

ВОЗМОЖНОСТИ ДИФФУЗИОННО-ВЗВЕШЕННОЙ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ В ДИАГНОСТИКЕ ОПУХОЛЕЙ СПИННОГО МОЗГА

В.А. Бывальцев^{1, 2, 3, 4}, д. м. н., заведующий курсом нейрохирургии ИГМУ, руководитель Центра нейрохирургии ДКБ, заведующий научно-клиническим отделом нейрохирургии ИНЦХТ, профессор кафедры травматологии, ортопедии и нейрохирургии ИГМАПО

И.А. Степанов¹, аспирант

А.И. Кичигин¹, аспирант

¹ ФГБОУ ВО «Иркутский государственный медицинский университет» Минздрава России, ул. Красного Восстания, 1, Иркутск, 664003, Российская Федерация

² НУЗ «Дорожная клиническая больница на ст. Иркутск-Пассажирский ОАО «РЖД», ул. Боткина, 10, Иркутск, 664005, Российская Федерация

³ ФГБНУ «Иркутский научный центр хирургии и травматологии», ул. Борцов Революции, 1, Иркутск, 664003, Российская Федерация

⁴ ФГБОУ ДПО «Иркутская государственная медицинская академия последипломного образования», мкр-н Юбилейный, 100, Иркутск, 664049, Российская Федерация

POSSIBILITIES OF DIFFUSION-WEIGHTED MAGNETIC RESONANCE IMAGING IN THE DIAGNOSIS OF SPINAL CORD TUMORS

V.A. Byval'tsev^{1, 2, 3, 4}, MD, PhD, DSc, Head of Neurosurgery Course of ISMU, Head of Neurosurgery Center of RCH, Head of Scientific and Clinical Department of Neurosurgery of ISCST, Professor of Chair of Traumatology, Orthopedics and Neurosurgery of ISMAPE; orcid.org/0000-0003-4349-7101

I.A. Stepanov¹, Postgraduate; orcid.org/0000-0001-9039-9147

A.I. Kichigin¹, Postgraduate; orcid.org/0000-0001-8763-2905

¹ Irkutsk State Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation, ul. Krasnogo Vosstaniya, 1, Irkutsk, 664003, Russian Federation

² Railway Clinical Hospital on the station Irkutsk-Passazhirskiy of Russian Railways Ltd., ul. Botkina, 10, Irkutsk, 664005, Russian Federation

³ Irkutsk Scientific Center of Surgery and Traumatology, ul. Bortsov Revolyutsii, 1, Irkutsk, 664003, Russian Federation

⁴ Irkutsk State Medical Academy of Postgraduate Education, mikrorayon Yubileyny, 100, Irkutsk, 664049, Russian Federation

Представлен анализ данных современной литературы, посвященной основным методам диагностики опухолей спинного мозга. Отражены возможности применения диффузионно-взвешенной магнитно-резонансной томографии (ДВ МРТ) с построением карт измеряемых коэффициентов диффузии (ИКД-карты) и вычислением среднего значения ИКД при данной патологии. Собраны данные по вопросам дифференциальной диагностики, оценке степени злокачественности определенных групп опухолей на основании данных ДВ МРТ. ДВ МРТ является дополнительным методом диагностики новообразований спинного мозга различной природы на предоперационном этапе, для определения объема последующего оперативного вмешательства.

Ключевые слова: опухоли спинного мозга; диффузионно-взвешенная магнитно-резонансная томография; измеряемый коэффициент диффузии; карта измеряемых коэффициентов диффузии; обзор.

Для цитирования: Бывальцев В.А., Степанов И.А., Кичигин А.И. Возможности диффузионно-взвешенной магнитно-резонансной томографии в диагностике опухолей спинного мозга. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2018; 99 (2): 101–7. DOI: 10.20862/0042-4676-2018-99-2-101-107

Для корреспонденции: Бывальцев Вадим Анатольевич; E-mail: byval75vadim@yandex.ru

Поступила 28.05.2017

Принята к печати 13.06.2017

The review analyzes the data of modern literature on main methods for the diagnosis of spinal cord tumors. It reflects the possibilities of using diffusion-weighted MRI (DW-MRI), by constructing the maps of measured diffusion coefficients (ICD) and calculating the mean value of ICD in this pathology. The investigators have collected data on differential diagnosis and the assessment of the degree of malignancy of certain tumor groups on the basis of DW-MRI data. DW-MRI as compared with the data of standard T1- and T2-weighted images can serve as an additional method to diagnose spinal cord neoplasms of different nature at the preoperative stage for the determination of the volume of subsequent surgery.

Index terms: spinal cord tumors; diffusion-weighted magnetic resonance imaging; apparent diffusion coefficient; apparent diffusion coefficient map; review.

For citation: Byval'tsev V.A., Stepanov I.A., Kichigin A.I. Possibilities of diffusion-weighted magnetic resonance imaging in the diagnosis of spinal cord tumors. *Vestnik Rentgenologii i Radiologii (Russian Journal of Radiology)*. 2018; 99 (2): 101–7 (in Russ.). DOI: 10.20862/0042-4676-2018-99-2-101-107

For correspondence: Vadim A. Byval'tsev; E-mail: byval75vadim@yandex.ru

Acknowledgements. The study was supported by Grant of the Russian scientific Fund (№ 14–32–00006).

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Received May 28, 2017

Accepted June 13, 2017

Введение

Опухоли спинного мозга составляют от 10 до 15% от всех опухолей центральной нервной системы. Частота встречаемости опухолей спинного мозга (без учета метастатического поражения) составляет 1–2 случая на 100 тыс. населения в год [1]. Несмотря на активное развитие методики магнитно-резонансной томографии (МРТ), многие объемные образования спинного мозга на стандартных T1- и T2-ВИ обладают схожими сигнальными характеристиками, что затрудняет дифференциальную диагностику и выбор адекватной тактики ведения таких пациентов [2].

Однако с усовершенствованием методики МРТ появилась возможность получить количественную характеристику объемных образований центральной нервной системы. Диффузионно-взвешенная (ДВ) МРТ позволяет оценить состояние опухолевой ткани путем мониторинга движения свободных молекул воды на клеточном уровне. При этом степень диффузии молекул воды можно оценить с помощью численного значения, в виде измеряемого коэффициента диффузии (ИКД). Множество значений ИКД для данной биологической структуры представляет собой функциональную карту ИКД (ИКД-карта). ИКД-карта позволяет количественно оценить состояние опухолевых тканей, которые не визуализируются на рутинных T1- или T2-ВИ [3–7]. Эффективность применения ДВ МРТ с построением ИКД-карт и вычислением среднего значения ИКД в диагностике объемных образований спинного мозга продемонстрирована рядом авторов. Более того, с помощью ДВ МРТ можно оценить степень злокачественности определенных групп опухолей уже на предоперационном этапе и выбрать объем последующего оперативного вмешательства [8–11].

Цель настоящего обзора – анализ современных литературных данных о возможностях применения методики ДВ МРТ с построением ИКД-карт и вычислением среднего значения ИКД в диагностике опухолей спинного мозга.

Параметры МР-исследования в режиме стандартных T1-, T2-ВИ и режиме ДВ МРТ

Многими авторами в диагностике опухолей центральной нервной системы с помощью методики МРТ используется схожий набор параметров [12–14]. Так, при исследовании в режиме T1-ВИ используются

следующие параметры: матрица 384×387, TR (время повторения) 650, TE (время эхо) 9,6, NEX (число возбуждений) 1, толщина среза 4 мм, FOV (поле зрения) 30×30. Для T2-ВИ: матрица 384×288, TR 4000, TE 43, NEX 1, толщина среза 4 мм, FOV 30×30. Для получения ДВИ используется следующий набор параметров опции ДВ МРТ с SE-эхопланарным изображением (EPI): матрица 160×128, TR 7500, TE 83, NEX 6, толщина среза 4 мм, FOV 30×30. Применяются значения фактора b, равные 400 и 800 с/мм². Время сканирования в среднем составляет 6 мин 30 с. ИКД вычисляется на картах с наибольшим диаметром объемного образования, в область интереса как правило не включаются кистозные и некротические зоны опухолей. Подсчет ИКД выполняется с помощью программного обеспечения RadiAnt DICOM Viewer или MathLab 2009. В то же время некоторые авторы в своих наблюдениях используют другие МР-параметры в диагностике опухолей головного и спинного мозга [15, 16]. Тем не менее результаты данных исследований во многом согласуются.

ДВ МРТ в диагностике интрамедуллярных опухолей

Частота встречаемости интрамедуллярных опухолей составляет 10–18% от общего числа опухолей спинного мозга. Основная масса (до 95%) этих новообразований представлена опухолями глиального ряда. Чаще встречаются эпендимомы, астроцитомы, реже глиобластомы, олигодендроглиомы и другие опухоли – гемангиобластомы, лимфомы, метастазы [17].

Эпендимомы – наиболее распространенные интрамедуллярные объемные образования, они составляют 13% от всех опухолей спинного мозга и 65% от всех глиальных опухолей спинного мозга [17]. В 50–60% случаев эпендимомы располагаются на уровне конуса спинного мозга и корешков конского хвоста. В шейном и грудном отделах спинного мозга опухоль вызывает его утолщение, тогда как на уровне конуса и корешков она приобретает все свойства экстрамедуллярной опухоли. На T1-ВИ при расположении опухоли в шейном и грудном отделах позвоночника определяется мешотчатое утолщение спинного мозга с областью гетерогенного изменения сигнала от ткани опухоли и сопутствующих изменений (кисты, петрификаты, очаги геморрагии). На T1-ВИ опухоль имеет

изоинтенсивный, на T2-ВИ – гиперинтенсивный МР-сигнал [17]. Учитывая тот факт, что для эпендимом характерна меньшая клеточная плотность, при исследовании в режиме ДВ МРТ получаются низкие значения ИКД [18, 19]. Тем не менее в наблюдении O. Tosun et al. [20] при гистологически верифицированной таницитарной эпендимоме (опухолевая ткань происходит из таницитов – специализированных клеток эпендимы биполярной формы) ИКД при исследовании в режиме ДВ МРТ составил $1,10–1,34 \times 10^{-3}$ с/мм². Что касается стандартных последовательностей, для таницитарной эпендимомы характерен изоинтенсивный МР-сигнал на T1-ВИ, гиперинтенсивный – на T2-ВИ и гетерогенное контрастное усиление [20].

Астроцитомы у взрослых составляют 23–30% от всех интрамедуллярных опухолей. Наиболее часто они встречаются в возрасте 20–40 лет. В 75% случаев астроцитомы представлены доброкачественными формами и в 25% – злокачественными. Чаще всего астроцитомы расположены в грудном и шейном отделах спинного мозга, поражают, как правило, несколько сегментов мозга с тенденцией к распространению по длине спинного мозга [17]. Астроцитомы характеризуются изо- и гипоинтенсивным сигналом на T1-ВИ и гиперинтенсивным – на T2-ВИ. Астроцитомы высокой степени злокачественности (III–IV ст. по классификации ВОЗ), для которых характерна высокая клеточная плотность, как правило, имеют гипоинтенсивный сигнал на T2-ВИ и низкое значение ИКД (менее $0,85 \times 10^{-3}$ с/мм²) [21, 22].

Гемангиобластомы составляют 1,6–4% от всех опухолей спинного мозга, локализуются в грудном и шейном отделах, обычно хорошо васкуляризованы [17]. На T1-ВИ опухоль имеет гипо- или изоинтенсивный, на T2-ВИ – гиперинтенсивный сигнал [23]. В исследовании D. She et al. [24] сравнивались ИКД гемангиобластом и метастазов в спинном мозге. Авторы наглядно продемонстрировали, что для гемангиобластом характерны более высокие значения ИКД в отличие от метастатических опухолей: $1,1 \times 10^{-3}$ и $0,87 \times 10^{-3}$ с/мм² соответственно. Аналогичные значения ИКД для гемангиобластом получены в работе В.Н. Корниенко и И.Н. Пронина [23].

Метастазы в спинной мозг встречаются редко (менее 5% от всех метастазов в центральную нервную систему). Метастатическое поражение

спинного мозга возникает обычно вследствие диссеминации некоторых первичных злокачественных опухолей центральной нервной системы по ликворным путям или гематогенного распространения из других органов (рак легкого, рак молочной железы, лимфома, светлоклеточный рак почки и меланома) [17]. Независимо от гистогенеза метастатической опухоли МР-сигнал не имеет достоверных отличий на T1- и T2-ВИ. При исследовании в режиме ДВ МРТ характеристики и значения ИКД различны. При лимфомах имеет место гиперинтенсивный сигнал от зон патологической инфильтрации со средним значением ИКД $0,66 \times 10^{-3}$ с/мм² (от $0,53$ до $0,81 \times 10^{-3}$ с/мм²); саркомы характеризуются неоднородным гиперинтенсивным МР-сигналом с изо- и гипointенсивными участками, а ИКД в среднем составляет $0,85 \times 10^{-3}$ с/мм² (от $0,78$ до $0,91 \times 10^{-3}$ с/мм²); МР-сигнал от метастазов рака легкого неоднородно гиперинтенсивен, ИКД равен $1,05 \times 10^{-3}$ с/мм² (от $0,49$ до $1,54 \times 10^{-3}$ с/мм²) [25].

В работе S. Palasis, L. Hayes [26] показан опыт использования методики ДВ МРТ в предоперационной оценке степени злокачественности опухоли и ее прогрессирования. В одном из случаев, у пациента с ганглиogliомой спинного мозга (I ст. злокачественности по ВОЗ) после частичной резекции опухоли, при исследовании в динамике было отмечено увеличение размеров ростральных отделов опухоли, характеризующееся накоплением контрастного вещества. Определялось соответствующее снижение значения ИКД, что было оценено как более агрессивный компонент опухоли с быстрым ростом. Последующий прицельный патогистологический анализ данной области опухоли показал наличие ганглиogliомы уже IV ст. злокачественности. У другого пациента, с неврологической симптоматикой, при стандартном МР-исследовании спинного мозга определялись участки повышенного МР-сигнала на T2-ВИ с признаками накопления контрастного вещества и наличием масс-эффекта. С целью дифференциальной диагностики между опухолевым поражением и демиелинизирующим процессом пациенту дополнительно выполнена ДВ МРТ в сагиттальной проекции. На полученных ДВИ определялось снижение ИКД в области зоны структурных изменений спинного мозга. Низкие значения ИКД в области поражения вещества спин-

ного мозга позволили предположить опухолевую природу заболевания и выбрать верную тактику ведения пациента. Больному выполнено микрохирургическое удаление объемного интрамедуллярного образования. Патогистологическое исследование удаленной опухоли показало наличие глиобластомы (IV ст. злокачественности по ВОЗ).

F. Wagner et al. [27] представили редкий клинический случай интрамедуллярной меланоцитомы в шейном отделе спинного мозга, что было подтверждено патогистологическим исследованием. Пациенту наряду с рутинными T1- и T2-ВИ была выполнена ДВ МРТ с построением ИКД-карт. При анализе полученных изображений авторами не обнаружено существенных изменений значений ИКД.

Эпидермоидные кисты в спинномозговом канале, по разным данным, составляют от 1 до 2% от всех спинальных опухолей. При этом они редко встречаются в шейном и верхнегрудном отделах, чаще располагаются в области мозгового конуса. Обычно локализуются интрадурально экстремедуллярно, но в области конуса/конского хвоста может быть интрамедуллярный компонент (полностью интрамедуллярное поражение бывает достаточно редко) [28].

M. Thurnher [29] сообщает о двух случаях диагностики эпидермоидных кист в спинном мозге (на уровне тел позвонков Th_X и L_I-L_{II}) с помощью ДВ МРТ, подтвержденных данными патогистологического заключения. На T2-ВИ интрамедуллярные образования характеризовались неоднородной структурой с соответствующими гиперинтенсивными сигналами на ИКД-карте. ИКД эпидермоидных кист в первом и втором случаях составили соответственно $0,665 \times 10^{-3}$ с/мм² и $0,765 \times 10^{-3}$ с/мм².

Важно отметить тот факт, что методика ДВ МРТ может быть использована в дифференциальной диагностике арахноидальных и эпидермоидных кист, так как МР-сигнал на T1- и T2-ВИ может быть абсолютно идентичным. Показано, что эпидермоидные кисты имеют более низкие значения ИКД, в то время как при арахноидальных кистах значения ИКД высокие и составляют не более $3,0 \times 10^{-3}$ с/мм². Дифференциальная диагностика объемных образований спинного мозга очень важна, поскольку она определяет тактику ведения пациентов, а при наличии показаний к оперативному вмешательст-

ву – его объем. K. Kukreja et al. [30] сообщают о четырех случаях диагностики кистозных образований спинного мозга у детей. При использовании методики ДВ МРТ в двух случаях эпидермоидных кист были получены относительно невысокие значения ИКД ($0,678 \times 10^{-3}$ с/мм² и $0,753 \times 10^{-3}$ с/мм²). Все пациенты подверглись хирургическому лечению, диагноз эпидермоидной кисты был подтвержден при гистологическом исследовании.

Интрамедуллярные липомы составляют около 1% от всех опухолей, локализованных в позвоночном канале [17]. На T1-ВИ для них характерен выраженный гиперинтенсивный сигнал. На T2-ВИ липомы также гиперинтенсивны, но в меньшей степени («жировой» МР-сигнал), независимо от импульсной последовательности. Как правило, на ИКД-карте липомы имеют низкое значение ИКД (не более $0,55$ – $0,63 \times 10^{-3}$ с/мм²).

ДВ МРТ в диагностике интрадуральных экстремедуллярных опухолей

Экстремедуллярные интрадуральные опухоли составляют от 53 до 68,5% от всех опухолей спинного мозга. Из них невриномы выявляются в 30–40%, а менингиомы – в 25% случаев. Опухоли другой гистологической природы (липомы, метастазы, тератомы, дермоидные и эпидермальные) встречаются значительно реже [17].

Менингиомы – в большинстве своем доброкачественные медленно растущие опухоли, происходящие из арахноэндотелиальных отщеплений твердой мозговой оболочки. В позвоночном канале менингиомы чаще располагаются в грудном отделе, причем преимущественно дорсально. Структура их, как правило, неоднородная за счет наличия петрификатов. Менингиомы на T1- и T2-ВИ изоинтенсивны по сравнению с тканью спинного мозга и лишь изредка гиперинтенсивны на T2-ВИ. Улучшению визуализации менингиом способствует введение контрастных веществ. После введения контрастного препарата обычно определяются однородное усиление сигнала от ткани опухоли, а также контрастирование прилежащих отделов твердой мозговой оболочки. На ИКД-карте менингиомы имеют относительно высокие значения ИКД (в среднем $0,877 \times 10^{-3}$ с/мм²) [31].

Невриномы и нейрофибромы относятся к опухолям корешков спинного мозга и составляют 30% от всех

первичных экстрадуральных опухолей [17]. Данный тип опухолей на МР-томограммах отличается ровными, четкими контурами, экспансивным характером роста, а также неоднородной структурой за счет наличия кистозного компонента. Экстрадуральное распространение опухоли по типу «песочных часов» встречается в 15–25% случаев. На T1-ВИ МР-сигнал от невринома изоинтенсивный и идентичен сигналу от спинного мозга, тогда как на T2-ВИ от невринома определяется гиперинтенсивный сигнал. В отличие от невринома, нейрофибромы характеризуются изо- и гипоинтенсивными сигнальными характеристиками по отношению к спинному мозгу (рис. 1). По данным наблюдения М. Hori et al. [31], при исследовании невринома в режиме ДВ МРТ значения ИКД сопоставимы с ИКД менингиом и составляют не менее $0,847 \times 10^{-3}$ с/мм².

Значительно реже встречаются липомы и метастазы. Интрадуральные метастатические опухоли выявляются, как правило, при наличии первичной опухоли центральной нервной системы (медуллобластома, анапластическая эпендимома, герминативно-клеточная опухоль, пинеобластома, хорионкарцинома и глиобластома). Также интрадуральное метастазирование встречается при меланоме, раке легкого, раке молочной железы и гемобластозах [28]. Поражение оболочек спинного мозга выявляется на постконтрастных изображениях, поскольку МР-сигнал от метастазов может быть изоинтенсивен и плохо дифференцируется от вещества спинного мозга и ликвора. В этом случае методика ДВ МРТ с построением ИКД-карт и вычислением ИКД позволяет провести дифференциальную диагностику [32].

Для большинства лептоменингеальных метастазов характерен гиперинтенсивный МР-сигнал, определяющий ограничение диффузии и снижение ИКД за счет более высокой численности клеток в опухолевом узле по сравнению с неизменными тканями [33].

Т. Niwa et al. [33] в своем наблюдении представили клинический случай атипичной тератоидно-рабдоидной опухоли у ребенка 6 лет, расположенной экстрадурально на уровне тел C_V - C_{VI} позвонков. Опухоль была исследована в стандартном и режиме ДВ МРТ. На T1-, T2-ВИ опухоль характеризовалась изоинтенсивным МР-сигналом и экстрадуральным расположением.

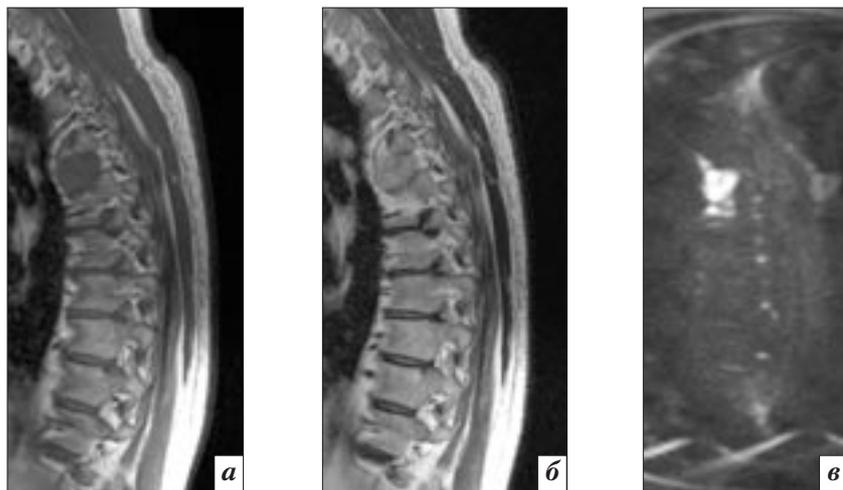


Рис. 1. МР-томограммы пациента с объемным экстрадуральным образованием на уровне тел позвонков Th_{IV-V} (нейрофиброма, собственное клиническое наблюдение): а – T1-ВИ; б – T2-ВИ; в – ИКД-карта с измеренным средним значением ИКД ($1,3 \times 10^{-3}$ с/мм²)

На постконтрастных сериях определялось умеренное накопление контрастного вещества патологическим образованием. При построении ИКД-карт ИКД опухоли составил $0,438 \times 10^{-3}$ с/мм². В другом клиническом наблюдении Л. Hayes et al. [32] сообщили о случае выявления лептоменингеального метастазирования у ребенка 2 лет с опухолью задней черепной ямки (атипичная тератоидно-рабдоидная опухоль) с помощью методики ДВ МРТ. Метастазы были обнаружены в грудном отделе спинного мозга, а при последующем исследовании – и на уровне конского хвоста. Патологические образования характеризовались гиперинтенсивным сигналом на ИКД-карте с низким значением ИКД (менее $0,431 \times 10^{-3}$ с/мм²). При этом полученные значения ИКД метастазов были сопоставимы со значением ИКД первичной опухоли головного мозга.

К интрадуральным образованиям также относятся ятрогенные эпидермоидные кисты, которые составляют до 40% от всех эпидермоидных кист. Данные образования возникают после выполнения люмбальной пункции, в результате имплантации клеток эпидермиса через иглу в спинномозговой канал [34]. Эпидермоидные кисты гипоинтенсивны на T1-ВИ, гиперинтенсивны на T2-ВИ и не накапливают контрастный препарат. G. Manzo et al. [34] представили случай выявления кистозного образования по данным МРТ в позвоночном канале на уровне тела L₁ позвонка. На основании данных выполненной ДВ МРТ было выска-

зано предположение, что объемным образованием может служить эпидермоидная киста (ИКД составил $0,79 \times 10^{-3}$ с/мм²). Пациенту было выполнено оперативное вмешательство с последующим патогистологическим анализом удаленного объемного образования, который подтвердил наличие эпидермоидной кисты. М. Teksam et al. [35] в своем наблюдении также подтвердили эффективность применения методики ДВ МРТ в дифференциальной диагностике эпидермоидных кист спинного мозга с другими объемными экстрадуральными образованиями.

Диагностика экстрадуральных опухолей с помощью методики ДВ МРТ

Экстрадуральные опухоли подразделяются на первичные, исходящие из самого позвоночника, и вторичные – метастазы и опухоли, врастающие в позвоночный канал из паравертебральных тканей. Особенностями экстрадуральных опухолей являются их гистологическое разнообразие, большие размеры, преобладание злокачественных форм и выраженные изменения костной структуры позвонков [17]. Они составляют до 31% от всех опухолей спинного мозга и до 38% от всех экстрадуральных опухолей. Метастазы составляют большинство экстрадуральных новообразований и встречаются в 3–4 раза чаще первичных опухолей [17].

Среди первичных опухолей позвоночника принято выделять первично-злокачественные и первично-доброкачественные опухоли. К пер-

вично-злокачественным опухолям относят: остеосаркому, хондросаркому, ангиосаркому, а также лимфопролиферативные заболевания, включая миеломную болезнь, лимфогранулематоз, неходжкинскую лимфому. К первично-доброкачественным опухолям относятся: гемангиома, эозинофильная гранулема, остеобластома, остеоид-остеома, хондрома, липома и др. [28].

Эффективность использования методики ДВ МРТ в дифференциальной диагностике экстрадуральных объемных образований подтверждается несколькими исследованиями. Так, в работе С. Plank et al. [25] сообщается о 8 случаях экстрадурального неопластического поражения, которые морфологически соответствовали лимфомам (В-клеточной и Т-клеточной), хондросаркоме и метастатическому поражению (остеосаркома, эпителиоидная опухоль кости, рак простаты). В случае с лимфомой при исследовании в режиме ДВ МРТ был получен гиперинтенсивный сигнал от зон патологической инфильтрации с ИКД, равным в среднем $0,66 \times 10^{-3}$ с/мм² (от $0,48$ до $0,83 \times 10^{-3}$ с/мм²). В другом исследовании J.В. Andre et al. [36] отмечают более четкую визуализацию опухолевого поражения тел позвонков по данным ДВ МРТ в отличие от рутинных T1- и T2-ВИ. При этом остеосаркома показала неоднородно гиперинтенсивный МР-сигнал с изо- и гипоинтенсивными участками, с ИКД, равным в среднем $0,85 \times 10^{-3}$ с/мм² (от $0,78$ до $0,91 \times 10^{-3}$ с/мм²).

МР-сигнал от метастазов неоднородно гиперинтенсивен в режиме ДВ МРТ (рис. 2). При этом значение ИКД в среднем составляет $1,05 \times 10^{-3}$ с/мм² (от $0,49$ до $1,54 \times 10^{-3}$ с/мм²). Также стоит отметить, что имеет место выраженная обратная корреляционная зависимость между значениями ИКД и величиной клеточной плотности в группе метастатических опухолей [25].

Дифференциальная диагностика объемных образований спинного мозга с помощью ДВ МРТ

Важным аспектом в дифференциальной диагностике объемных образований спинного мозга является исключение инфекционного процесса. Т. Moritani et al. [37] в своем исследовании доказали, что методика ДВ МРТ с вычислением ИКД эффективна для ранней и точной диагностики инфекционного поражения спинного мозга, степени его распространения



Рис. 2. МР-томограммы пациента с патологическим переломом тела L_{IV} позвонка (метастаз мелкоклеточного рака легкого, собственное клиническое наблюдение): а – T1-ВИ; б – T2-ВИ; в – ИКД-карта с измеренным средним значением ИКД ($0,69 \times 10^{-3}$ с/мм²)

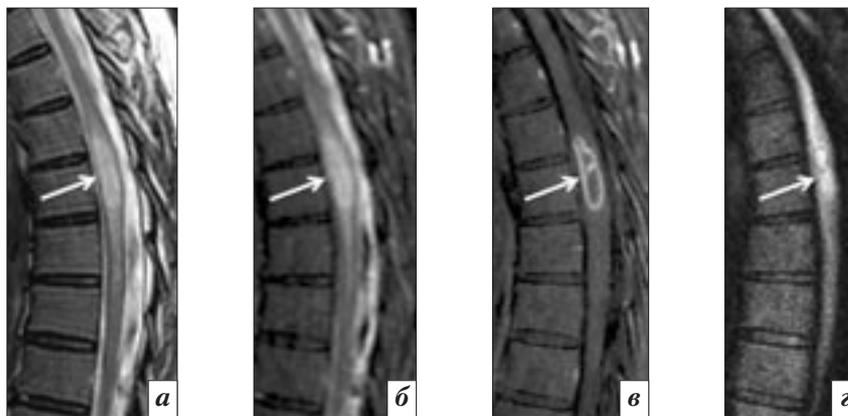


Рис. 3. Пациентка 60 лет с левосторонним гемипарезом (неврологический дефицит развился после экстракции зуба): а – умеренно гиперинтенсивный очаг на FSE T2-ВИ (на всех изображениях указан стрелкой); б – STIR T2-ВИ; в – отмечается усиление сигнала по периферии очага на постконтрастном T1-ВИ; г – ИКД-карта с низким значением ИКД в центре патологического очага, что, вероятно всего, указывает на наличие гноя.

Пациентке выставлен диагноз гематогенного интрамедуллярного абсцесса, который полностью купирован системной антибактериальной терапией [42]

ности и планирования оперативного вмешательства у таких пациентов.

ДВ МРТ отводится особая роль в диагностике абсцессов спинного мозга. Абсцесс представляет собой замкнутую полость с капсулой, содержащую продукты распада клеток и бактерий. На рутинных T1- и T2-ВИ абсцессы имеют гиперинтенсивный МР-сигнал, а в режиме ДВ МРТ характеризуются резким ограничением диффузии и низкими значениями ИКД. При исследовании в режиме стандартных T1- и T2-ВИ выявляется объемное образование с перифокальным отеком, интенсивно накапливающее контрастное вещество преимущественно в периферических отделах [17]. В одном из наблюдений у пациента с абсцессом

спинного мозга при построении ИКД-карты получено значение ИКД $0,7 \times 10^{-3}$ с/мм² [38]. Пациенту было выполнено оперативное вмешательство по поводу данного объемного образования, и при гистологическом исследовании диагноз интрамедуллярного абсцесса был подтвержден. Однако это наблюдение носит единичный характер и не может служить достоверным подтверждением высокой чувствительности ДВ МРТ в диагностике абсцессов спинного мозга (рис. 3).

Сопоставляя данные дифференциально-диагностического ряда, необходимо помнить о том, что схожими сигнальными характеристиками с инфекционным и неопластическим поражениями спинного мозга могут

обладать грыжи межпозвоночного диска, а также эпи-, субдуральные и субарахноидальные кровоизлияния [39]. В случае грыжи межпозвоночного диска ограничения диффузии не наблюдается, в то время как при абсцедирующем процессе диффузия свободных молекул воды резко ограничена и сопровождается низкими значениями ИКД. При кровоизлияниях сигнал на ИКД-картах может быть гиперинтенсивным, особенно в хроническую фазу, что связано с парамагнитными свойствами метгемоглобина [36]. Поэтому необходимо помнить и о сроках превращения гемоглобина в метгемоглобин, что можно использовать в дифференциальной диагностике гематомы и абсцесса [36].

Методика ДВ МРТ занимает ведущее место в диагностике ишемического поражения центральной нервной системы, особенно в ранние периоды нарушения кровообращения [40]. Часто очаги ишемии в спинном мозге имеют схожие сигнальные характеристики с интрамедуллярными объемными образованиями на рутинных T1- и T2-ВИ. И лишь при комплексном сопоставлении данных анамнеза заболевания и результатов инструментальных исследований возможна точная диагностика ишемического поражения центральной нервной системы (рис. 4, 5). В наблюдении T.J. Lohr et al. [41] оценивалось значение ДВ МРТ в ранней диагностике инфаркта спинного мозга. У всех пациентов в раннем периоде острой ишемии спинного мозга было зафиксировано резкое ограничение диффузии свободных молекул воды, что сопровождалось гиперинтенсивным сигналом на ИКД-картах. Значения ИКД очагов ишемии составили в среднем $0,7-0,9 \times 10^{-3} \text{ с/мм}^2$.

Заключение

Методика ДВ МРТ может служить дополнительным методом диагностики объемных образований спинного мозга различной природы. Кроме того, сопоставление данных ИКД-карт, полученных значений ИКД с клеточной плотностью опухолевой ткани и индексом пролиферативной активности (Ki-67) может быть использовано в предоперационной диагностике степени злокачественности ряда опухолей и планировании объема нейрохирургического вмешательства. Тем не менее в настоящее время в литературе встречаются лишь отдельные наблюдения и клинические серии, посвя-

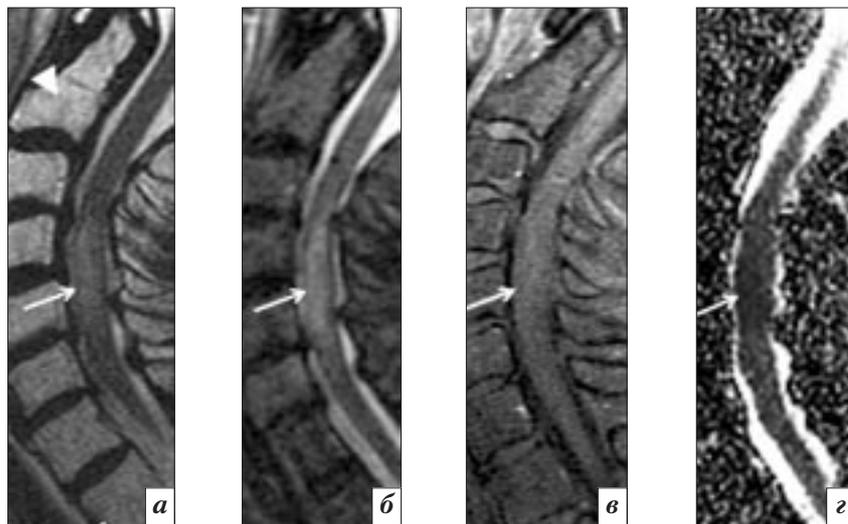


Рис. 4. МР-томограммы пациента 63 лет после курса лучевой терапии по поводу плоскоклеточного рака гортани: *a* – сагиттальный срез в режиме T2-ВИ, визуализируется гиперинтенсивный очаг на уровне тел $C_{VI}-C_V$ позвонков (на всех изображениях указан стрелками); *б* – в режиме STIR; *в* – без усиления интенсивности сигнала на постконтрастном T2-ВИ; *г* – ИКД-карта с низким средним значением ИКД.

В результате дифференциальной диагностики между поперечным миелитом, острой демиелинизацией, инфарктом спинного мозга, опухолью и инфекционным поражением пациенту выставлен диагноз инфаркта спинного мозга [42]

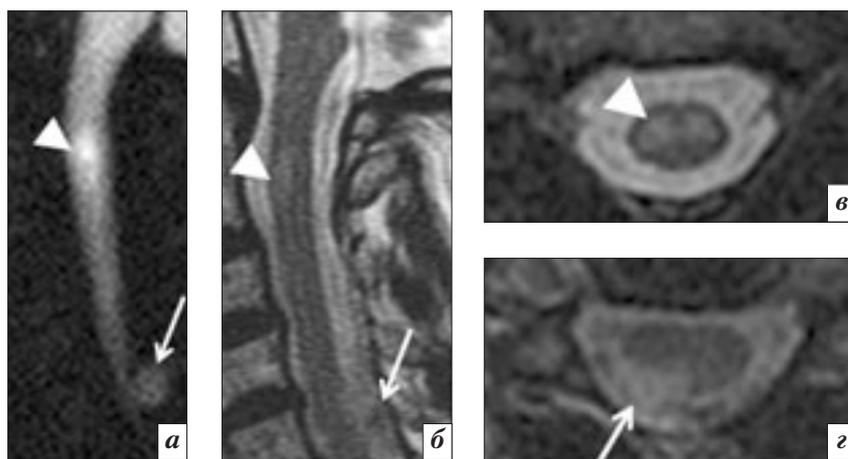


Рис. 5. МР-томограммы пациентки 59 лет с болезнью Крона и синдромом Хаммена–Рича: *a* – ИКД-карта, визуализируются гиперинтенсивный очаг на уровне тела C_{II} позвонка с высоким значением ИКД (на всех изображениях указано головкой стрелки), а также экстрамедуллярное образование с небольшим значением ИКД (на всех изображениях указано стрелкой); *б* – сагиттальный срез в режиме T2-ВИ; *в* – аксиальный срез в режиме T2-ВИ на уровне интрамедуллярного объемного образования; *г* – аксиальный срез в режиме T2-ВИ на уровне экстрамедуллярного объемного образования.

Несмотря на отсутствие гистологического исследования, вероятнее всего, интрамедуллярное образование на уровне тела C_{II} позвонка соответствовало инфаркту спинного мозга (на что указывает мгновенно развившийся квадрипарез), а гиперинтенсивный очаг на T2-ВИ экстрамедуллярного объемного образования соответствовал МР-семиотике шванномы [42]

щенные данной тематике. Поэтому дальнейшее изучение эффективности применения ДВ МРТ в диагностике опухолей не только спинного мозга, но и всей центральной нервной системы требует проведения крупномасштабных мультицентро-

вых исследований с уточнением всех возможностей данного метода инструментальной диагностики.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 14–32–00006).

Литература [References]

1. Пронин И.Н. Диагностика новообразований спинного мозга и позвоночника. *Вестник РОНЦ им. Н.Н. Блохина РАМН*. 2004; 1–2 (15): 31–7. [Pronin I.N. Diagnosis of tumors of the spinal cord and spine. *Journal of N.N. Blokhin Russian Cancer Research Center RAMS*. 2004; 1–2 (15): 31–7 (in Russ.).]
2. Бывальцев В.А., Сороковиков В.А., Дамдинов Б.Б., Бельх Е.Г., Середя Э.В., Панасенков С.Ю., Григорьев Е.Г. Факторы, влияющие на исход хирургического лечения экстрамедуллярных опухолей спинного мозга: мультицентровое исследование. *Журнал «Вопросы нейрохирургии» им. Н.Н. Бурденко*. 2014; 6: 15–23. [Byval'tsev V.A., Sorokovikov V.A., Daminov B.B., Belykh E.G., Sereda E.V., Panasenkov S.Yu., Grigor'ev E.G. Factors affecting the outcome of surgical management for extramedullary spinal cord tumors: a multicenter study. *Zhurnal "Voprosy Neurokhirurgii" imeni N.N. Burdenko*. 2014; 6: 15–23 (in Russ.).]
3. Шелкопьяс Э.Н. Некоторые аспекты диффузионно-взвешенной магнитно-резонансной томографии при очаговых поражениях печени. *Радиология – практика*. 2013; 1: 46–53. [Shelkoplyas E.N. Some aspects of diffusion-weighted magnetic resonance imaging in focal liver lesions. *Radiology – practice*. 2013; 1: 46–53 (in Russ.).]
4. Mosley M.E., Butts K., Yenary M.A., Marks M., De Crespigny A. Clinical aspects of DWI. *NMR Biomed*. 1995; 8: 387–96.
5. Mulkern R.V., Gudbjartsson H., Westin C.F., Zengingonul H.P., Gartner W., Guttmann C.R. et al. Multicomponent apparent diffusion coefficients in human brain. *NMR Biomed*. 1999; 12: 51–62.
6. Le Bihan D. Molecular diffusion, tissue microdynamics and microstructure. *NMR Biomed*. 1995; 8: 375–86.
7. Koh D.M., Collins D.J. Diffusion-weighted MRI in the body: applications and challenges in oncology. *Am. J. Roentgenol*. 2007; 188 (6): 1622–35.
8. Sugahara T., Korogi Y., Kochi M., Ikushima I., Shigematu Y., Hirai T. et al. Usefulness of diffusion-weighted MRI with echo-planar technique in the evaluation of cellularity in gliomas. *J. Magn. Reson. Imaging*. 1999; 9 (1): 53–60.
9. Calvar J.A., Meli F.J., Romero C., Calcagno M.L., Yáñez P., Martínez A.R. et al. Characterization of brain tumors by MRS, DWI and Ki-67 labeling index. *J. Neurooncol*. 2005; 72 (3): 273–80.
10. Chhabra A., Thakkar R.S., Andreisek G., Chalian M., Belzberg A.J., Blakeley J. et al. Anatomic MR imaging and functional diffusion tensor imaging of peripheral nerve tumors and tumorlike conditions. *Am. J. Neuroradiol*. 2013; 34 (4): 802–7.
11. Chen T.Y., Lai P.H., Ho J.T., Wang J.S., Chen W.L., Pan H.B. et al. Magnetic resonance imaging and diffusion-weighted images of cystic meningioma: correlating with histopathology. *Clin. Imaging*. 2004; 28 (1): 10–9.
12. Karaman A., Durur-Subasi I., Alper F. et al. Correlation of diffusion MRI with the Ki-67 index in non-small cell lung cancer. *Radiol. Oncol*. 2015; 49 (3): 250–5.
13. Tang Y., Dundamadappa S.K., Thangasamy S., Flood T., Moser R., Smith T. et al. Correlation of apparent diffusion coefficient with Ki67 proliferation index in grading meningioma. *Am. J. Roentgenol*. 2014; 202 (6): 1303–8.
14. Ginat D.T., Mangla R., Yeane G., Wang H.Z. Correlation of diffusion and perfusion MRI with Ki-67 in high-grade meningiomas. *Am. J. Roentgenol*. 2010; 195 (6): 1391–5.
15. Fatima Z., Motosugi U., Waqar A.B., Hori M., Ishigame K., Oishi N. et al. Associations among q-space MRI, diffusion-weighted MRI and histopathological parameters in meningiomas. *Eur. Radiol*. 2013; 23 (8): 2258–63.
16. Yildiz E., Gokce G., Kilicarslan H. et al. Prognostic value of the expression of Ki-67, CD44 and vascular endothelial growth factor, and microvessel invasion, in renal cell carcinoma. *BJU Int*. 2004; 93 (7): 1087–93.
17. Корниенко В.Н., Пронин И.Н. Диагностическая нейрорадиология. М.: Медицина; 2006: 35–46. [Kornienko V.N., Pronin I.N. Diagnostic neuroradiology. Moscow: Meditsina; 2006: 35–46 (in Russ.).]
18. Koral K., Kedziński R.M., Gimi B., Gomez A., Rollins N.K. Subependymoma of the cerebellopontine angle and prepontine cistern in a 15-year-old adolescent boy. *Am. J. Neuroradiol*. 2008; 29 (1): 190–1.
19. Rumboldt Z., Camacho D.L., Lake D., Welsh C.T., Castillo M. Apparent diffusion coefficient for differentiation of cerebellar tumors in children. *Am. J. Neuroradiol*. 2006; 27: 1362–9.
20. Tosun O., Turkoglu O.F., Ozmen E.K., Onursever A., Arslan H. Spinal tanyocytic ependymoma with diffusion restriction on MRI. *Acta Neurol. Belg*. 2012; 112: 77–80.
21. Holdsworth S.J., O'Halloran R., Yeom K., Aksoy M., Skare S., Bammer R. Diffusion weighted imaging of spinal tumors with reduced field of view EPI: Proceedings of the 19th Annual Meeting of the ISMRM, Montreal, Canada. 2011; Abstract 4291.
22. Oshiro S., Tsugu H., Komatsu F., Abe H., Onishi H., Ohmura T. et al. Quantitative assessment of gliomas by proton magnetic resonance spectroscopy. *Anticancer Res*. 2007; 27 (6A): 3757–63.
23. Kornienko V.N., Pronin I.N. Spine and spinal cord disorders. *Diagn. Neuroradiol*. 2009; Chapter 15: 1093–284.
24. She D., Yang X., Xing Z., Cao D. Differentiating hemangioblastomas from brain metastases using diffusion-weighted imaging and dynamic susceptibility contrast-enhanced perfusion-weighted MR imaging. *Am. J. Neuroradiol*. 2016; 37: 1844–50.
25. Plank C., Koller A., Mueller-Man C., Bammer R., Thurnher M.M. Diffusion-weighted MR imaging (DWI) in the evaluation of epidural spinal lesions. *Neuroradiology*. 2007; 49: 977–85.
26. Palasis S., Hayes L.L. Acquired pathology of the pediatric spine and spinal cord. *Pediatr. Radiol*. 2015; 45 (Suppl. 3): S420–32.
27. Wagner F., Berezowska S., Wiest R., Gralla J., Beck J., Rajeev K.V. et al. Primary intramedullary melanocytoma in the cervical spinal cord: case report and literature review. *Radiol. Case Rep*. 2015; 10 (1): 1–8.
28. Greenberg M.S. Handbook of neurosurgery. 6th Ed. London: Thieme; 2005: 506–20.
29. Thurnher M. Diffusion-weighted MR imaging (DWI) in two intradural spinal epidermoid cysts. *Neuroradiology*. 2012; 54: 1235–6.
30. Kukreja K., Manzano G., Ragheb J., Santiago M.L. Differentiation between pediatric spinal arachnoid and epidermoid-dermoid cysts: is diffusion-weighted MRI useful? *Pediatr. Radiol*. 2007; 37: 556–60.
31. Hori M., Motosugi U., Fatima Z., Ishigame K., Araki T. Mean displacement map of spine and spinal cord disorders using high b-value q-space imaging-feasibility study. *Acta Radiol*. 2011; 52: 1155–8.
32. Hayes L.L., Jones R.A., Palasis S., Aguilera D., Porter D.A. Drop metastases to the pediatric spine revealed with diffusion-weighted MR imaging. *Pediatr. Radiol*. 2012; 42: 1009–13.
33. Niwa T., Aida N., Tanaka M., Okubo J., Sasano M., Shishikura A. et al. Diffusion-weighted imaging of an atypical teratoid/rhabdoid tumor of the cervical spine. *Magn. Reson. Med. Sci*. 2009; 8 (3): 135–8.
34. Manzo G., Gennaro A., Cozzolino A., Martinelli E., Manto A. DWI findings in a iatrogenic lumbar epidermoid cyst. *Neuroradiol. J*. 2013; 26: 469–75.
35. Teksam M., Casey S.O., Michel E., Benson M., Truweit C.L. Intraspinal epidermoid cyst: diffusion-weighted MRI. *Neuroradiology*. 2001; 43 (7): 572–4.
36. Andre J.B., Bammer R. Advanced diffusion-weighted magnetic resonance imaging techniques of the human spinal cord. *Top Magn. Reson. Imaging*. 2010; 21 (6): 367–78.
37. Moritani T., Kim J., Capizzano A.A., Kirby P., Kademian J., Sato Y. Pyogenic and non-pyogenic spinal infections: emphasis on diffusion-weighted imaging for the detection of abscesses and pus collections. *Br. J. Radiol*. 2014; 87 (1041): 20140011.
38. Hood B., Wolfe S.Q., Trivedi R.A., Rajadhyaksha C., Green B. Intramedullary abscess of the cervical spinal cord in an otherwise healthy man. *World Neurosurg*. 2011; 76 (3–4): 15–9.
39. Byval'tsev V.A., Stepanov I.A., Kalinin A.A., Shashkov K.V. Diffusion weighted magnetic resonance tomography in the diagnosis of intervertebral disk degeneration. *Biomed. Engineering*. 2016; 50 (4): 253–6.
40. Van Everdingen K.J., van der Grond J., Kappelle L.J., Ramos L.M., Mali W.P. Diffusion-weighted magnetic resonance imaging in acute stroke. *Stroke*. 1998; 29 (9): 1783–90.
41. Lohrer T.J., Bassetti C.L., Lövblad K.O., Stepper F.P., Sturzenegger M., Kiefer C. et al. Diffusion-weighted MRI in acute spinal cord ischaemia. *Neuroradiology*. 2003; 45: 557–61.
42. Andre J.B., Zaharchuk G., Saritas E. Clinical evaluation of reduced field-of-view diffusion-weighted imaging of the cervical and thoracic spine and spinal cord. *Am. J. Neuroradiol*. 2012; 33 (10): 1860–6.