



ПРИМЕНЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ДИФФУЗИИ В ПРЕДОПЕРАЦИОННОЙ ОЦЕНКЕ ПРОЛИФЕРАТИВНОГО ПОТЕНЦИАЛА ОПУХОЛЕЙ ПОЗВОНОЧНОГО КАНАЛА

В.А. Бывальцев^{1, 2, 3, 4}, В.В. Ступак⁵, И.А. Степанов¹, А.И. Кичигин¹

¹Иркутский государственный медицинский университет, Иркутск, Россия

²Дорожная клиническая больница на ст. Иркутск-Пассажирский, Иркутск, Россия

³Иркутский научный центр хирургии и травматологии, Иркутск, Россия

⁴Иркутская государственная медицинская академия последипломного образования, Иркутск, Россия

⁵Новосибирский НИИ травматологии и ортопедии им. Я.Л. Цивьяна, Новосибирск, Россия

Цель исследования. Анализ и сопоставление полученных значений измеряемого коэффициента диффузии опухолей позвоночного канала с клеточной плотностью и индексом пролиферативной активности Ki-67.

Материал и методы. В исследование включены диффузионно-взвешенные изображения МРТ 36 пациентов с различными типами опухолей позвоночного канала. При морфологическом исследовании опухолей оценивали степень злокачественности по классификации ВОЗ, значение индекса Ki-67 и клеточную плотность.

Результаты. Средние значения измеряемого коэффициента диффузии экстрадуральных объемных образований $G = I-II$ и $G = III-IV$ составили $1390,0 \pm 94,8$ мм²/с и $821,3 \pm 111,1$ мм²/с соответственно, интрадуральных экстрамедуллярных $G = I-II$ — $1328,7 \pm 172,1$ мм²/с, $G = III$ — $957,6 \pm 50,7$ мм²/с, интрамедуллярных $G = I-II$ — $1604,6 \pm 28,7$ мм²/с, $G = III$ — $1066,5 \pm 74,2$ мм²/с. Для экстрадуральных опухолей $G = I-II$ индекс Ki-67 варьировал от 2 до 4 %, для $G = III-IV$ — от 12 до 27 %; для интрадуральных экстрамедуллярных опухолей $G = I-II$ — от 1 до 5 %, $G = III$ — от 7 до 11 %; для интрадуральных интрамедуллярных опухолей $G = I-II$ — от 2 до 6 %, для $G = III$ — от 7 до 19 %.

Заключение. Методика диффузионно-взвешенной МРТ с подсчетом измеряемого коэффициента диффузии может быть использована как дополнительный неинвазивный метод предоперационной оценки пролиферативного потенциала ряда опухолей позвоночного канала.

Ключевые слова: опухоли позвоночного канала, диффузионно-взвешенная МРТ, измеряемый коэффициент диффузии, клеточная плотность, Ki-67.

Для цитирования: Бывальцев В.А., Ступак В.В., Степанов И.А., Кичигин А.И. Применение коэффициента диффузии в предоперационной оценке пролиферативного потенциала опухолей позвоночного канала // Хирургия позвоночника. 2017. Т. 14. № 3. С. 93–99.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2017.3.93-99>.

APPLICATION OF THE APPARENT DIFFUSION COEFFICIENT IN PREOPERATIVE ASSESSMENT OF THE PROLIFERATIVE POTENTIAL OF SPINAL TUMORS V.A. Byvaltsev^{1, 2, 3, 4}, V.V. Stupak⁵, I.A. Stepanov¹, A.I. Kichigin¹

¹Irkutsk State Medical University, Irkutsk, Russia; ²Road Clinical Hospital at «Irkutsk-Passazhirskiy» station, Irkutsk, Russia;

³Irkutsk Scientific Centre of Surgery and Traumatology, Irkutsk, Russia;

⁴Irkutsk State Medical Academy of Continuing Education, Irkutsk, Russia; ⁵Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopaedics n.a. Ya.L. Tsvyvan, Novosibirsk, Russia

Objective. To analyze and compare the measured values of apparent diffusion coefficient (ADC) in tumors of the spinal canal with cell density and Ki-67 index of proliferative activity. **Material and Methods.** The study included diffusion-weighted MR images of 36 patients with different types of tumors of the spinal canal. In the morphological study of tumors, the degree of malignancy according to the WHO classification, the value of the Ki-67 index, and cell density were assessed. **Results.** The average ADC of the extradural tumors $G = I-II$ and $G = III-IV$ was 1390.0 ± 94.8 mm²/s and 821.3 ± 111.1 mm²/sec, respectively. For intradural extramedullary neoplasms $G = I-II$, the ADC was 1328.7 ± 172.1 mm²/sec, for $G = III$ — 957.6 ± 50.7 mm²/sec. Intradural tumors $G = I-II$ had an average ADC value of 1604.6 ± 28.7 mm²/sec, and tumors $G = III$ — 1066.5 ± 74.2 mm²/sec. For extradural tumors $G = I-II$, the Ki-67 index varied from 2 to 4 %, and for tumors $G = III-IV$ — from 12 to 27 %; in the group of intradural extramedullary tumors $G = I-II$ — from 1 to 5 %, for tumors $G = III$ — from 7 to 11 %; for intramedullary tumors $G = I-II$ — from 2 to 6 %, and for $G = III$ tumors — from 7 to 19 %. **Conclusion.** The diffusion-weighted MRI with ADC counting can be used as an additional non-invasive method for preoperative evaluation of the proliferative potential of a number of spinal canal tumors. **Key Words:** spinal canal tumors, diffusion-weighted MRI, apparent diffusion coefficient, diffusion-weighted image, cell density, Ki-67 index.

Please cite this paper as: Byvaltsev VA, Stupak VV, Stepanov IA, Kichigin AI. Application of the apparent diffusion coefficient in preoperative assessment of the proliferative potential of spinal tumors. Hir. Pozvonoc. 2017; 14(3):93–99. In Russian.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2017.3.93-99>.

Опухоли позвоночного канала включают в себя большую группу гетерогенных объемных образований. Для данной группы опухолей характерна высокая распространенность злокачественных форм, преимущественно за счет метастазов [2, 3]. На сегодняшний день методика МРТ представляет собой золотой стандарт в диагностике опухолей позвоночного канала [11]. Тем не менее многие объемные образования на стандартных T1- и T2-взвешенных изображениях (T1-, T2-ВИ) имеют схожие сигнальные характеристики, что значительно затрудняет дифференциальную диагностику и выбор адекватной тактики ведения пациентов [8, 14].

Диффузионно-взвешенная МРТ – это инструментальный метод, позволяющий получать изображения опухолевой ткани, взвешенные по диффузии 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 диффузионно-взвешенных изображений (ДВИ) [4].

Исследования, посвященные применению диффузионно-взвешенной МРТ при опухолях позвоночного канала, немногочисленны и во многом противоречивы. Ряд авторов отмечает [7, 12, 17], что для определенных гистологических типов опухолей характерна корреляционная зависимость между значением ИКД, их клеточной плотностью и значением индекса пролиферативной активности (Ki-67). Другие исследователи данной зависимости не обнаруживают [6, 19]. С учетом гистологического разнообразия опухолей позвоночного канала, а также высокой частоты метастатического поражения важно правильно оценивать пролиферативный потенциал объемного образования уже на этапе выполнения нейровизуализационного исследования, с целью планирования объема и вида хирургического вмешательства [1, 5, 18].

Цель исследования – анализ и сопоставление полученных значений ИКД опухолей позвоночного канала с клеточной плотностью и индексом пролиферативной активности Ki-67, оценка возможности применения диффузионно-взвешенной МРТ в комплексном изучении пролиферативного потенциала объемных образований данной группы опухолей.

Материал и методы

В исследование включены МРТ с ДВИ 36 пациентов с опухолями позвоночного канала, прооперированных в Центре нейрохирургии Дорожной клинической больницы на ст. Иркутск-Пассажирский в 2014–2017 гг. Среди пациентов 19 женщин и 17 мужчин, средний возраст $52,8 \pm 11,4$ года.

МРТ-изображения (T1-, T2-ВИ и ДВИ) получены с помощью аппарата «Siemens Magnetom Essenza 1,5 T» до и после введения контрастного вещества (рис. 1а–в). При исследовании в T1-ВИ использовали 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 применяли 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 . Использованы значения b-фактора, равные 400 и 800 с/мм^2 . Время сканирования в среднем составило 6 мин 30 с. ИКД вычисляли на ДВИ с наибольшим диаметром объемного образования, в область интереса не были включены кистозные и некротические зоны опухоли. Подсчет ИКД в программе «RadiAnt DICOM Viewer».

Во всех случаях удаление опухолей выполнено с максимально возможной степенью радикальности, с помощью микронейрохирургической техники и под увеличением операционного микроскопа. В ряде случаев при уда-

лении опухолей позвоночного канала использовали флуоресцентную навигацию с препаратом 5-аминолевулиновой кислоты в режиме визуализации «Blue-400», а также ультразвуковой деструктор-аспиратор, систему интраоперационного нейромониторинга и углекислотный лазер.

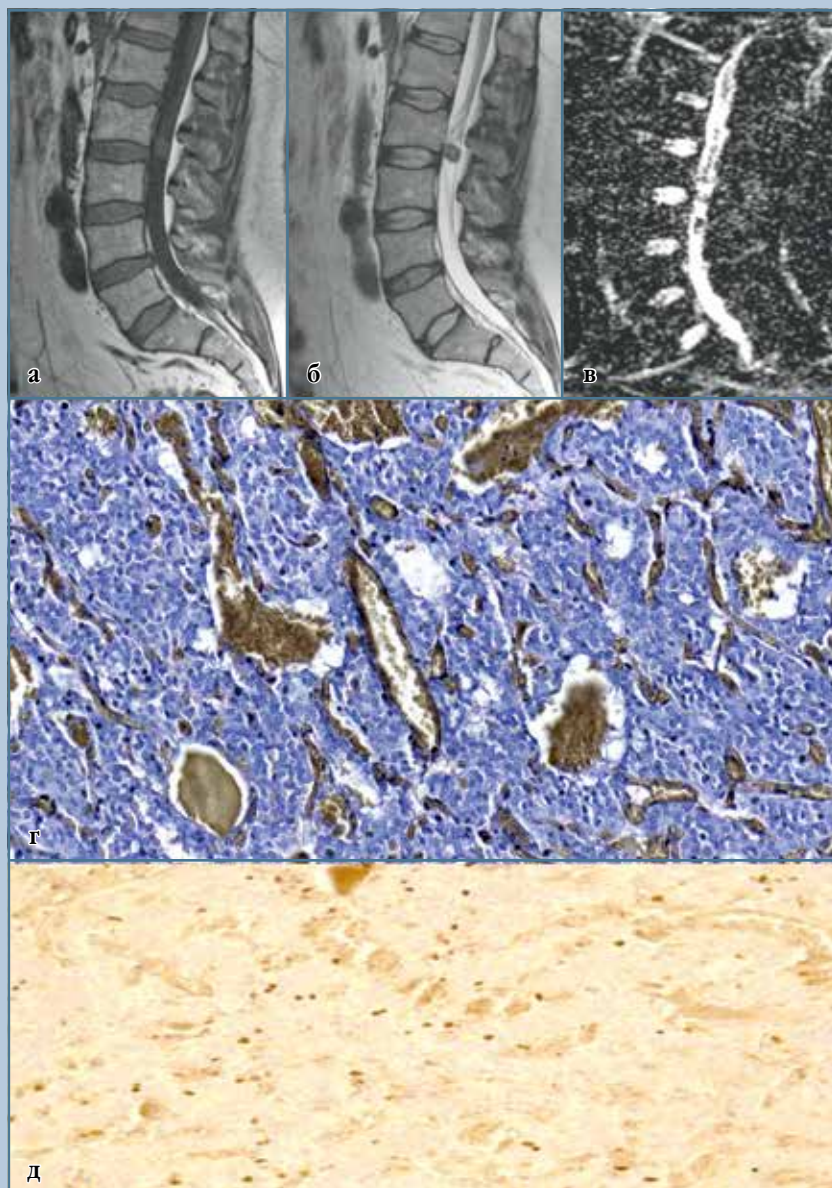
Все удаленные объемные образования исследованы опытным патоморфологом. При морфологическом исследовании опухолей оценивали следующие параметры: степень злокачественности по классификации ВОЗ, значение индекса пролиферативной активности Ki-67 с помощью моноклональных антител «MIB-1», а также клеточную плотность опухолевой ткани (рис. 1г, д). Подсчет клеточной плотности осуществляли в программе «Image J» при общем увеличении микроскопа в 400 раз, значение плотности выражали в виде клеток/ мм^2 .

Статистическую обработку данных проводили с помощью программного обеспечения «Microsoft Excel 2010». Все измерения проверены на нормальность тестом Колмогорова – Смирнова. Полученные данные оценены методами описательной статистики (абсолютными и относительными величинами). Категориальные переменные выражены в процентах. Сравнительный анализ значений ИКД выполняли с помощью U-теста Манна – Уитни. Для оценки корреляционной зависимости между значением ИКД опухолей, клеточной плотностью и значением индекса Ki-67 использовали коэффициент Спирмена. Порог значимости p выбран равным 0,05.

Исследование одобрено этическим комитетом Иркутского государственного медицинского университета. Все пациенты, включенные в исследование, дали письменное информированное согласие.

Результаты

Исходя из анатомического принципа, опухоли позвоночного канала представлены следующими типами: экстрадуральные ($n = 9$), интрадуральные экстрамедуллярные ($n = 22$) и интра-

**Рис. 1**

МРТ и патоморфологическая картина интрадурального экстрамедулярного объемного образования на уровне тела L₂ позвонка: **а** – T1-взвешенное изображение; **б** – T2-взвешенное изображение; **в** – диффузионно-взвешенное изображение с измеряемым коэффициентом диффузии, равным 978 мм²/с; **г** – световая микроскопия, окраска гематоксилин-эозином, картина гемангиобластомы (G = I), клеточная плотность 1372 клетки/мм³; **д** – окраска моноклональными антителами MIB-1, индекс пролиферативной активности Ki-67 = 3 %

дуральные интрамедулярные (n = 5). Гистологические варианты опухолей отображены в табл.

В группе экстрадуральных объемных образований средние зна-

чения ИКД для опухолей низкой (G = I–II) и высокой (G = III–IV) степеней злокачественности составили соответственно 1390,0 ± 4,8 мм²/с и 821,6 ± 111,1 мм²/с. При сравне-

нии средних значений ИКД получено достоверное различие между опухолями G = I–II и G = III–IV (p = 0,008; рис. 2а). В группе интрадуральных экстрамедулярных новообразований опухоли G = I–II имели среднее значение ИКД 1328,7 ± 172,1 мм²/с, а опухоли G = III – 957,6 ± 50,7 мм²/с. При сравнении средних значений ИКД между экстрамедулярными опухолями различной степени злокачественности также получено достоверное различие (p = 0,003; рис. 2б). Группа интрамедулярных опухолей G = I–II имела среднее значение ИКД 1604,6 ± 28,7 мм²/с, а опухоли G = III – 1066,5 ± 74,2 мм²/с. Сравнение средних значений ИКД для указанных групп опухолей не показало достоверных различий (p = 0,817; рис. 2в).

Клеточная плотность опухолей различной степени злокачественности варьировала в широких пределах: в группе экстрадуральных новообразований – от 895 до 1772 клеток/мм³ (среднее значение 1144,70 ± 353,10 клетки/мм³); в группе интрадуральных экстрамедулярных – от 862 до 1616 клеток/мм³ (среднее значение 1354,80 ± 186,01 клетки/мм³) и в группе интрадуральных интрамедулярных объемных образований – от 862 до 1616 клеток/мм³ (среднее значение 1254,6 ± 247,6 клетки/мм³). Во всех группах достоверных различий между клеточной плотностью опухолей различной степени злокачественности выявлено не было (p = 0,623; p = 0,471; p = 0,533 соответственно для экстрадуральных, интрадуральных экстрамедулярных и интрамедулярных объемных образований).

Индекс пролиферативной активности в различных группах опухолей также варьировал в широких пределах. Так, в группе экстрадуральных опухолей G = I–II составил от 2 до 4 % (среднее значение 2,80 ± 0,83 %), G = III–IV – от 12 до 27 % (среднее значение 19,75 ± 6,60 %); в группе интрадуральных экстрамедулярных опухолей G = I–II – от 1 до 5 % (среднее значение 2,90 ± 1,50 %), G = III – от 7 до 11 % (среднее значение 9,00 ± 2,80 %); в группе интрадураль-

Таблица

Гистологические варианты опухолей позвоночника

Тип опухоли	Степень злокачественности опухоли по классификации ВОЗ			
	G = I	G = II	G = III	G = IV
Экстрадуральные (n = 9)	Кавернозная гемангиома (n = 2), капиллярная гемангиома (n = 1), ангиомиолипома (n = 1)	Миксоидная липосаркома (n = 1)	Мезенхимальная хондросаркома (n = 1)	Метастазы аденокарциномы легких (n = 1), папиллярного рака щитовидной железы (n = 1) и плоскоклеточного рака предстательной железы (n = 1)
Инtradуральные экстрамедуллярные (n = 22)	Гемангиобластома (n = 3), невринома (n = 7), менинготелиоматозная менингиома (n = 2), фиброзная менингиома (n = 1), смешанная менингиома (n = 3)	Светлоклеточная менингиома (n = 1)	Папиллярная менингиома (n = 3), рабдоидная менингиома (n = 2)	—
Интрамедуллярные (n = 5)	Миксопапиллярная эпендимома (n = 1), пилоцитарная астроцитома (n = 1)	Протоплазматическая астроцитома (n = 1)	Плазмноклеточная миелома (n = 1), анapластическая эпендимома (n = 1)	—

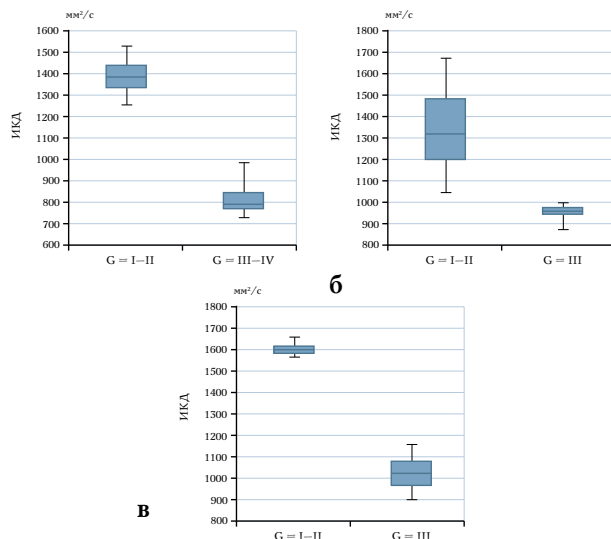


Рис. 2

Сравнение средних значений ($M \pm SD$) измеряемого коэффициента диффузии (ИКД) в опухолях различной степени злокачественности: **а** – между экстрадуральными опухолями $G = I-II/G = III-IV$ ($p = 0,008$); **б** – между интрадуральными экстрамедуллярными опухолями $G = I-II/G = III$ ($p = 0,003$); **в** – между интрамедуллярными опухолями $G = I-II/G = III$ ($p = 0,817$)

ных интрамедуллярных опухолей $G = I-II$ – от 2 до 6 % (среднее значение $2,3 \pm 0,57$ %) и для опухолей $G = III$ – от 7 до 19 % (среднее значение $7,8 \pm 7,35$ %). При сравнении средних значений Ki-67 между опухолями различной степени злокачественности получены достоверные различия в группах экстрадуральных и интрадуральных экстрамедуллярных объемных образований ($p = 0,007$; $p = 0,002$; рис. 3а, б).

Анализ корреляционной зависимости между значениями ИКД и клеточной плотностью в различных группах опухолей показал отсутствие статистически значимой зависимости. При оценке корреляции между ИКД и значениями индекса пролиферативной активности Ki-67 отмечена выраженная обратная корреляционная зависимость в группах экстрадуральных ($r = -0,88$; $p = 0,004$) и интрадуральных экстрамедуллярных опухолей ($r = -0,699$; $p = 0,0057$; рис. 4а–в).

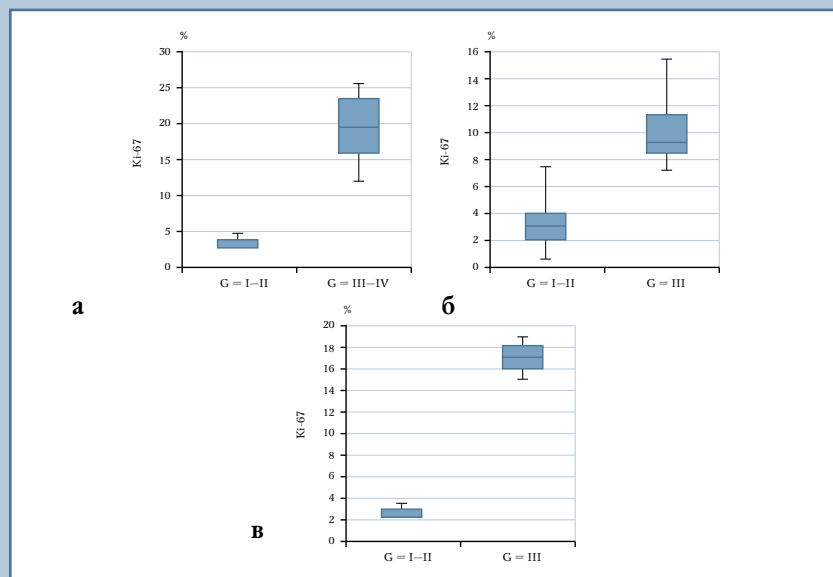


Рис. 3

Сравнение средних значений ($M \pm SD$) индекса Ki-67 в опухолях различной степени злокачественности: **а** – между экстрадуральными опухолями $G = I-II/G = III-IV$ ($p = 0,007$); **б** – между интрадуральными экстрамедуллярными опухолями $G = I-II/G = III$ ($p = 0,002$); **в** – между интрамедуллярными опухолями $G = I-II/G = III$ ($p = 0,633$)

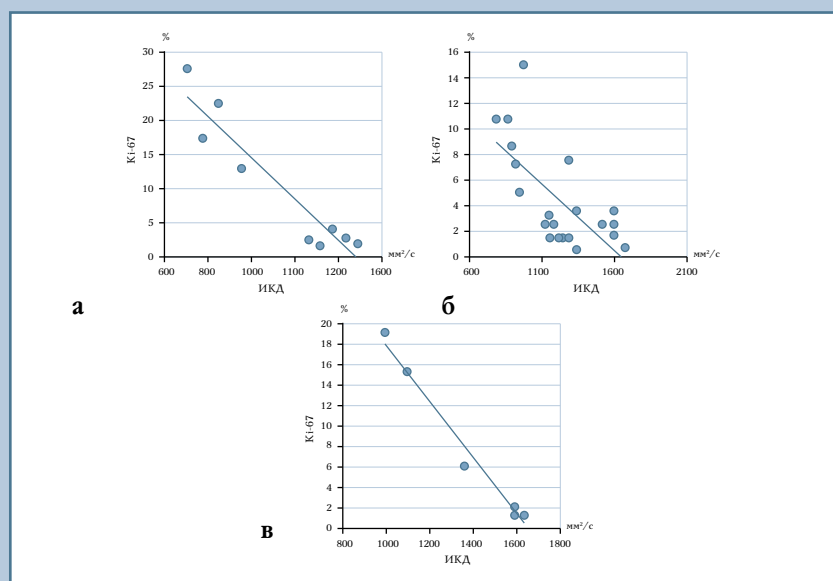


Рис. 4

Результаты анализа корреляционной зависимости между значениями измеряемого коэффициента диффузии (ИКД) и индексом Ki-67: **а** – для экстрадуральных опухолей ($r = -0,88$, $p = 0,004$); **б** – для интрадуральных экстрамедуллярных опухолей ($r = -0,699$, $p = 0,0057$); **в** – для интрамедуллярных опухолей ($r = -0,77$, $p = 0,648$)

Обсуждение

На сегодняшний день существует целый ряд исследований, посвященных применению диффузионно-взвешенной МРТ в дифференциальной диагностике различных опухолей. При этом результаты данных исследований трактуются неоднозначно. Так, в работе Hasan et. al [10] получены достоверные различия в значениях ИКД интрамедуллярных глиом низкой и высокой степеней злокачественности. Nakuyemez et al. [9] в своем наблюдении наглядно продемонстрировали, что значения ИКД типичических менингиом ($G = I$) головного мозга достоверно выше значений ИКД атипичических и анапластических менингиом ($G = II$, $G = III$). С другой стороны, Sanverdi et al. [15] при анализе данных менингиом головного мозга различной степени злокачественности не получили достоверных различий между ИКД. Аналогичные результаты в исследовании Pavlisa et al. [13].

При анализе данных мировой литературы выявлены единичные сообщения, посвященные исследованию корреляционной зависимости между значениями ИКД и Ki-67 для различных опухолей. В исследовании Karaman et al. [12] доказана выраженная обратная корреляционная зависимость между значениями ИКД и Ki-67 для немелкоклеточного рака легкого. Wang et al. [17] получили аналогичные результаты для эндокринных опухолей поджелудочной железы. С другой стороны, Wu et al. [19] не обнаружили зависимости между значениями ИКД и Ki-67 для диффузной В-крупноклеточной и фолликулярной лимфом. Для опухолей центральной нервной системы, в частности менингиом, также получены противоречивые результаты. Tang et al. [16] отмечают статистически значимую корреляцию между значениями ИКД и Ki-67 как в группе менингиом $G = I$, так и в группах менингиом $G = II$ и $G = III$. В сообщении Ginat et al. [7] достоверной корреляции между ИКД и Ki-67 для менингиом $G = III$ не отмечено. Fatima et. al. [6] также не обнаружили

достоверной корреляции между значением ИКД и Ki-67. На наш взгляд, такого рода неоднозначность полученных результатов можно объяснить различными подходами авторов исследований к методике подсчета ИКД по данным ДВИ.

Результаты нашего исследования во многом согласуются с данными мировой литературы. Средние значения ИКД опухолей низкой степени злокачественности достоверно выше ИКД опухолей высокой степени злокачественности, в частности в группах экстрадуральных и интрадуральных экстрамедуллярных объемных образований. Более того, для данных групп опухолей позвоночного канала характерна статистически значимая корреляционная зависимость между значениями ИКД и индексом пролиферативной активности Ki-67. Полученные данные позволяют предположить, что ИКД косвенно отражает патоморфологические изменения в ткани опухоли.

Основной целью настоящего исследования является применение ИКД в предоперационной оценке пролиферативного потенциала опухолей позвоночного канала. Наши результа-

ты позволяют предположить, что при значениях ИКД менее 900 мм²/с для экстрадуральных и менее 1000 мм²/с для интрадуральных экстрамедуллярных опухолей последние обладают высоким пролиферативным потенциалом. Как известно, пролиферативный потенциал – это необходимый фактор для роста опухоли, ее прогрессии, агрессивного поведения и метастазирования [20]. В связи с этим определение пролиферативного потенциала опухоли в предоперационном периоде имеет одно из первостепенных значений. Методика диффузионно-взвешенной МРТ с подсчетом ИКД позволяет оперирующему нейрохирургу еще на этапе предоперационной подготовки предположить природу опухолевого поражения, определить тактику ведения пациента (вид и объем оперативного вмешательства, степень хирургической агрессии, применение флуоресцентной навигации, необходимость интраоперационного нейромониторинга, химиолучевой терапии и т.д.) и прогноз для его жизни.

Данное исследование не лишено недостатков. Так, работа имеет ретроспективный характер, отмечается низкая репрезентативность выбор-

ки и малое количество рассмотренных злокачественных форм опухолей для каждой из групп. Для повышения достоверности получаемых результатов требуется проведение исследований на большем количестве пациентов, с комплексным анализом данных для всех типов опухолей позвоночного канала.

Заключение

Проведенное исследование наглядно показало, что значения ИКД и индекс пролиферативной активности Ki-67 у экстрадуральных и интрадуральных экстрамедуллярных опухолей имеют достоверные различия. Существует и корреляционная зависимость между значениями ИКД и Ki-67 для данных групп опухолей. Методика диффузионно-взвешенной МРТ с подсчетом ИКД может быть использована как дополнительный неинвазивный метод предоперационной оценки пролиферативного потенциала некоторых типов опухолей позвоночного канала.

Исследование не имело спонсорской поддержки. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Литература/References

1. **Бабчин И.С.** Опухоли спинного мозга // Злокачественные опухоли / Под ред. Н.Н. Петрова, С.А. Холдина. Т. 3. Ч. 1. Л., 1962. [Babchin IS. Spinal cord tumors. In: Malignant Tumors, ed. by N.N. Petrov, S.A. Kholdin. Vol. 3, Pt. 1. Leningrad, 1962. In Russian].
2. **Бывальцев В.А., Барза П.** Возможности хирургического лечения при метастазах в шейном отделе позвоночника // Хирургия позвоночника. 2009. № 1. С. 42–48. [Byvaltsev VA, Barza P. Capabilities of surgical treatment for cervical spine metastases. Hir Pozvonoc. 2009;(1):42–48. In Russian]. DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2009.1.42-48>.
3. **Бывальцев В.А., Сороковиков В.А., Дамдинов Б.Б., Белых Е.Г., Середа Э.В., Панасенков С.Ю., Григорьев Е.Г.** Факторы, влияющие на исход хирургического лечения экстрамедуллярных опухолей спинного мозга: мультицентровое исследование // Вопросы нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко. 2014. № 6. С. 15–23. [Byvaltsev VA, Sorokovikov VA, Daminov BB, Belykh EG, Sereda EV, Panasenkov SJu, Grigorev EG. Factors affecting the outcome of surgical management for extramedullary spinal cord tumors: a multicenter study. Zh Vopr Neirokhir Im N.N. Burdenko. 2014;(6):15–23. In Russian].
4. **Byvaltsev VA, Stepanov IA, Kalinin AA, Shashkov KV.** Diffusion-weighted magnetic resonance tomography in the diagnosis of intervertebral disk degeneration. Biomedical Engineering. 2016;50:253–256. DOI: [10.1007/s10527-016-9632-0](https://doi.org/10.1007/s10527-016-9632-0).
5. **Duong LM, McCarthy BJ, McLendon RE, Dolecek TA, Kruchko C, Douglas LL, Ajani UA.** Descriptive epidemiology of malignant and nonmalignant primary spinal cord, spinal meninges, and cauda equina tumors, United States, 2004–2007. Cancer. 2012;118:4220–4227. DOI: [10.1002/cncr.27390](https://doi.org/10.1002/cncr.27390).
6. **Fatima Z, Motosugi U, Waqar AB, Hori M, Ishigame K, Oishi N, Onodera T, Yagi K, Katoh R, Araki T.** Associations among q-space MRI, diffusion-weighted MRI and histopathological parameters in meningiomas. Eur Radiol. 2013;23:2258–2263. DOI: [10.1007/s00330-013-2823-0](https://doi.org/10.1007/s00330-013-2823-0).
7. **Ginat DT, Mangla R, Yeane G, Wang HZ.** Correlation of diffusion and perfusion MRI with Ki-67 in high-grade meningiomas. AJR Am J Roentgenol. 2010;195:1391–1395. DOI: [10.2214/AJR.10.4531](https://doi.org/10.2214/AJR.10.4531).
8. **Grimm S, Chamberlain MC.** Adult primary spinal cord tumors. Expert Rev Neurother. 2009;9:1487–1495. DOI: [10.1586/ern.09.101](https://doi.org/10.1586/ern.09.101).
9. **Hakymez B, Yildirim N, Gokalp G, Erdogan C, Parlak M.** The contribution of diffusion-weighted MR imaging to distinguishing typical from atypical meningiomas. Neuroradiology. 2006;48:513–520. DOI: [10.1007/s00234-006-0094-z](https://doi.org/10.1007/s00234-006-0094-z).
10. **Hasan DI, Abowarda MH, Taha MM.** Diffusion-weighted MRI and apparent diffusion coefficient value in assessment of intra-medullary spinal cord masses. Egypt J Radiology Nucl Med. 2016;47:1575–1584. DOI: [10.1016/j.ejrnm.2016.06.010](https://doi.org/10.1016/j.ejrnm.2016.06.010).

11. Hirano K, Imagama S, Sato K, Kato F, Yukawa Y, Yoshihara H, Kamiya M, Deguchi M, Kanemura T, Matsubara Y, Inoh H, Kawakami N, Takatsu T, Ito Z, Wakao N, Ando K, Tauchi R, Muramoto A, Matsuyama Y, Ishiguro N. Primary spinal cord tumors: review of 678 surgically treated patients in Japan. A multicenter study. *Eur Spine J.* 2012;21:2019–2026. DOI: 10.1007/s00586-012-2345-5.
12. Karaman A, Durur-Subasi I, Alper F, Araz O, Subasi M, Demirci E, Albayrak M, Polat G, Akgun M, Karabulut N. Correlation of diffusion MRI with the Ki-67 index in non-small cell lung cancer. *Radiol Oncol.* 2015;49:250–255. DOI: 10.1515/raon-2015-0032.
13. Pavlisa G, Rados M, Pazanin L, Padovan RS, Ozretic D, Pavlisa G. Characteristics of typical and atypical meningiomas on ADC maps with respect to schwannomas. *Clin Imaging.* 2008;32:22–27. DOI: 10.1016/j.clinimag.2007.07.007.
14. Samartzis D, Gillis CC, Shih P, O'Toole JE, Fessler RG. Intramedullary spinal cord tumors: Part I – Epidemiology, pathophysiology, and diagnosis. *Global Spine J.* 2015;5:425–435. DOI: 10.1055/s-0035-1549029.
15. Sanverdi SE, Ozgen B, Oguz KK, Mut M, Dolgun A, Soylemezoglu F, Cila A. Is diffusion-weighted imaging useful in grading and differentiating histopathological subtypes of meningiomas? *Eur J Radiol.* 2012;81:2389–2395. DOI: 10.1016/j.ejrad.2011.06.031.
16. Tang Y, Dundamadappa SK, Thangasamy S, Flood T, Moser R, Smith T, Cauley T, Takhtani D. Correlation of apparent diffusion coefficient with Ki-67 proliferation index in grading meningioma. *AJR Am J Roentgenol.* 2014;202:1303–1308. DOI: 10.2214/AJR.13.11637.
17. Wang Y, Chen ZE, Yaghmai V, Nikolaidis P, McCarthy RJ, Merrick L, Miller FH. Diffusion-weighted MR imaging in pancreatic endocrine tumors correlated with histopathologic characteristics. *J Magn Reson Imaging.* 2011;33:1071–1079. DOI: 10.1002/jmri.22541.
18. Weinstein JN, McLain RF. Primary tumors of the spine. *Spine.* 1987;12:843–851.
19. Wu X, Pertovaara H, Dastidar P, Vornanen M, Paavolainen I, Marjomaki V, Jarvenpaa R, Eskola H, Kellokumpu-Lehtinen PL. ADC measurements in diffuse large B-cell lymphoma and follicular lymphoma: a DWI and cellularity study. *Eur J Radiol.* 2013;82:e158–e164. DOI: 10.1016/j.ejrad.2012.11.021.
20. Yildiz E, Gokce G, Kilicarslan H, Ayan S, Goze OF, Gultekin EY. Prognostic value of the expression of Ki-67, CD44 and vascular endothelial growth factor, and microvessel invasion, in renal cell carcinoma. *BJU Int.* 2004;93:1087–1093. DOI: 10.1111/j.1464-410X.2004.04786.x.

Адрес для переписки:

Бывальцев Вадим Анатольевич
664082, Россия, Иркутск, а/я 62,
byval75vadim@yandex.ru

Address correspondence to:

Byvaltsev Vadim Anatolyevich
P.O.B. 62, Irkutsk, 664082, Russia,
byval75vadim@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 19.03.2017

Рецензирование пройдено 04.04.2017

Подписана в печать 12.04.2017

Received 19.03.2017

Review completed 04.04.2017

Passed for printing 12.04.2017

Вадим Анатольевич Бывальцев, д-р мед. наук, главный нейрохирург Департамента здравоохранения ОАО «РЖД», руководитель Центра нейрохирургии, Дорожная клиническая больница на ст. Иркутск-Пассажирский ОАО «РЖД»; заведующий курсом нейрохирургии, Иркутский государственный медицинский университет; заведующий научно-клиническим отделом нейрохирургии и ортопедии, Иркутский научный центр хирургии и травматологии; профессор кафедры травматологии, ортопедии и нейрохирургии, Иркутская государственная медицинская академия последипломного образования, Иркутск, Россия, byval75vadim@yandex.ru;

Вячеслав Владимирович Ступак, д-р мед. наук, проф., нейрохирург, заведующий отделением нейрохирургии № 1, Новосибирский НИИ травматологии и ортопедии им. Я.Л. Цивьяна, Новосибирск, Россия, niito@niito.ru;

Иван Андреевич Степанов, аспирант, Иркутский государственный медицинский университет, Иркутск, Россия, edmoilers@mail.ru;

Александр Иванович Кичигин, аспирант, Иркутский государственный медицинский университет, Иркутск, Россия, sam@211.ru.

Vadim Anatolyevich Byvaltsev, DMSc, Chief neurosurgeon of the Health Department of JSCo «Russian Railways», head of the Centre of Neurosurgery, Road Clinical Hospital at «Irkutsk-Passazhirskiy» station of JSCo «Russian Railways», director of the course of neurosurgery, Irkutsk State Medical University, head of scientific-clinical department of neurosurgery of the Irkutsk Scientific Centre of Surgery and Traumatology, Professor of the Department of Traumatology, Orthopaedics and Neurosurgery of Irkutsk State Medical Academy of Continuing Education, Irkutsk, Russia, byval75vadim@yandex.ru;

Vyacheslav Vladimirovich Stupak, DMSc, Prof., neurosurgeon, Head of Neurosurgical department No.1, Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopaedics n.a. Ya.L. Tsiyuan, Novosibirsk, Russia, niito@niito.ru;

Ivan Andreevich Stepanov, postgraduate student, Irkutsk State Medical University, Irkutsk, Russia, edmoilers@mail.ru;

Alexandr Ivanovich Kichigin, postgraduate student, Irkutsk State Medical University, Irkutsk, Russia, sam@211.ru.