного неионного контрастного агента характеризуется высокой чувствительностью также для стадирования опухолей

N2b стадии. Метод МРТ в нашей работе показал низкую чувствительность и специфичность в определении стадии опухолей N0 и N1a, что было обусловлено воспалительными изменениями в увеличенных единичных лимфатических узлах и, наоборот, наличием злокачественных клеток в неувеличенных узлах. Однако даже для стадий N0, N1a чувствительность и специфичность метода с применением контрастирования оказалась выше, чем МРТ только с применением диффузионно-взвешенных изображений.

Обсуждение

МРТ не всегда позволяет получить исчерпывающую информацию о характере мезоректальных лимфатических узлов. В большинстве случаев увеличение параректальных лимфоузлов при опухолевом поражении прямой кишки может быть обусловлено воспалительными изменениями в них. Признаками, позволяющими заподозрить метастатическое поражение лимфоузлов, являются: округлая форма, нечеткий и неровный контур узла, наличие неоднородного МР- сигнала от узла, обусловленного трофическими изменениями (некрозом).

Более высокая чувствительность метода МРТ с внутривенным введением парамагнетика обусловлена оценкой структуры лимфоузла на основании изменения интенсивности МР-сигнала и характер распределения контраста в лимфатическом узле, т.е. на основании оценки внутренней

структуры узла. Гомогенная низкая интенсивность сигнала центральной зоны характерна для непораженных лимфоузлов и узлов с реактивно-воспалительными изменениями.

Полученные данные о чувствительности и специфичности МРТ в определении N- стадии нижнеампулярных опухолей прямой кишки в целом не противоречат данным мировых исследований, в которых чувствительность в определении поражения локорегионарных лимфатических узлов находится в пределах 65% [3]. Данные же о 100% чувствительности и специфичности метода в оценке метастатического поражения регионарных лимфоузлов для N1b, N2a, N2b опухолей может быть обусловлено небольшим количеством исследуемых пациентов и нуждается в дальнейшем изучении и наблюдении.

Заключение

По результатам исследования выявлены высокие диагностические показатели метода МРТ с применением ДВИ- последовательностей и МРТ с внутривенным контрастированием в стадировании нижнеампулярного рака прямой кишки и анального канала при опухолях стадий N1b, N2a, N2b. Отмечено, что МРТ с неионным парамагнетиком обладает более высокой чувствительностью и специфичностью, чем МРТ с ДВИ в определении метастатического поражения локорегионарных

лимфоузлов на ранних стадиях поражения (N0 и N1a).

Таким образом, метод МРТ как с применением ДВИ, так и с применением неионного парамагнетика, является высокоэффективным в оценке метастатического поражения регионарных лимфоузлов, однако ни один из методов не обладает 100% чувствительностью в диагностике поражения регионарных лимфоузлов на ранних стадиях, что требует дальнейшего изучения.

Литература | References

1. Каприн А.Д., Старинский В.В., Петрова Г.В. Состояние онкологической помощи населению России в 2016 году. М.: МНИОИ им. П.А. Герцена-филиал ФГБУ «НМИРЦ» Минздрава России, 2017.-илл.-236 с. ISBN978-5-85502-231-5
Kaprin A. D., Starinskij V. V., Petrova G. V. Sostoyanie onkologicheskoy pomoshchi naseleniyu Rossii v 2016 godu. Moscow, MNIOI im. P. A. Gercena-filial FGBU "NMIRC" Minzdrava Rossii, 2017.-ill.-236 s. ISBN978-5-85502-231-5
2. Al-Sukhni E, Milot L, Fruitman M, Beyene J, Victor JC, Schmocker S, Brown G, McLeod R, Kennedy E. Diagnostic accuracy of MRI for assessment of T category, lymph node metastases and circumferential resection margin involvement in patients with rectal cancer: A systematic review and meta-analysis. *Ann Surg Oncol.* 2012;19:2212-2223. doi: 10.1245/s10434-011-2210-5.
3. Brown G., Richardson C. J., Newcombe R. G. et al. // *Radiology.*-1999-Vol.211.-P.215-222.
4. Brush J, Boyd K, Chappell F, Crawford F, Dozier M, Fenwick E, et al. The value of FDG positron emission tomography/computerised tomography (PET/CT) in pre-operative staging of colorectal cancer: a systematic review and economic evaluation. *Health Technol Assess.* 2011;15(35):1-192. doi: 10.3310/hta15350.
5. Chmoll HJ, Van Cutsem E, Stein A, Valentini V, Glimelius B, Haustermans K, Nordlinger B, van de Velde CJ, Balmana J, Regula J, et al. ESMO consensus guidelines for management of patients with colon and rectal cancer. A personalized approach to clinical decision making. *Ann Oncol.* 2012;23:2479-2516. doi: 10.1093/annonc/mds236.
6. Hunter C.J., Garant A., Vuong T., Artho G., Lisbona R., Tekkis P., et al. Adverse features on rectal MRI identify a high-risk group that may benefit from more intensive preoperative staging and treatment. // *Ann Surg Oncol.* 2012;19:1199e205. doi: 10.1245/s10434-011-2036-1.
7. Kijima S, Sasaki T, Nagata K, Utano K, Lefor AT, Sugimoto H. Preoperative evaluation of colorectal cancer using CT colonography, MRI, and PET/CT. *World J Gastroenterol.* 2014;20(45):16964-16975. doi: 10.3748/wjg.v20.i45.16964
8. Klessen C, Rogalla P, Taupitz M. Local staging of rectal cancer: The current role of MRI. *Eur Radiol.* 2007;17:379-389. doi: 10.1007/s00330-006-0388-x.
9. Koh D.M., A. Dzik-Jurasz, B. O'Neill Pelvic phased-array MR imaging of anal carcinoma before and after chemoradiation. // *Br. J. Radiol.* - 2008. - Vol.81, No962. - P. 91-98.
10. Koh D., Blackledge M., Padhani A. R., Takahara T., Kwee T. C., Leach M. O. Whole-Body Diffusion-weighted MRI: Tips, tricks, and pitfalls. // *Am. J. Roentgenol.* 2012;199:252-262. doi: 10.2214/AJR.11.7866.
11. Koh DM, George C, Temple L, Collins DJ, Toomey P, Raja A, Bett N, Farhat S, Husband JE, Brown G. Diagnostic accuracy of nodal enhancement pattern of rectal cancer at MRI enhanced with ultrasmall superparamagnetic iron oxide: findings in pathologically matched mesorectal lymph nodes. // *AJR Am J Roentgenol.* 2010 Jun;194(6): W505-13. doi: 10.2214/AJR.08.1819.
12. Lambrecht M., et al. Value of diffusion-weighted magnetic resonance imaging for prediction and early assessment of response to neoadjuvant radiochemotherapy in rectal cancer: preliminary results. // *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 2012;82(2):863-70. doi: 10.1016/j.ijrobp.2010.12.063.
13. Lambregts D., Vandecaveye V., Barbaro B., Bakkers F. C. H., Lambrecht M., Maas M. Diffusion-weighted MRI for selection of complete responders after chemoradiation for locally advanced rectal cancer: A multicenter study. // *Ann. Surg. Oncol.* 2011;18:2224-2231. doi: 10.1245/s10434-011-1607-5
14. Lambregts D.M., Cappendijk V. C., Maas M., Beets G. L., Beets-Tan R. G. Value of MRI and diffusion-weighted MRI for the diagnosis of locally recurrent rectal cancer. // *Eur Radiol.* 2011;21:1250-8. doi: 10.1007/s00330-010-2052-8.
15. Lambregts D.M., et al. Diffusion-weighted MRI for selection of complete responders after chemoradiation for locally advanced rectal cancer: a multicenter study. // *Ann Surg Oncol.* 2011;18(8):2224-31. doi: 10.1245/s10434-011-1607-5.
16. Martin S.T., Heneghan H. M., Winter D. C. Systematic review of outcomes after intersphincteric resection for low rectal cancer. // *Br. J. Surg.* 2012; 99: 603-12.
17. Matsuoka H., Nakamura A., Masaki T., Sugiyama M., Takahara T., Hachiya J., Atomi Y. Comparison between endorectal coil and pelvic phased-array coil magnetic resonance imaging in patients with anorectal tumor. // *Am J Surg.* 2003;185(4):328-332.
18. McCarthy K., Pearson K., Fulton R., et al. Pre-operative chemoradiation for non-metastatic locally advanced rectal cancer. // *Cochrane Database Syst Rev* 2012; 12: CD008368.
19. 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.
20. Mizukami Y, Ueda S, Mizumoto A, Sasada T, Okumura R, Kohno S, Takabayashi A. Diffusion-weighted magnetic resonance imaging for detecting lymph node metastasis of rectal cancer. *World J Surg.* 2011;35:895-899. doi: 10.1007/s00268-011-0986-x.
21. Mizukami Y., Ueda S., Mizumoto A., Sasada T., Okumura R., Kohno S., et al. Diffusion-weighted magnetic resonance imaging for detecting lymph node metastasis of rectal cancer. // *World J Surg.* 2011;35:895-899
22. Quadros C.A., Falcão M. F., Carvalho M. E., Ladeia P. A., Lopes A. Metastases to retroperitoneal or lateral pelvic lymph nodes indicated unfavorable survival and high pelvic recurrence rates in a cohort of 102 patients with low rectal adenocarcinoma. // *J Surg Oncol.* 2012;106:653-658. doi: 10.1002/jso.23144.
23. Rahmim A, Qi J, Sossi V. Resolution modeling in PET imaging: theory, practice, benefits, and pitfalls. *Med Phys.* 2013;40(6):064301. doi: 10.1118/1.4800806
24. Seber T., Cağlar E., Uylar T., Karaman N., Aktas E., Aribas B. K. Diagnostic value of diffusion-weighted magnetic resonance imaging: differentiation of benign and malignant lymph nodes in different regions of the body. // *Clin Imaging.* 2015;39(5):856-862.
25. Soret M, Bacharach SL, Buvat I. Partial-volume effect in PET tumor imaging. *J Nucl Med.* 2007;48(6):932-945. doi: 10.2967/jnumed.106.035774. [PubMed] [CrossRef]
26. Torkzad MR, Pählman L, Glimelius B. Magnetic resonance imaging (MRI) in rectal cancer: A comprehensive review. *Insights Imaging.* 2010;1:245-267. doi: 10.1007/s13244-010-0037-4.
27. Tsunoda Y, Ito M, Fujii H, Kuwano H, Saito N. Pre-operative diagnosis of lymph node metastases of colorectal cancer by FDG-PET/CT. *Jpn J Clin Oncol.* 2008;38(5):347-353. doi: 10.1093/jcco/hyn032.