

От приглашенного редактора

Возможности высокоразрешающих протоколов магнитно-резонансной томографии в диагностике рака мочевого пузыря

Фролова И.Г., Григорьев Е.Г., Трухачева Н.Г., Усова А.В.

ФГБУ "Томский научно-исследовательский институт онкологии", Томск, Россия

Role of High-Resolution Magnetic Resonance Imaging in Diagnosis of Bladder Cancer

Frolova I.G., Grigoryev E.G., Trukhacheva N.G., Usova A.V.

Tomsk Cancer Research Institute, Tomsk, Russia

Цель исследования: определить возможности импульсных последовательностей МРТ с субмиллиметровым сканированием в диагностике опухолей мочевого пузыря.

Материал и методы. В исследование включено 125 пациентов (105 (84%) мужчин и 20 (16%) женщин, средний возраст $62,6 \pm 11$ лет) с морфологически верифицированным диагнозом "переходно-клеточный рак мочевого пузыря". Протокол исследования дополнительно включал импульсные последовательности высокого разрешения для выполнения МР-цистографии и МР-цистоскопии.

Результаты. При сравнительном анализе выявлены преимущества адаптированной импульсной последовательности T2-rpcrst, применяемой для МР-холангиопанкреатографии, заключающиеся в высокой контрастности, более быстром времени сканирования и наименьшим объемом вокселя. Использование МР-цистографии позволило повысить чувствительность бесконтрастного МР-сканирования при поиске опухоли малых размеров на 25,6% ($p = 0,0016$).

Выводы. Полученные результаты позволяют использовать МР-цистографию для быстрой и четкой визуализации экзофитного компонента опухоли мочевого пузыря, определять его размер и форму, что необходимо для динамического наблюдения при химиотерапии. Повышена чувствительность бесконтрастной МРТ на 25,6% ($p = 0,0016$) в визуализации опухолей менее 10 мм.

Ключевые слова: МРТ, субмиллиметровая МР-цистография, виртуальная цистоскопия.

The objective: to define possibilities of MRI pulse sequences with submillimeter scanning in the diagnosis of bladder tumors.

Materials and methods. The study included 125 patients (105 (84%) men and 20 (16%) women, median

age 63 years) with histologically verified diagnosis of transitional cell bladder cancer. The study protocol additionally included high-resolution pulse sequences to perform MR cystography and MR cystoscopy.

Results. Comparative analysis revealed the advantages of tailored pulse sequence T2-rpcrst, used for MR cholangiopancreatography, consisting in the high contrast, faster scan time and the smallest volume voxel. When searching for tumors of small size, the use of MR cystography made it possible to increase the sensitivity of non-contrast MR scan by 25.6% ($p = 0.0016$).

Conclusion. The data obtained allowed us to use MR cystography for fast and accurate visualization of exophytic bladder tumor and for determination of its size and shape, that was necessary for monitoring response to chemotherapy. In the visualization of tumors less than 10 mm, the sensitivity of non-contrast MRI was increased by 25.6% ($p = 0.0016$).

Key words: MRI, submillimeter MR cystography, submillimetric MR-cystography, virtual cystoscopy.

Введение

Рак мочевого пузыря (РМП) занимает 8-е место среди всех злокачественных новообразований и составляет более 50% всех опухолей мочевого тракта. При этом смертность от РМП в России превышает мировой показатель на 19,8%, и в настоящее время только у 45% больных заболевание диагностируется на ранней стадии. Поэтому своевременная диагностика опухолей мочевого пузыря остается актуальной и сложной проблемой в онкологии [1]. Роль магнитно-резонансной томографии (МРТ) в диагностике РМП на сегодня



нышний день заслуженно признана. Метод позволяет выявить важнейшие данные, влияющие на лечебную тактику: инвазию мышечного слоя стенки мочевого пузыря, перивезикальной клетчатки, метастазирование в регионарные лимфатические узлы [2]. Каждый год в стране увеличивается парк МР-сканеров и соответственно возрастает количество проведенных исследований. Относительно патологии мочевого пузыря метод МРТ ранее являлся преимущественно уточняющим и использовался, как правило, после проведения таких диагностических процедур, как ультразвуковое исследование, обзорная и экскреторная урография, инструментальная цистоскопия [3]. На сегодняшний день с повышением доступности метода МРТ превращается практически в стандартную модальность, зачастую являясь первичным методом диагностики при подозрении на опухолевую патологию мочевого пузыря [4].

Оценка степени инвазии опухоли в слои стенки мочевого пузыря и соответственно определение стадии заболевания, безусловно, являются особо значимыми в планировании тактики лечения и прогнозировании исхода. Указанные аспекты имеют преимущественное значение в исследовании при МРТ. Однако первое, на что обращает внимание специалист-рентгенолог при исследовании, это наличие экзофитного компонента и деформация внутреннего контура мочевого пузыря. Одним из основных диагностических паттернов при любом объемном образовании и при РМП, в частности, является наличие «плюс-ткани». Известно, что около 95% опухолей мочевого пузыря являются эпителиальными и обычно формируют внутривезикальный компонент. При этом большинство случаев (70–80%) впервые выявленного РМП составляет поверхностный (немышечно-инвазивный) рак. В нашей стране выявление больных с поверхностной формой рака составляет лишь 20–30%, в то время как в зарубежных странах этот показатель достигает 80% [5]. Стоит отметить, что даже опухо-

ли малых размеров могут провоцировать клинические проявления (прежде всего гематурию) [1, 6].

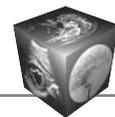
Возможности современных МР-систем позволяют получать срезы с высоким пространственным разрешением в сочетании с минимальной толщиной среза. Само понятие «высокое разрешение» в томографической практике является достаточно относительным, так как максимально возможной матрицей визуализации для большинства протоколов является 512×512 точек. В остальном визуальное улучшение качества изображения достигается аппаратными возможностями постпроцессинговой обработки по математическим алгоритмам сглаживания, усиления резкости и др. Физический же размер вокселя при выбранной матрице обратно пропорционален величине поля обзора (FOV). Таким образом, с определенным допущением под сканами с высоким разрешением в МР-визуализации можно понимать изображения с размерностью вокселя ≤ 1 мм. Серии таких срезов пригодны не только для мультипланарной визуализации, но и для трехмерных реконструкций с расширением возможности визуализации экзофитного компонента опухоли, деформирующего просветный контур мочевого пузыря. Так, получают развитие методики МР-урографии и цистоскопии, которые, по данным некоторых авторов, чувствительны к выявлению опухолей более 10 мм [7, 8]. Дополнительные серии сканов в протоколе дают возможность выполнить МР-цистоскопию с получением качественной визуальной информации в случаях труднодоступной для эндоскопического исследования локализации опухоли (определенная ригидность оптических волокон цистоскопа, ограничивающая угол обзора и возможности выполнения биопсии при выполнении диагностической цистоскопии). Также вспомогательную роль МР-цистоскопия может играть при наличии ограничений или противопоказаний к выполнению обычной инструментальной цистоскопии (например, стриктура уретры, неко-

Для корреспонденции: Григорьев Евгений Геннадьевич – 634009 Томск, Кооперативный пер., 5. Томский научно-исследовательский институт онкологии. Тел.: +7-960-979-94-77 (моб.). E-mail: mrtomo@mail.ru

Фролова Ирина Георгиевна – доктор мед. наук, профессор, заведующая отделением лучевой диагностики ФГБУ «Томский научно-исследовательский институт онкологии», Томск; **Григорьев Евгений Геннадьевич** – канд. мед. наук, старший научный сотрудник отделения лучевой диагностики ФГБУ «Томский научно-исследовательский институт онкологии», Томск; **Трухачева Наталья Геннадьевна** – канд. мед. наук, старший научный сотрудник отделения лучевой диагностики ФГБУ «Томский научно-исследовательский институт онкологии», Томск; **Усова Анна Владимировна** – канд. мед. наук, старший научный сотрудник отделения лучевой диагностики ФГБУ «Томский научно-исследовательский институт онкологии», Томск.

Contact: Grigoryev Eugeny Gennadevich – 5, Kooperativny str., 634009, Tomsk, Russia. Tomsk Cancer Research Institute. Phone: +7-960-979-94-77 (mob.). E-mail: mrtomo@mail.ru

Frolova Irina Georgievna – doct. of med. sci., Professor, Head of Department of radiology of Tomsk Cancer Research Institute, Tomsk; **Grigoryev Eugeny Gennadyevich** – cand. of med. sci., senior researcher of Department of radiology of Tomsk Cancer Research Institute, Tomsk; **Trukhacheva Natalya Gennadyevna** – cand. of med. sci., senior researcher of Department of radiology of Tomsk Cancer Research Institute, Tomsk; **Usova Anna Vladimirovna** – cand. of med. sci., senior researcher of Department of radiology of Tomsk Cancer Research Institute, Tomsk.



торые виды дивертикулов мочевого пузыря). С помощью постпроцессинговой обработки полученных изображений возможно выполнение также и виртуальной (3D) МР-цистоскопии [7, 9].

Цель исследования

Оценить возможности импульсных последовательностей МРТ с субмиллиметровым сканированием в выявлении и оценке экзофитного внутрипузырного компонента у больных РМП.

Материал и методы

Обследовано 125 пациентов (105 (84%) мужчин и 20 (16%) женщин, средний возраст $62,6 \pm 11$ лет) с морфологически верифицированным диагнозом: переходно-клеточный РМП. В группу исследования не включались пациенты после выполнения инвазивных вмешательств, биопсии, после внутрипузырного введения химиопрепаратов или проведения лучевой терапии. Интервал после проведения диагностической цистоскопии до МРТ (при возможности ее проведения) составлял не менее 4 дней. Исследования выполнялись на МР-сканере Magnetom Essenza (Siemens, Германия) с напряженностью магнитного поля 1,5 Тл. Для адекватной оценки состояния стенок мочевого пузыря МРТ проводилась по расширенному протоколу. В зависимости от локализации опухоли плоскость сканирования для основных последовательностей Т2ВИ изменялась на косую. При исследовании 118 пациентам выполнялось внутривенное контрастное усиление препаратами гадолиния (Омнискан) в дозе 0,1 ммоль/кг с получением динамической серии срезов с интервалом 12–14 с и отсроченных сканов в стандартной Т1-взвешенной последовательности. Только 7 пациентам исследование было выполнено без внутривенного контрастирования, но с обязательным включением в протокол диффузионно-взвешенных изображений.

Результаты и их обсуждение

Из 125 пациентов с верифицированным диагнозом РМП у 5 (4%) больных достоверных признаков опухолевой патологии стенки мочевого пузыря по данным МРТ не отмечалось. У 7 (5,6%) пациентов, несмотря на отчетливые признаки наличия опухоли, четко локализовать процесс и оценить размеры на фоне сопутствующей патологии не представлялось возможным. В частности, наибольшие трудности возникали при сопутствующем цистите и в случаях преимущественно инвазивного роста опухоли. Таким образом, четко определить размеры, количество и локализацию выявленных узлов, имеющих преимущественно

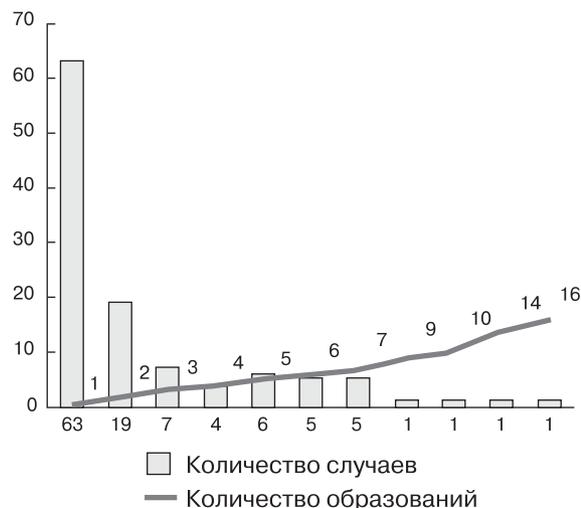


Рис. 1. Соотношение числа пациентов с одиночным и множественным поражением стенок мочевого пузыря.

экзофитный компонент, было возможно при исследовании только 113 пациентов. Одиночными узлы были у 63 (55,8%) пациентов, множественное поражение стенок пузыря отмечалось у 50 (44,2%). При этом 2 опухоли визуализировали у 19 (16,8%) человек, число выявленных образований варьировало от 3 до 16 у 31 (27,4%) пациента (рис. 1).

Методика МР-цистографии с тонкими срезами выполнялась при исследовании 20 пациентам. Для оценки возможностей субмиллиметровой визуализации экзофитного компонента опухоли стенки мочевого пузыря были использованы 3 варианта импульсных последовательностей с размерностью вокселя, приближенного к изотропному:

T1-mpr iso (на основе градиентного эхо, воксель $1,1 \times 1,1 \times 0,8$ мм);

T2-ci3d (ciss-протокол, воксель $1,2 \times 1,2 \times 0,7$ мм);

T2-rprcrst (воксель $0,9 \times 0,8 \times 0,7$ мм).

При этом каждая из последовательностей обладала как положительными, так и отрицательными свойствами:

T1-mpr iso, как T1-взвешенная импульсная последовательность, несмотря на высокое пространственное разрешение, не обладала достаточной контрастностью в области раздела моча/стенка пузыря, а также имела большее время сканирования (>5 мин). Сканы часто имели присущие для T1ВИ артефакты (см. рис. 1). Одним из относительных преимуществ можно назвать возможность визуализации контрастированной опухоли после введения парамагнетика, однако в составе протокола мультипараметрического МР-сканиро-

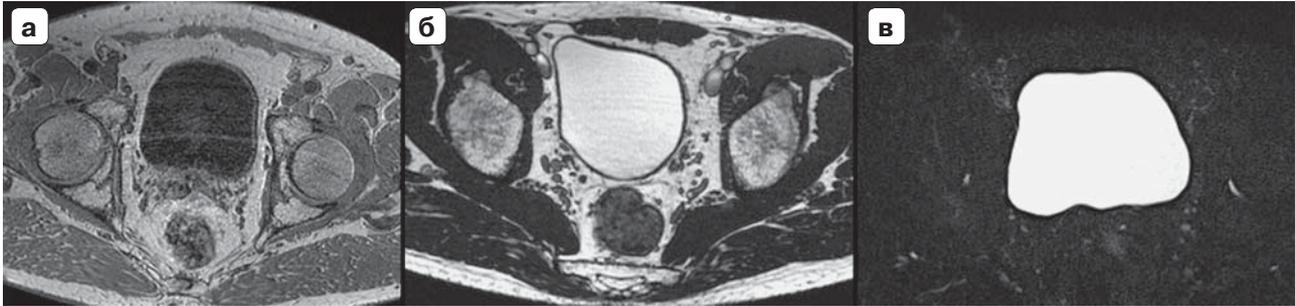


Рис. 2. Импульсные последовательности МР-изображений. а – T1-mpr iso; б – T2-ci3d; в – T2-rpcrst.

вания с наличием серий динамического контрастирования высока вероятность получить искомые сканы уже частично в выделительную фазу (с наличием парамагнетика в просвете мочевого пузыря) и соответственно невозможностью получения “чистых” 3D-реконструкций (рис. 2).

T2-ci3d обладала хорошей контрастностью в области раздела моча/стенка, также имела большее время сканирования (~4,5 мин). Преимуществом последовательности является также возможность визуализации опухолей при введении контраста, несмотря на превалирование T2-взвешенности в изображении. При данной импульсной последовательности также возможно возникновение артефактов, прежде всего дыхательных, и артефактов химического сдвига на границах гидрофильной/гидрофобной сред (ткань/жир). Учитывая относительно широкое окно в значениях градации серого по регистрации полученного МР-сигнала, более правильно использовать данную последовательность в чистом виде, в том числе для улучшения визуализации мышечного слоя (см. рис. 2).

T2-rpcrst – импульсная последовательность, применяемая для МР-холангиопанкреатографии, была адаптирована к выбранной зоне исследования. Ее возможности более всего соответствовали поставленной задаче, обуславливая высокую контрастность на границе моча/стенка. Несмотря на относительно узкое окно в значениях градации серого по регистрации полученного МР-сигнала (в связи с этим ограничены возможности в оценке инвазивного компонента опухоли), данный протокол преимущественно чувствителен к жидкостным

структурам. Соответственно при возникновении какого-либо дефекта наполнения, в том числе вызванного экзофитным просветным компонентом опухоли, нарушение ровности контура внутренней стенки мочевого пузыря на фоне высокого МР-сигнала мочи визуализируется достоверно и отчетливо. Кроме того, из вышеперечисленных данная импульсная последовательность имеет хорошую разрешающую способность, что позволяет выполнять мультипланарные реконструкции, и относительно короткое время сканирования (~3–3,5 мин) (см. рис. 2).

При полуколичественной оценке сканов без применения фильтров сглаживания или резкости были выбраны зоны интереса (ROI), включающие смежные участки жидкость/стенка и использующие идентичное количество пикселей (100) с построением гистограмм интенсивности МР-сигнала (рис. 3).

При визуальном сравнении на гистограммах и при анализе численных значений относительной интенсивности МР-сигнала отмечено, что при использовании T2-импульсных последовательностей в градациях серого определяется меньшее количество промежуточных значений. При этом на сериях T2-rpcrst более отчетливо дифференцируется разница между условно “белыми” и “черными” пикселями и интенсивность данных крайних значений является более высокой. Таким образом, граница моча/стенка характеризуется наибольшей четкостью в последнем примере (таблица).

Среди обследованных пациентов у 49 человек были выявлены образования малых размеров (≤10 мм). При этом в 8 случаях нативного

Характеристика выбранных импульсных последовательностей

Импульсная последовательность	Объем вокселя, мм ³	Время сканирования, мин	Возможность визуализации после введения контраста	Отсутствие артефактов	Четкость на границе моча/стенка
T1-mpr iso	0,968	5–6	+++	+	+
T2-ci3d	1,008	4,5	++	++	++
T2-rpcrst	0,504	3–3,5	+	+++	+++

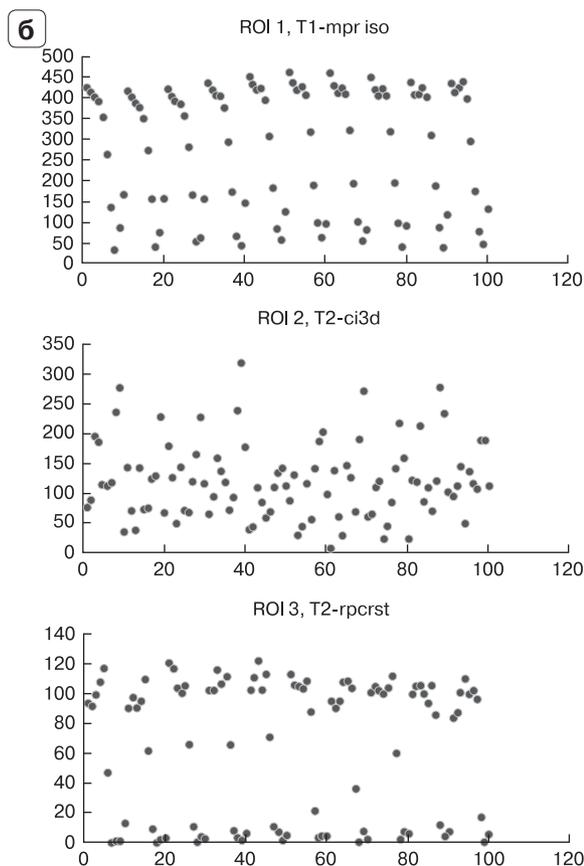
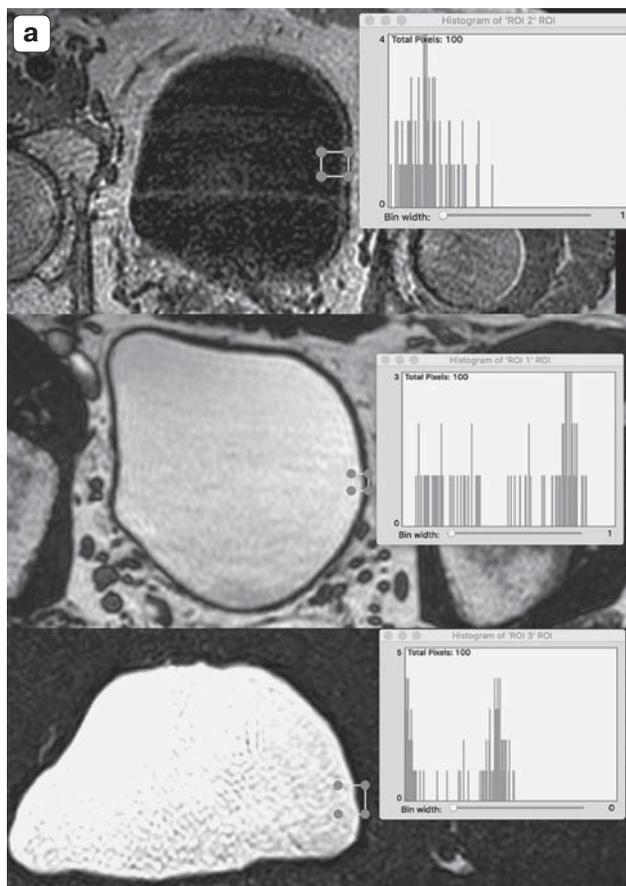
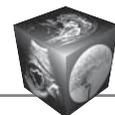


Рис. 3. Сравнительная оценка субмиллиметровых импульсных последовательностей. Выбор ROI с построением гистограмм интенсивности МР-сигнала (а), распределение значений относительной интенсивности МР-сигнала (б).

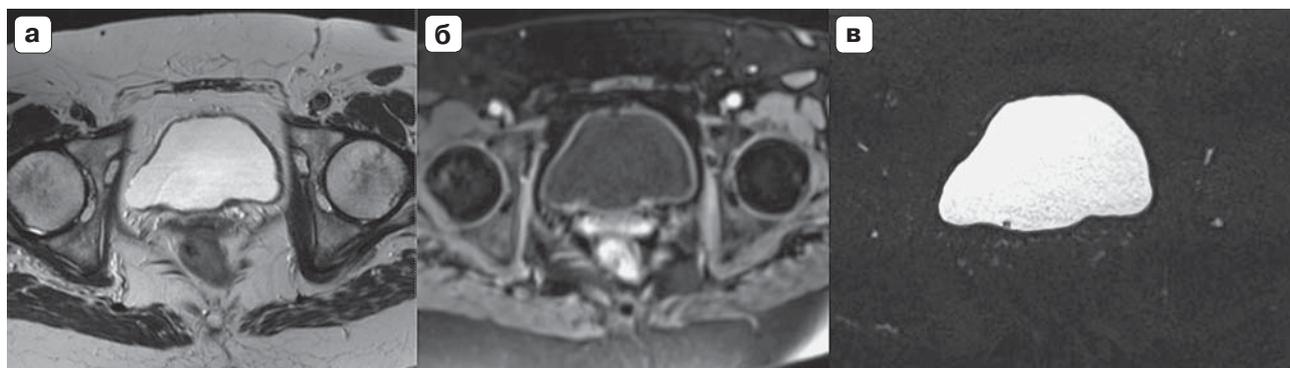


Рис. 4. Отсутствие визуализации объемного образования на Т2ВИ (а) и при динамическом внутривенном контрастировании в Т1-vibe (б). Отчетливая визуализация образования вблизи устья правого мочеточника на МР-цистограмме (в).

МР-сканирования опухолевые узлы визуализировались только по данным тонких срезов с помощью дополнительной импульсной последовательности T2-rprcrst (МР-цистографии). При внутривенном контрастировании данные образования интенсивно накапливали парамагнетик, подтверждая факт наличия патологии. При этом у 2 пациентов были визуализированы образования малых

размеров, локализующиеся в области устья мочеточника и вблизи шейки мочевого пузыря. Образования были выявлены только по данным МР-цистографии и не определялись даже после внутривенного введения контраста (рис. 4).

В результате проведенного исследования показано, что введение в протокол дополнительной серии МР-цистографии при поиске опухоли малых

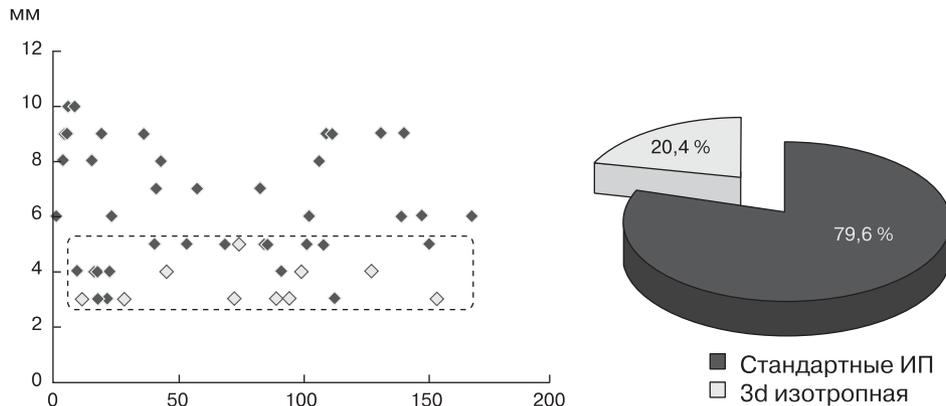


Рис. 5. Выявленные опухоли малых размеров (≤ 10 мм).

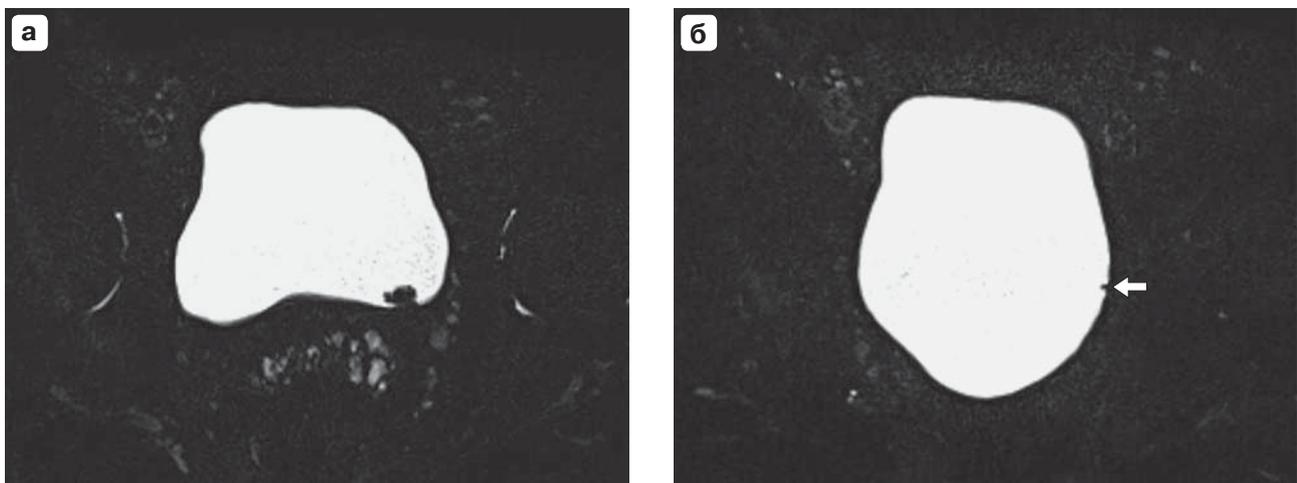


Рис. 6. МР-цистограммы на основе импульсной последовательности T2-rprcrst. На фоне гиперинтенсивного МР-сигнала мочи визуализируется внутрипузырный компонент опухоли стенки мочевого пузыря размером 12×9 мм (а) и узел 3×4 мм (б, указан стрелкой).

размеров в 10 случаях помогло выявить дополнительные образования и тем самым повысить чувствительность бесконтрастного МР-сканирования на 25,6% ($p = 0,0016$, Q-тест Кохрана), таким образом составив в общем объеме группы с малыми опухолями долю в 20,4% (рис. 5, 6). В случае использования контрастной МРТ чувствительность дополнительной серии МР-цистографии тем не менее была выше на 4,26% ($p = 0,16$ Q-тест Кохрана).

Ценными качествами получаемых сканов являются относительная однородность МР-сигнала мочи и контрастность со стенкой, позволяющие выполнять виртуальную МР-цистоскопию. Данная методика может осуществляться с помощью дополнительных встроенных либо внешних программных пакетов (3DSliser, Osirix, Intage Realia и др.) и заключается в симуляции инструментальной цистоскопии. Во время постпроцессинговой

обработки возможно изменять ориентацию виртуальной камеры, оценивая всю внутреннюю поверхность стенок мочевого пузыря, расположение патологических изменений и фиксируя их относительно основных анатомических структур стенки (устьев мочеточников, шейки мочевого пузыря). Кроме того, проведенное исследование возможно записать в видеофайл, добавляя к основному заключению по результатам МРТ (рис. 7).

Анализ публикаций, связанных с применением методик МР-цистоскопии, за последние годы показал, что приоритетом для многих авторов является именно использование разных вариантов 3D-реконструкций и связанная с ними возможность приблизить получаемые изображения к тому, что видит уролог при инструментальной цистоскопии [7–9]. Оценка чувствительности данных методик сопоставлялась с другими модальностями применительно к 3D-варианту изображений.

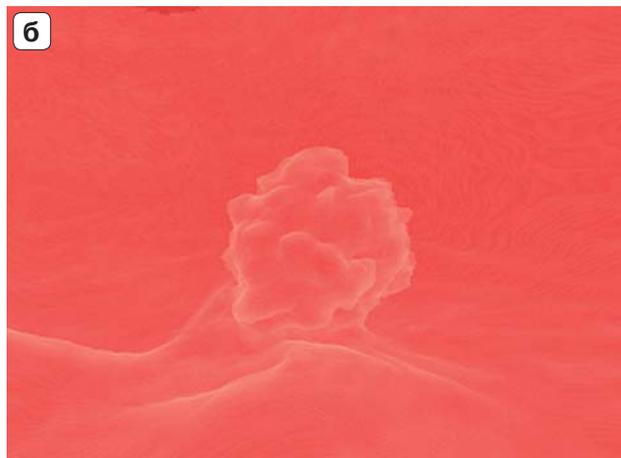
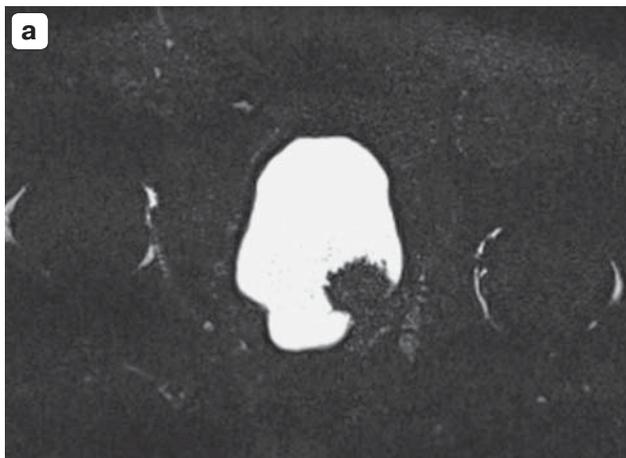
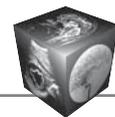


Рис. 7. МР-цистограмма на основе импульсной последовательности T2-rprcrst (а) и использование полученных срезов для МР-цистоскопии (б).

Спиральная компьютерная томография (СКТ) превалирует по частоте использования в силу возможности получения более тонких срезов и на более широких возможностях рабочих станций в реформации изображений по критериям плотности с использованием проекций максимальной интенсивности (MIP) и др. При этом заявленная чувствительность метода при СКТ-цистографии достигает 95% при размерах опухолей более 10 мм и гематурии в анамнезе [6, 7].

Однако, по нашему мнению, «виртуализация» получаемых срезов не должна быть самоцелью, а лишь дополнительным элементом визуализации. Наибольшую ценность в данном контексте имеют именно планарные срезы, позволяющие более эффективно выявлять мелкие образования, используя высокую естественную контрастность МРТ. В частности, при использовании T2-rprcrst, по нашим данным, наименьшие размеры выявляемых образований составляют от 4 мм.

Выводы

Полученные данные позволяют рекомендовать адаптированные субмиллиметровые импульсные последовательности по следующим причинам:

1. Выполнение МР-цистографии по указанной методике позволяет быстро и четко визуализировать экзофитный компонент опухоли мочевого пузыря, определять его размер и форму, что необходимо для динамического наблюдения при химиотерапии.

2. Отмечено статистически значимое повышение чувствительности бесконтрастной МРТ на 25,6% ($p = 0,0016$) в визуализации опухолей, размер которых не превышает 10 мм, что позволяет выявлять мелкие образования, не определяющиеся при стандартных протоколах сканирования.

3. Получаемые изовоксельные срезы оптимальны для постпроцессинговой обработки с выполнением виртуальной МР-цистоскопии, роль которой возрастает при наличии ограничений или противопоказаний к выполнению инструментальной цистоскопии.

Необходимо отметить, что любой из указанных вариантов МР-цистографии целесообразно выполнять в составе мультипараметрической МРТ либо отдельно после нее. Изолированное использование МР-цистографии показано только с целью визуализации внутривезикулярного компонента, при этом достоверная оценка степени инвазии и распространенности процесса невозможна в рамках одиночной серии в протоколе.

Список литературы

1. Злокачественные новообразования в России в 2013 году (заболеваемость и смертность); Под ред. А.Д. Каприна, В.В. Старинского, Г.В. Петровой. М.: МНИОИ им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ «ФМИЦ им. П.А. Герцена» Минздрава России, 2015. 250 с.
2. Григорьев Е.Г., Фролова И.Г., Усынин Е.А. и др. Рак мочевого пузыря: возможности лучевых методов диагностики (обзор литературы). Сибирский онкологический журнал. 2013; 3: 75–81.
3. Шавладзе З.Н., Березовская Т.П., Неледов Д.В., Шавладзе Н.З. Перспективная оценка эффективности магнитно-резонансной томографии с контрастным усилением в определении местного распространения рака мочевого пузыря. Радиология-практика. 2012; 6: 40–48.
4. Глыбочко П.В., Зуев В.В., Попков В.М. и др. Возможности лучевых методов исследования в диагностике рака мочевого пузыря. Саратовский научно-медицинский журнал. 2011; 1: 148–151.
5. Аполихин О.И., Сивков А.В., Москалева Н.Г. Анализ уронефрологической заболеваемости и смертности в Российской Федерации за десятилетний период (2002–2012 гг.) по данным официальной статистики.



Экспериментальная и клиническая урология. 2014; 2: 4–13.

6. Григорьев Е.Г., Фролова И.Г., Величко С.А. Поражение треугольника Льебо и уродинамические нарушения при раке мочевого пузыря по данным магнитно-резонансной томографии. Вестник рентгенологии и радиологии. 2015; 3: 31–36.
7. Suleyman E., Yekeler E., Dursun M. et al. Bladder tumors: virtual MR cystoscopy. *Abdom. Imaging*. 2006; 31: 483–489.
8. Tsampoulas C., Tsili A.C., Giannakis D. et al. 16-MDCT cystoscopy in the evaluation of neoplasms of the urinary bladder. *Am. J. Roentgenol*. 2008; 3: 729–735.
9. Duan C., Liang Z., Bao S., Zhu H. et al. A coupled level set framework for bladder wall segmentation with application to MR cystography. *IEEE Trans. Med. Imaging*. 2010; 29 (3): 903–915.

References

1. Kaprin A.D., Starinskij V.V., Petrova G.V. Malignancies in Russia in 2013 (morbidity and mortality). M.: MNIOL im. P.A. Gercena – filial FMIC im. P.A. Gercena. 2015. 250 p. (In Russian)
2. Grigoryev E.G., Frolova I.G., Usynin E.A. Bladder cancer: role of diagnostic imaging techniques (literature review). *Sibirskij onkologicheskij zhurnal*. 2013; 3: 75–81. (In Russian)

3. Shavladze Z.N., Berezovskaya T.P., Neledov D.V. et al. Prospective evaluation of magnetic resonance imaging with contrast enhancement in estimating the local spread of bladder cancer. *Radiologiya-praktika*. 2012; 6: 40–48. (In Russian)
4. Glybochko P.V., Zuev V.V., Popkov V.M. et al. The possibilities of radiological methods in the diagnosis of bladder cancer. *Saratovskiy nauchno-medicinskiy zhurnal*. 2011; 1: 148–151. (In Russian)
5. Apolikhin O.I., Sivkov A.V., Moskaleva N.G. et al. Analysis of the urological morbidity and mortality in the Russian Federation during the 10-year period (2002–2012) according to the official statistics. *Ekspierimentalnaya i klinicheskaya urologiya*. 2014; 2: 4–13. (In Russian)
6. Grigor'ev E.G., Frolova I.G., Velichko S.A. Lieutaud's triangle lesion and urodynamic disorders in bladder cancer according to magnetic resonance imaging data. *Vestnik rentgenologii i radiologii*. 2015; 3: 31–36. (In Russian)
7. Suleyman E., Yekeler E., Dursun M. et al. Bladder tumors: virtual MR cystoscopy. *Abdom. Imaging*. 2006; 31: 483–489.
8. Tsampoulas C., Tsili A.C., Giannakis D. et al. 16-MDCT cystoscopy in the evaluation of neoplasms of the urinary bladder. *Am. J. Roentgenol*. 2008; 3: 729–735.
9. Duan C., Liang Z., Bao S., Zhu H. et al. A coupled level set framework for bladder wall segmentation with application to MR cystography. *IEEE Trans. Med. Imaging*. 2010; 29 (3): 903–915.