

ЛЕКЦИИ, ОБЗОРЫ

УДК 616.419

Автор заявил об отсутствии конфликта интересов

DOI: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2019-10-1-19-25>ЗАБОЛЕВАНИЯ КОСТНОГО МОЗГА: ДИАГНОСТИКА
БЕЗ ПУНКЦИИ

Ю. В. Назинкина

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия
Институт мозга человека им. Н. П. Бехтерева Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия

© Ю. В. Назинкина, 2019 г.

Активный кроветворный костный мозг взрослого человека расположен в его осевом скелете, преимущественно в позвонках. Рутинное МРТ-исследование позвоночника со стандартным набором импульсных последовательностей (T1-ВИ, T2-ВИ, STIR) позволяет выявить как диффузные, так и очаговые изменения костного мозга. Ключевой стандартной импульсной последовательностью служит T1-ВИ. Дополнительное сканирование с помощью технологии химического сдвига (in-phase/out-of-phase), диффузионно-взвешенной МРТ и постконтрастного исследования обеспечивает надежное дифференцирование различных патологических состояний костного мозга. **Ключевые слова:** костный мозг, магнитно-резонансная томография, технология химического сдвига, диффузионно-взвешенная МРТ

BONE MARROW LESIONS: DIAGNOSIS WITHOUT BIOPSY

Yu. V. Nazinkina

St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia
Institute of Human Brain named after N. P. Bekhtereva, Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia

Routine spinal MRI can be used for bone marrow lesions detection. The most useful standard pulse sequence is T1-WI, which helps both in local and diffuse bone marrow diseases. Additional new pulse sequences, including chemical shift imaging and diffusion weighted imaging, can be used as solving-problem techniques.

Key words: bone marrow lesion, chemical shift imaging, diffusion weighted imaging, magnetic resonance imaging**Для цитирования:** Назинкина Ю. В. Заболевания костного мозга: диагностика без пункции // *Лучевая диагностика и терапия*. 2019. № 1. С. 19–25, DOI: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2019-10-1-19-25>.

Магнитно-резонансная томография позвоночника и в России, и во всем мире выполняется все чаще, она повсеместно стала рутинной диагностической процедурой. Хорошо известны возможности этой методики в выявлении дистрофических изменений межпозвоночных дисков, заболеваний и повреждений спинного мозга. Достаточно изучены изменения в субхондральных отделах тел позвонков [1] на фоне остеохондроза диска (классификация Modic, 1988): гиперваскуляризация смежных отделов тел соседних позвонков проявляется гипоинтенсивным МР-сигналом на T1-ВИ, гиперинтенсивным — на T2 и STIR (Modic 1), жировая перестройка костной структуры повышает интенсивность МР-сигнала на T1-ВИ и T2-ВИ с низкой интенсивностью на STIR (Modic 2), остеосклероз субхондральных отделов позвонков сопровождается гипоинтенсивным МР-сигналом на всех импульсных последовательностях (Modic 3). Вместе с тем позвонки являются основным местом

в теле человека, где у взрослых людей располагается гемопоэтический костный мозг. Диагностические возможности МРТ в оценке состояния костного мозга при исследовании позвоночника относительно недавно стали предметом пристального изучения.

Костный мозг (рис. 1) представляет собой смесь воды, белка, клеток гемопоэтического ряда, остеобластов и остеокластов, адвентициальных клеток и адипоцитов (жировых клеток). Доля последних в красном костном мозге достигает 40% от общего количества клеток, а в желтом увеличивается до 80%. Изображение нормального или измененного костного мозга на МР-томограммах зависит от состава костного мозга и выбранной импульсной последовательности.

Можно разделить все используемые в настоящее время импульсные последовательности на основные (стандартные) и дополнительные. Основные импульсные последовательности представлены T1-ВИ, T2-ВИ и ИП-STIR.

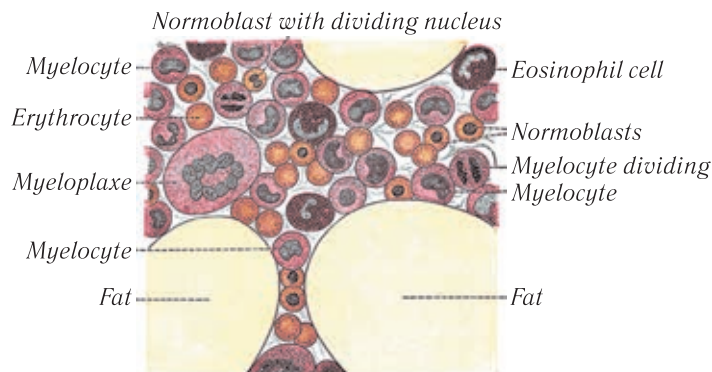


Рис. 1. Гистологический препарат костного мозга (цит. по Н. Gray Anatomy of human body, 1918)

T1-взвешенные изображения

T1-ВИ является наиболее чувствительной к изменениям костного мозга [2]. Одновременное присутствие в здоровом костном мозге жировых клеток и воды, находящейся в остальных клетках костного мозга и в межклеточном пространстве, приводит к тому, что интенсивность МР-сигнала от тел позвонков на T1-ВИ занимает промежуточный уровень между МР-сигналом от подкожной клетчатки и от спинномозговой жидкости. Показано, что позвонки на T1-ВИ имеют более высокую интенсивность МР-сигнала, чем межпозвоночные диски и паравертебральные мышцы [3]. Эта закономерность не остается неизменной в течение жизни. У детей и подростков с интенсивным кроветворением и меньшим количеством адипоцитов в костном мозге МР-сигнал от позвонков может быть равен МР-сигналу от межпозвоночного диска или даже быть менее интенсивным, но при этом остается более ярким по сравнению с мышцами.

У молодых взрослых МР-сигнал от позвонков достаточно однороден и превышает МР-сигнал от межпозвоночных дисков и мышц. В задней половине тел позвонков вдоль базивертебральных вен, как правило, интенсивность МР-сигнала выше за счет большего количества жира (рис. 2).

В старших возрастных группах в костном мозге позвонков доля жировых клеток может увеличиваться, поэтому их скопления создают локальные линейные или точечные участки более интенсивного МР-сигнала [4].

Рост опухолевой ткани в позвонке вытесняет здоровый костный мозг с его жировыми клетками, что закономерно приводит к снижению интенсивности МР-сигнала на T1-ВИ (рис. 3). Однако есть опухоли (меланома, почечно-клеточный рак), метастазы которых не дают ожидаемого низкого МР-сигнала на T1-ВИ (рис. 4).

Любое увеличение количества клеток и воды в костном мозге (рис. 5) приведет к снижению интенсивности МР-сигнала на T1-ВИ (спондилит, перегрузка позвонков при остеохондрозе, переломы позвонков в остром периоде травмы).

Активация кроветворения при хронических анемиях (т. н. реконверсия костного мозга) также будет

сопровождаться увеличением доли клеток гемопоэтического ряда и уменьшением доли жировых клеток. В результате интенсивность МР-сигнала от такого костного мозга на T1-ВИ может стать ниже, чем от межпозвоночных дисков, но будет более высокой по сравнению с МР-сигналом от мышц (рис. 6).

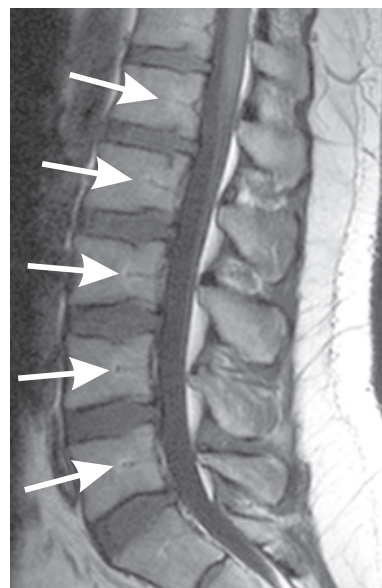


Рис. 2. МРТ поясничного отдела позвоночника. T1-ВИ.

Интенсивность МР-сигнала от позвонков выше, чем интенсивность МР-сигнала от межпозвоночных дисков. МР-сигнал от костного мозга однороден, за исключением зоны базивертебральных вен (стрелки)

T2-взвешенные изображения

Импульсная последовательность T2-ВИ менее информативна для анализа костного мозга. Это обусловлено тем, что и вода, и жир сопровождаются гиперинтенсивным МР-сигналом, поэтому различить на фоне здорового костного мозга патологический участок, в котором опухолевые клетки, содержащие воду, вытеснили здоровый костный мозг вместе со свойственными ему жировыми клетками, нелегко вследствие малой контрастности этих тканей на T2-ВИ (см. рис. 4, 5).

Жироподавление

Использование жироподавления значительно улучшает выявление зон с увеличенной концентраци-



Рис. 3. МРТ грудного отдела позвоночника: T1-ВИ (а), T2-ВИ (б), STIR (в). Диффузное замещение костного мозга позвонков метастазами колоректального рака: на T1-ВИ интенсивность МР-сигнала от костного мозга ниже, чем от межпозвоночных дисков, на STIR-ИП не происходит подавления МР-сигнала по сравнению с T2-ВИ. В верхнегрудном отделе — эпидуральный мягкотканый компонент (стрелка)

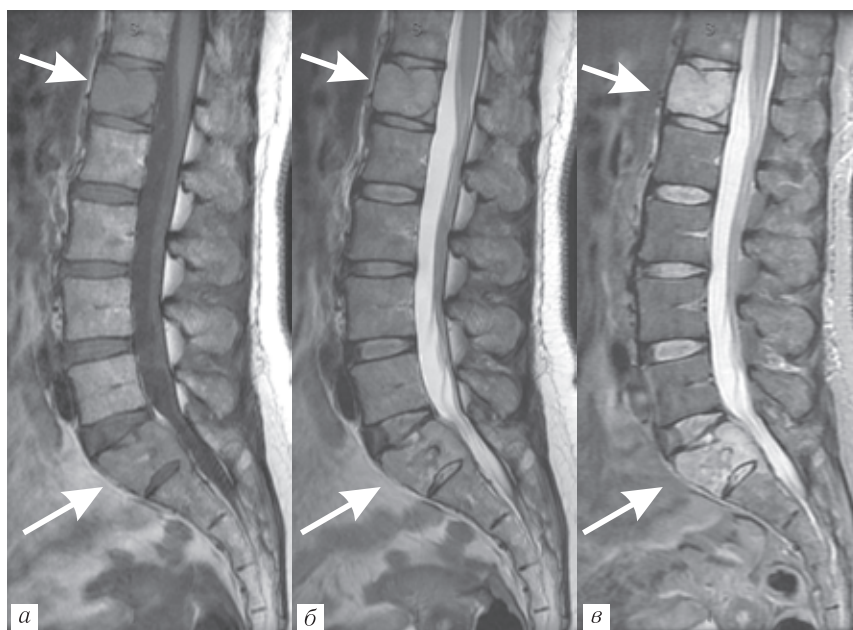


Рис. 4. МРТ поясничного отдела позвоночника: T1-ВИ (а), T2-ВИ (б), STIR (в). Метастазы почечноклеточного рака (стрелки) не сопровождаются значимым снижением интенсивности МР-сигнала на T1-ВИ, но отчетливо дифференцируются на ИП-STIR

ей воды. Можно применять T2-FatSat или STIR-ИП. Технология T2-FatSat использует разницу между резонансной частотой протонов в молекулах воды и жира. На эффективность жироподавления при этой технологии существенно влияет однородность магнитного поля, которая нарушается металлическими имплантатами, большим полем обзора или расположением позвоночника вне изоцентра магнита. В этих ситуациях STIR становится более надежным способом подавления МР-сигнала от жира (рис. 7).

Дополнительными импульсными последовательностями стали технология химического сдвига или

сканирование в фазу и противофазу, диффузионно-взвешенная МРТ и внутривенное контрастирование.

Химический сдвиг (in-phase/out-of-phase) является многообещающей методикой. Принцип этой технологии состоит в том, что при сканировании в противофазу направление векторов вращения протонов жира и протонов воды становится противоположным. Одновременное присутствие в единичном вокселе молекул воды и молекул жира приведет к снижению интенсивности МР-сигнала. Если же в вокселе присутствуют только молекулы воды или только молекулы жира, интенсивность МР-сигнала



Рис. 5. МРТ поясничного отдела позвоночника: T1-ВИ (а), T2-ВИ (б). Острый спондилит L_{IV}. На T1-ВИ гипоинтенсивный МР-сигнал в каудальном отделе тела L_{IV} (стрелка), интенсивность МР-сигнала ниже, чем от межпозвоночного диска. На T2-ВИ — изоинтенсивный МР-сигнал

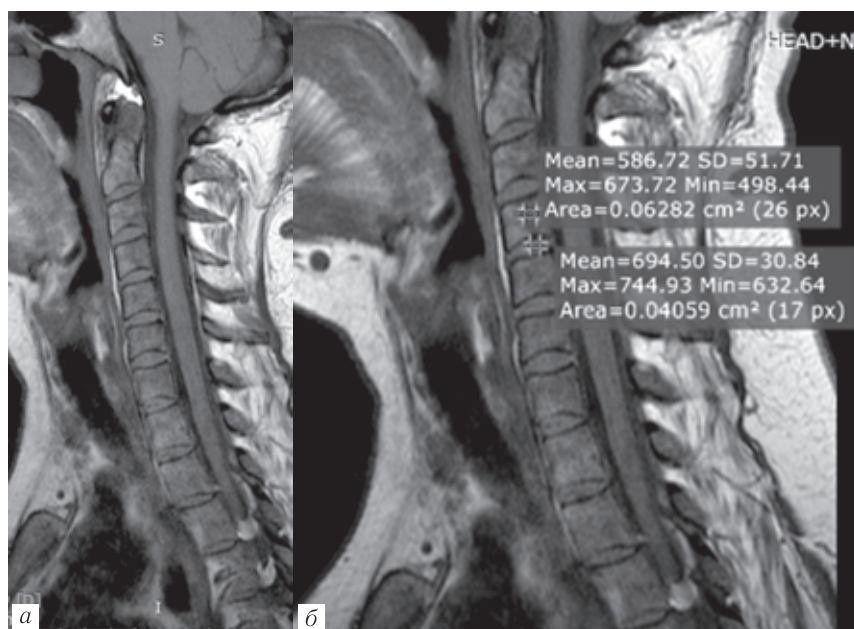


Рис. 6. МРТ шейного отдела позвоночника, T1-ВИ: интенсивность МР-сигнала от костного мозга ниже, чем от межпозвоночных дисков, у пациентки с хронической анемией вследствие активации кроветворения и реконверсии костного мозга

не снижается (рис. 8). Это свойство технологии химического сдвига давно используется при исследовании органов брюшной полости (dual echo): жировая инфильтрация печени, аденома надпочечника, ангиомиолипома почки (то есть состояния с диффузным присутствием жира) демонстрируют отчетливое снижение интенсивности МР-сигнала при сканировании в противофазу по сравнению с уровнем МР-сигнала при сканировании в фазу. Для костного мозга, наоборот, нормальным будет снижение МР-сигнала в противофазу, а патологическим — отсутствие такого снижения. Disler и соавт. считают, что для нормального костного мозга отношение интенсивности МР-сигнала в противофазу к МР-сигналу в фазу не должен превышать 0,81 (рис. 9–11). Более высокие значе-

ния этого отношения соответствуют замещению костного мозга другой тканью [5]. Следует подчеркнуть, что отсутствие снижения интенсивности МР-сигнала в противофазу будет выявлено как при злокачественной опухоли, так и при доброкачественных патологических состояниях, например, при аневризмальной костной кисте. Ложноположительные результаты даст и постлучевой фиброз костного мозга.

Диффузионно-взвешенная МРТ может дать дополнительную информацию. В опухолевой ткани количество клеток в единичном объеме обычно больше, чем в здоровом костном мозге. Мембраны большого количества клеток увеличивают число столкновений с молекулами воды, что приводит к ограничению диффузии и появлению более высокого

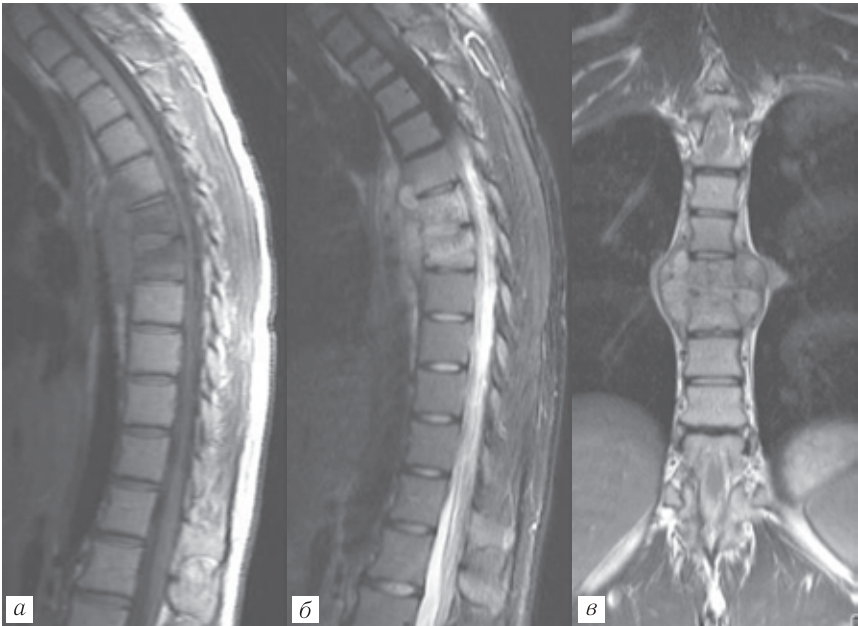


Рис. 7. МРТ грудного отдела позвоночника: T1-ВИ (а), STIR (б), T2-ВИ (в). Острый спондилит с деструкцией тел Th_{VI}, Th_{VI} и расплавлением межпозвоночного диска, пре- и паравертебральным мягкотканым компонентом. Распространение воспаления на тело Th_{VI} выявлено только на T1-ВИ

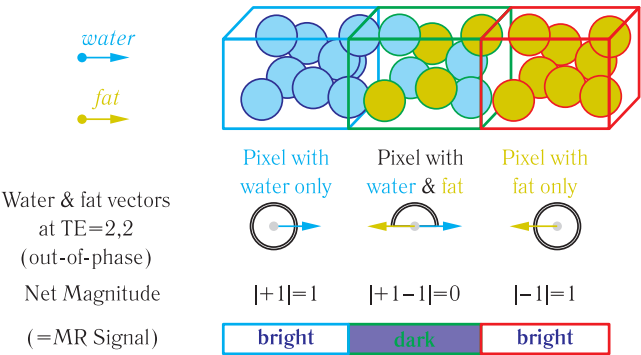


Рис. 8. Схематическое изображение зависимости интенсивности МР-сигнала в противофазу от состава вокселя: однородный воксель, состоящий только из воды или только из жира, сохраняет высокий сигнал, а неоднородный воксель, включающий и жир, и воду, демонстрирует снижение интенсивности МР-сигнала (Courtesy of Allen D. Elster, MRIquestions.com)



Рис. 9. МРТ грудного отдела позвоночника больного с раком щитовидной железы: T1-ВИ (а), in-phase (б), out-of-phase (в). В теле Th_{VI} выявлен участок, гипоинтенсивный на T1-ВИ. При сканировании в противофазу интенсивность МР-сигнала не снижается, соотношение с сигналом при сканировании в фазу составляет 1,2, что соответствует полному вытеснению костного мозга метастатической опухолью

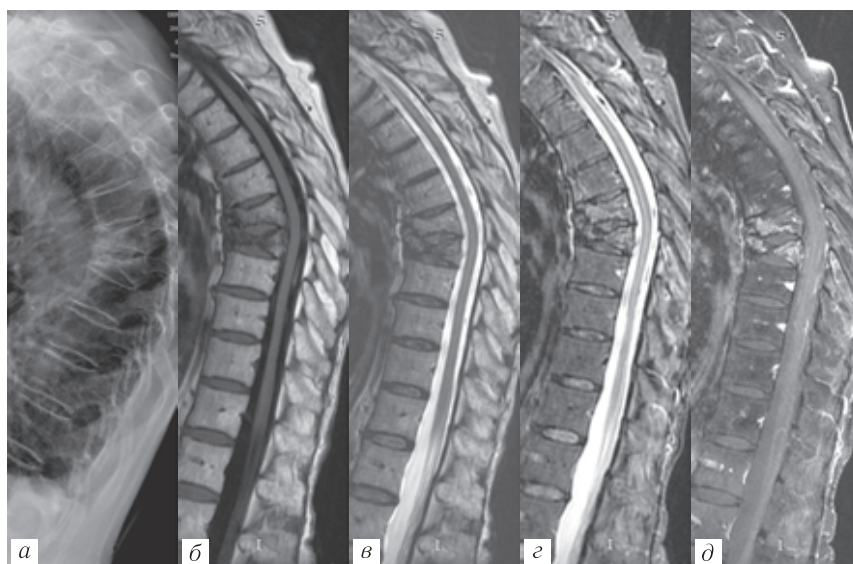


Рис. 10. Пациентка 78 лет с болью в спине. Патологический перелом тел Th_{VII}, Th_{VIII}. На рентгенограмме (а) плотность сломанных позвонков увеличена, на T1-ВИ (б) в этих позвонках МР-сигнал низкий, T2-ВИ (в) дополнительной информации не дает, STIR-ИП (г) выявляет гиперинтенсивный МР-сигнал, на постконтрастной T1 с жироподавлением (д) отмечено отчетливое накопление контрастного вещества. Все эти изменения могут быть и при переломе, обусловленном ростом опухоли, и при переломе на фоне остеопороза. Стандартные импульсные последовательности не позволили провести дифференциальную диагностику

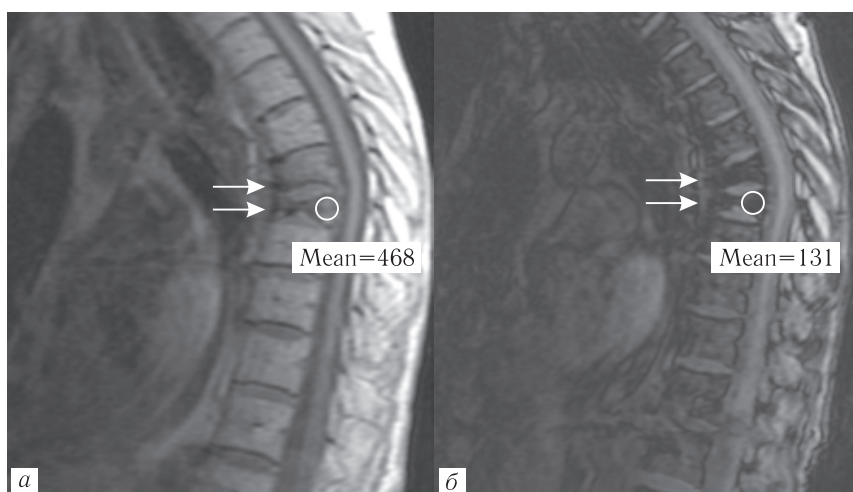


Рис. 11. Та же пациентка. При сканировании в противофазу (б) МР-сигнал от измененных позвонков резко снизился по сравнению с МР-сигналом при сканировании в фазу (а), что доказывает отсутствие опухоли. Перелом вызван остеопорозом!

МР-сигнала на диффузионно-взвешенных изображениях. Опыт использования DWI для анализа состояния костного мозга пока недостаточно велик, и эта технология требует дальнейшего изучения.

Постконтрастное исследование, традиционное при исследовании других органов и систем, в диагностике заболеваний костного мозга применяется существенно реже. Очевидно, что опухолевая ткань содержит много сосудов и демонстрирует отчетливое постконтрастное усиление. Но повышенное накопление контрастного препарата будет получено как при злокачественных, так и доброкачественных процессах (например, при гемангиомах, саркоидозе), а также в зонах внутрикостной гиперемии при перегрузке, при повреждениях сосудов кости в остром периоде травмы с переломом позвонка. При выполнении постконтрастного исследования применяется T1-ВИ с жироподавлением (см. рис. 10, д; рис. 12, г). Для повышения

информативности постконтрастного исследования желательно перед введением контрастного вещества выполнить пре-контрастную T1-FatSat с идентичной геометрией срезов для последующей субтракции. Исследование перфузии костного мозга с помощью динамической постконтрастной серии также является многообещающим методом. Трактовка полученных результатов затруднена существенным влиянием на кровоток возраста пациента и атеросклероза аорты и ее ветвей, кровоснабжающих позвонки. Реконверсия костного мозга при анемиях при отсутствии опухолевой ткани в позвонках также сопровождается увеличением кровотока, что затрудняет проведение дифференциальной диагностики.

Таким образом, ни одна из импульсных последовательностей не может быть единственной для диагностики изменений костного мозга. В каждом наблюдении, где стандартное исследование (T1, T2

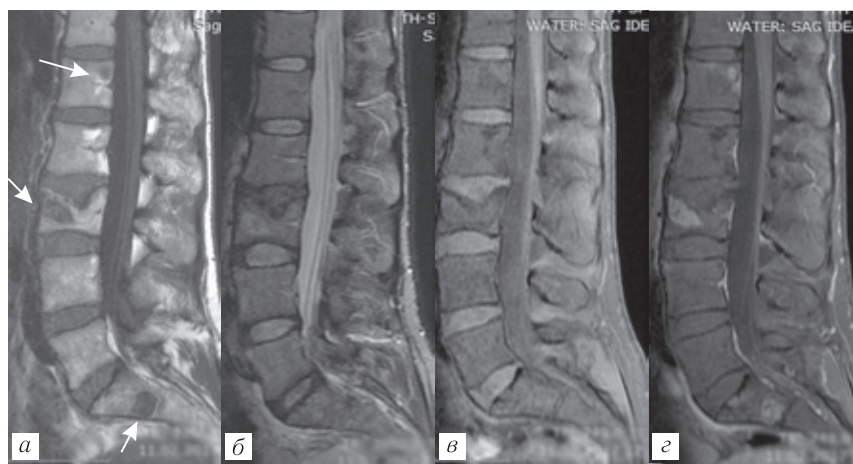


Рис. 12. Пациентка 39 лет с болями в спине. При МРТ поясничного отдела позвоночника выявлены изменения в телах L_I, L_{III} и S_I (стрелки), гипоинтенсивные на T1-ВИ (а), слабо гиперинтенсивные на ИП-STIR (б), изоинтенсивные на T1 с жироподавлением (в), с отчетливым постконтрастным усилением (г). В теле L_{III} возник патологический перелом. Выявленные изменения не позволяют уверенно исключить опухолевый процесс

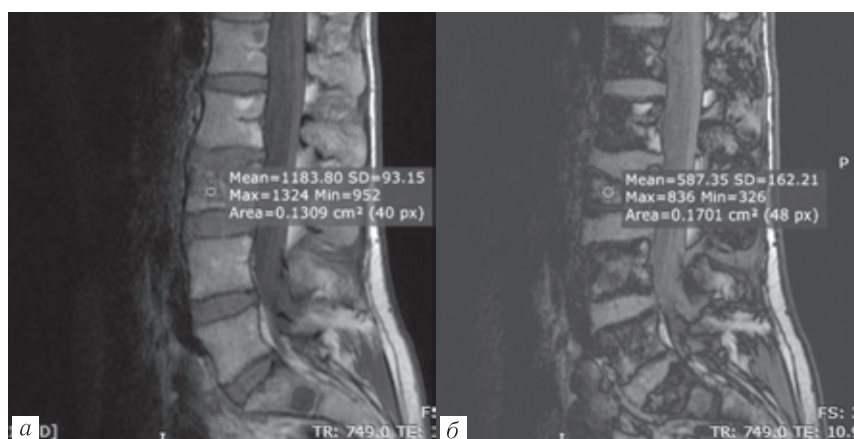


Рис. 13. Та же больная. При сканировании в противофазу (б) интенсивность МР-сигнала в очаге патологических структурных изменений, выявленных при стандартном исследовании, снизилась почти в два раза по сравнению с МР-сигналом, полученным при сканировании в фазу (а). Это надежно исключает опухолевый процесс. Патологические очаги в позвонках обусловлены незрелой костной тканью на фоне полиостотической формы фиброзной дисплазии

и STIR) выявляет диффузные или очаговые изменения костного мозга (рис. 12, 13), приходится применять дополнительные программы (in-phase/out-of-

phase, DWI, введение контрастного вещества) и анализировать всю совокупность полученной информации [6].

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Modic M.T. et al. Degenerative disk disease: assessment of changes in vertebral body marrow with MR imaging // *Radiology*. 1988. Vol. 166, No. 1. P. 193–199.
2. Hanrahan C.J., Shah L.M. MRI of Spinal Bone Marrow: Part 2, T1-Weighted Imaging-Based Differential Diagnosis // *AJR*. 2011. Vol. 197. P. 1309–1321.
3. Vogler J.B., Murphy W.A. Bone marrow imaging // *Radiology*. 1988. Vol. 168. P. 679–693.
4. Shah L.M., Hanrahan C.J. MRI of Spinal Bone Marrow: Part 1, Techniques and Normal Age-Related Appearance // *AJR*. 2011. Vol. 197. P. 1298–1308.
5. Disler D.G., McCauley T.R., Ratner L.M., Kesack C.D., Cooper J.A. In-phase and out-of-phase MR imaging of bone marrow: prediction of neoplasia based on the detection of coexistent fat and water // *AJR*. 1997. Vol. 169. P. 1439–1447.
6. Del Grande F.P. et al. Bone marrow lesions: a systematic approach // *Indian. J. Radiol. Imaging*. 2014. Vol. 24, No. 3. P. 279–287.

Поступила в редакцию / Received by the Editor: 2.10.2018 г.

Контакт: Назинкина Юлия Викторовна, nazinkiny@yandex.ru

Сведения об авторах:

Назинкина Юлия Викторовна — кандидат медицинских наук, доцент НК и ОЦ «Лучевая диагностика и ядерная медицина» Института высоких медицинских технологий ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный университет», старший научный сотрудник лаборатории нейровизуализации ФГБУН Института мозга человека им. Н. П. Бехтерева Российской академии наук; 197376, Санкт-Петербург, ул. Академика Павлова, д. 9; e-mail: nazinkiny@yandex.ru.