

© Коллектив авторов, 2017

ВОЗМОЖНОСТИ ДИФфуЗИОННО-ВЗВЕШЕННОЙ МРТ В ОЦЕНКЕ СТЕПЕНИ ДЕГЕНЕРАЦИИ СМЕЖНОГО МЕЖПОЗВОНКОВОГО ДИСКА: РИГИДНАЯ ПОЯСНИЧНО-КРЕСТЦОВАЯ СТАБИЛИЗАЦИЯ И ТОТАЛЬНАЯ АРТРОПЛАСТИКА МЕЖПОЗВОНКОВЫХ ДИСКОВ

В.А. Бывальцев, И.А. Степанов, Ю.Я. Пестряков

ФГБОУ ВО «Иркутский государственный медицинский университет», НУЗ «Дорожная клиническая больница на ст. Иркутск-Пассажирский», ФГБНУ «Иркутский научный центр хирургии и травматологии», ФГБОУ ДПО «Иркутская государственная медицинская академия последипломного образования», Иркутск, РФ

Цель: оценить состояние смежных межпозвонковых дисков (МПД) после выполнения одноуровневой пояснично-крестцовой ригидной стабилизации и тотальной артропластики путем вычисления индекса высоты МПД и измеряемого коэффициента диффузии (ИКД).

Пациенты и методы. В исследование включено 117 пациентов (64 женщины и 53 мужчины), которым выполнена ригидная пояснично-крестцовая стабилизация или тотальная артропластика МПД на уровне L5–S1 по поводу его дегенеративного заболевания. Значения ИКД и высоты смежного МПД оценивали до операции, при выписке и в ходе контрольных обследований через 6, 12, 24 и 36 мес после оперативного вмешательства.

Результаты. Значение индекса высоты смежного МПД в группе ригидной стабилизации в раннем послеоперационном периоде в среднем составило $0,58 \pm 0,046$, через 6 мес — $0,58 \pm 0,044$ и спустя 36 мес — $0,52 \pm 0,037$, в группе тотальной артропластики — $0,59 \pm 0,041$, $0,60 \pm 0,038$ и $0,56 \pm 0,02$ соответственно. Сравнение индексов высоты смежного МПД между исследуемыми группами показало наличие статистически значимых различий, начиная с 12-го месяца наблюдения ($p < 0,05$). В группе ригидной стабилизации значение ИКД в раннем послеоперационном периоде составило $1547,6 \pm 231,4$ мм²/с, через 6 мес — $1314,5 \pm 117,9$ мм²/с, через 36 мес — $1189,3 \pm 117,9$ мм²/с, в группе тотальной артропластики — $1539,7 \pm 228,9$, $1477,3 \pm 245,1$ и $1334,5 \pm 217,6$ мм²/с. Статистически значимые различия значений ИКД смежного МПД в группах ригидной стабилизации и тотальной артропластики выявлялись по прошествии 6 и более месяцев наблюдения ($p < 0,05$).

Заключение. Диффузионно-взвешенная МРТ с подсчетом ИКД представляет собой современный неинвазивный метод диагностики ранних стадий дегенерации смежных МПД. Тотальная артропластика МПД, в отличие от пояснично-крестцовой ригидной стабилизации, позволяет несколько отсрочить дегенерацию смежных с оперированным уровнем сегментов.

Ключевые слова: ригидная пояснично-крестцовая стабилизация, тотальная артропластика межпозвонковых дисков, измеряемый коэффициент диффузии, индекс высоты межпозвонкового диска, дегенерация смежного межпозвонкового диска.

Potentialities of Diffusion Weighted MRI in the Assessment of the Degree of Adjacent Intervertebral Disc Degeneration: Rigid Lumbosacral Stabilization and Total Intervertebral Disc Arthroplasty

V.A. Byval'tsev, I.A. Stepanov, Yu.Ya. Pestryakov

Irkutsk State Medical University, Railway Clinical Hospital on the station Irkutsk-Passazhirskiy, Irkutsk Scientific Center of Surgery and Traumatology, Irkutsk State Medical Academy of Continuing Education, Irkutsk, Russia

Purpose: to evaluate the condition of adjacent intervertebral discs (IVD) after single level rigid lumbosacral stabilization and total arthroplasty by calculating IVD height index and apparent diffusion coefficient (ADC).

Patients and methods. The study included 117 patients (64 women and 53 men) after rigid lumbosacral stabilization or total arthroplasty of the degenerative IVD at L5–S1 level. Values of ADC and height of the adjacent IVD were assessed prior to surgery, at discharge and in 6, 12, 24 and 36 months after surgical intervention.

Results. The value of the height of the adjacent IVD in patients after rigid stabilization in the early postoperative period averaged 0.58 ± 0.046 , in 6 months — 0.58 ± 0.044 and 0.52 ± 0.037 in 36 months after surgery. In patients after total arthroplasty it made up 0.59 ± 0.041 , 0.60 ± 0.038 and 0.56 ± 0.02 , respectively. Comparison of the adjacent IVD height indices showed significant difference starting from the 12th observation months ($p < 0.05$). In group of patients after rigid stabilization the value of ADC made up 1547.7 ± 231.4 mm²/s in the early postoperative period, 1314.5 ± 117.9 mm²/s in 6 months and 1189.3 ± 117.9 mm²/s in 36 months after surgery. In patients after total arthroplasty it was 1539.7 ± 228.9 mm²/s, 1477.3 ± 245.1 mm²/s and 1334.5 ± 217.6 mm²/s, respectively. Statistically significant difference in ADC values between 2 groups of patients was noted in 6 months after surgery and later ($p < 0.05$).

Conclusion. Diffusion weighted MRI with ADC calculation is a modern noninvasive diagnostic method for early stages of adjacent IVD degeneration. In contrast to rigid lumbosacral stabilization, total IVD arthroplasty enables to delay slightly the degeneration of segments adjacent to the operated level.

Key words: rigid lumbosacral stabilization, total intervertebral disc arthroplasty, apparent diffusion coefficient, intervertebral disc height index, adjacent intervertebral disc degeneration.

Для цитирования: Бывальцев В.А., Степанов И.А., Пестряков Ю.Я. Возможности диффузионно-взвешенной МРТ в оценке степени дегенерации смежного межпозвонкового диска: ригидная пояснично-крестцовая стабилизация и тотальная артропластика межпозвонковых дисков. Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2017; 4: 18–24.

Cite as: Byval'tsev V.A., Stepanov I.A., Pestryakov Yu.Ya. Potentialities of diffusion weighted MRI in the assessment of the degree of adjacent intervertebral disc degeneration: rigid lumbosacral stabilization and total intervertebral disc arthroplasty. Vestnik travmatologii i ortopedii im. N.N. Priorova. 2017; 4: 18–24.

Введение. На сегодняшний день операция поясничной ригидной стабилизации, или спондилодеза, является наиболее распространенным методом хирургического лечения пациентов с дегенеративным заболеванием межпозвоночных дисков (МПД) пояснично-крестцового отдела позвоночника [1, 2]. Данный вид оперативного вмешательства позволяет устранить патологическую подвижность и нестабильность пораженных позвоночно-двигательных сегментов. Несмотря на большое количество исследований, подтверждающих высокую клиническую эффективность поясничной ригидной стабилизации, подобные операции не во всех случаях позволяют добиться удовлетворительных результатов у пациентов с дегенерацией поясничных МПД [3, 4]. Пожалуй, одной из основных причин неудовлетворительных исходов служит дегенерация смежных МПД [5–7]. В клинических исследованиях наглядно продемонстрировано, что выполнение операции поясничного спондилодеза по поводу дегенеративного заболевания МПД зачастую приводит к дегенерации смежных с оперированным уровнем МПД, обусловленной нарушением нормальной биомеханики позвоночно-двигательных сегментов [8–10]. Сохранить нормальную биомеханику сегментов позвоночника и отсрочить процесс дегенерации смежного МПД позволила методика тотальной артропластики МПД. Тотальная артропластика МПД — это современный альтернативный способ хирургического лечения дегенеративного заболевания МПД, целью которого является восстановление и поддержание физиологического объема движений позвоночно-двигательного сегмента [11].

К настоящему моменту известно несколько сообщений, посвященных изучению состояния смежных МПД после выполнения операции ригидной пояснично-крестцовой стабилизации и тотальной артропластики МПД. Большинство этих исследований основано на сравнении скорости наступления дегенерации смежных МПД путем сопоставления клинических (выраженность болевого синдрома в нижней части спины и качество жизни пациентов) и инструментальных (интенсивность сигнала от МПД на МР-томограммах, индекс высоты МПД и состояние костной ткани прилежащих тел позвонков) данных [3, 7, 17]. Однако при поиске источников литературы в базах данных PubMed, Medline и ELibrary по указанной тематике нами не обнаружено работ, посвященных оценке состояния смежных МПД после выполнения операции тотальной артропластики и ригидной пояснично-крестцовой стабилизации с использованием методики диффузионно-взвешенной МРТ (ДВ МРТ).

С помощью ДВ МРТ можно анализировать структуру МПД, мониторируя движение свободных молекул воды на клеточном уровне. При этом степень диффузии свободных молекул воды можно оценить с помощью количественной характеристики в виде измеряемого коэффициента диффузии (ИКД). Множество значений ИКД для данной ткани организма представляет собой

функциональную карту диффузионно-взвешенных изображений (ДВИ) [12]. Ранее с помощью гистологического и иммуногистохимического исследований нами доказана высокая чувствительность и специфичность методики ДВ МРТ в диагностике ранних стадий дегенеративного заболевания поясничных МПД [13].

Цель исследования: оценить состояние смежных МПД после выполнения одноуровневой пояснично-крестцовой ригидной стабилизации и тотальной артропластики путем вычисления индекса высоты МПД и значений ИКД.

ПАЦИЕНТЫ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования: одноцентровое ретроспективное когортное исследование.

Критерии соответствия. В исследование включены пациенты, которым выполнена ригидная пояснично-крестцовая стабилизация или тотальная артропластика МПД на уровне L5–S1 в связи с его дегенеративными изменениями. Выбор вида оперативного вмешательства определялся строгими индивидуальными показаниями (степень дегенерации поясничного МПД, наличие стеноза позвоночного канала и его тип, индекс высоты пораженного МПД, а также состояние смежного МПД).

Критерии исключения: возраст старше 55 лет, наличие оперативных вмешательств на позвоночнике в анамнезе, многоуровневое дегенеративное заболевание поясничных МПД, остеопороз, наличие активного инфекционного процесса и перенесенные травмы позвоночника.

Условия проведения и продолжительность. Исследование выполнено на базе Центра нейрохирургии НУЗ «Дорожная клиническая больницы на ст. Иркутск-Пассажирский» ОАО «РЖД-Медицина» в период с апреля 2015 г. по август 2017 г.

Описание медицинского вмешательства. Все пациенты прооперированы одной специализированной нейрохирургической бригадой. Тотальная артропластика поясничного МПД осуществлялась из переднего ретроперитонеального доступа с использованием минимально-инвазивного ретрактора Synframe («DePuy Synthes», Швейцария) и интраоперационного нейромониторинга Isis Iom («Inomed», Германия). При выполнении дорсальной ригидной пояснично-крестцовой стабилизации также применялись минимально инвазивные ретракторы и транскутанные винтовые системы различных фирм-производителей. Установка винтовой системы осуществлялась симультанно. Во всех случаях положение имплантатов контролировали с помощью интраоперационной флюороскопии (табл. 1).

МР-томограммы в режиме ДВИ (рис. 1, а) для всех пациентов получены на аппарате МРТ «Siemens Magnetom Essenza 1,5 T» (Германия). Исследования проведены при следующих параметрах опций ДВ МРТ с SE-эхопланарным изображением (EPI): матрица 160 128, TR–7500, TE–83, NEX–6, толщина среза 4 мм, FOV 30 30; значения

Табл. 1. Характеристика выполненных оперативных вмешательств

Вид операции	Уровень оперируемого сегмента	Количество пациентов	Хирургический доступ к позвоночнику	Применяемые имплантаты
Ригидная пояснично-крестцовая стабилизация	L5-S1	62	Дорсальный минимально инвазивный (mini-TLIF, mini-PLIF)	Открытые и транскутанные винтовые системы, кейджи различных фирм-производителей
Тотальная артропластика	L5-S1	55	Передний ретроперитонеальный	Протез МПД М6-L («Spinal Kinetics», Швейцария)



Рис. 1. Послеоперационные МР-томограммы пациентов спустя 6 мес после выполнения тотальной артропластики МПД L5-S1 (а, б) и ригидной пояснично-крестцовой стабилизации (в, г).

а — ДВИ, среднее значение ИКД $1408,7 \pm 412,4 \text{ мм}^2/\text{с}$; б, г — T2-взвешенное изображение, сагиттальный срез; в — ДВИ, среднее значение ИКД $227 \pm 230,3 \text{ мм}^2/\text{с}$.

б фактора 400 и $800 \text{ с}/\text{мм}^2$. Время сканирования в среднем составило 6 мин 30 с. У 9 пациентов до выполнения операции получены МР-томограммы в стандартных режимах и ДВИ с артефактами, что

связано с движением пациентов ввиду наличия выраженного болевого синдрома в нижней части спины. Во всех случаях после частичного купирования болевого синдрома медикаментозными и парахирургическими методами удалось получить МР-томограммы пояснично-крестцового отдела позвоночника. Подсчет ИКД и высоты смежного МПД (L4-L5) осуществляли с помощью программы «RadiAnt DICOM Viewer». Значения высоты смежного МПД рассчитывали на сагиттальных МР-томограммах по оригинальной методике К. Kim и соавт. [14] (рис. 1, б). Показатели ИКД и высоты смежного МПД оценивали до операции, при выписке и во время контрольных обследований, рекомендованных через 6, 12, 24 и 36 мес после оперативного вмешательства.

Этическая экспертиза. Исследование одобрено этическим комитетом ФГБОУ ВО «Иркутский государственный медицинский университет». Работа проводилась в соответствии с принципами надлежащей клинической практики и Хельсинкской декларации [15]. Перед началом исследования пациенты предоставили письменное информированное согласие.

Статистическая обработка данных выполнена с помощью программного обеспечения Microsoft Excel 2010. Полученные данные представлены в виде $M \pm SD$ (M — среднее значение, SD — стандартное отклонение) и сравнены с помощью t -теста для двух независимых групп. Для сравнения показателей в исследуемых группах при динамическом наблюдении использован парный t -тест. Порог значимости p выбран равным 0,05.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В исследование включено 117 пациентов (64 женщины и 53 мужчины). Группы ригидной пояснично-крестцовой стабилизации и тотальной артропластики МПД не имели статистически значимых различий по основным признакам: возрасту, полу, индексу массы тела, а также длительности послеоперационного наблюдения (табл. 2).

Полученные значения индекса высоты и ИКД МПД сравнивались внутри каждой группы и между исследуемыми группами пациентов (табл. 3, 4). Так, при сравнении значений индекса высоты смежного МПД внутри групп выявлено статистически значимое различие с 24 и более месяцев наблюдения ($p < 0,05$). Сравнение индексов высоты смежного МПД между исследуемыми группами также показало наличие различий с 12-го месяца наблюдения (рис. 2, а; $p < 0,05$). Значения ИКД

Табл. 2. Характеристика пациентов

Показатель	Ригидная стабилизация	Тотальная артропластика	p
Пол:			0,61
М	35	39	
Ж	27	16	
Возраст, годы	44,53±8,12	38,16±7,66	0,47
Индекс массы тела, кг/м ²	23,56±3,27	21,46±2,43	0,18
Срок наблюдения, мес	37,19±1,13	38,64±2,38	0,23

Табл. 3. Показатели индекса высоты и ИКД смежного МПД в группе ригидной стабилизации

Срок наблюдения	Индекс высоты смежного МПД	ИКД смежного МПД, мм ² /с
Ранний послеоперационный период	0,58±0,046	1547,6±231,4
6 мес	0,58±0,044	1314,5±117,9
12 мес	0,56±0,041	1272,7±114,6*
24 мес	0,53±0,039*	1218,4±115,3*
36 мес	0,52±0,037*	1189,3±117,9*

Примечание. Здесь и в табл. 4: * — статистически значимые различия относительно показателей раннего послеоперационного периода при $p < 0,05$.

Табл. 4. Показатели индекса высоты и ИКД смежного МПД в группе тотальной артропластики

Срок наблюдения	Индекс высоты смежного МПД	ИКД смежного МПД, мм ² /с
Ранний послеоперационный период	0,59±0,041	1539,7±228,9
6 мес	0,60±0,038	1477,3±245,1
12 мес	0,58±0,034	1453,7±224,8*
24 мес	0,56±0,019*	1369,4±198,5*
36 мес	0,56±0,028*	1334,5±217,6*

смежного МПД внутри групп стали статистически значимо различаться, начиная с 12-го месяца ($p < 0,05$), между группами — по прошествии 6 мес наблюдения (рис. 2, б; $p < 0,05$).

ОБСУЖДЕНИЕ

По данным различных авторов, встречаемость дегенерации смежного МПД после операции поясничного/пояснично-крестцового спондилодеза при сроке наблюдения не менее 10 лет составляет 10–36,1% [16, 17]. При аналогичном периоде наблюдения частота развития дегенерации смежного сегмента после тотальной артропластики поясничных МПД варьирует от 5,7 до 14,4% [18, 19]. Эти данные позволяют нам предположить, что в отдаленном периоде послеоперационного наблюдения (не менее 5–10 лет) встречаемость дегенеративного заболевания смежных МПД после выполнения тотальной артропластики и спондилодеза практически сопоставима.

Как известно, дегенеративное заболевание МПД — это мультифакториальный процесс, в который одновременно вовлечены генетические, биомеханические, клеточные и молекулярные механизмы.

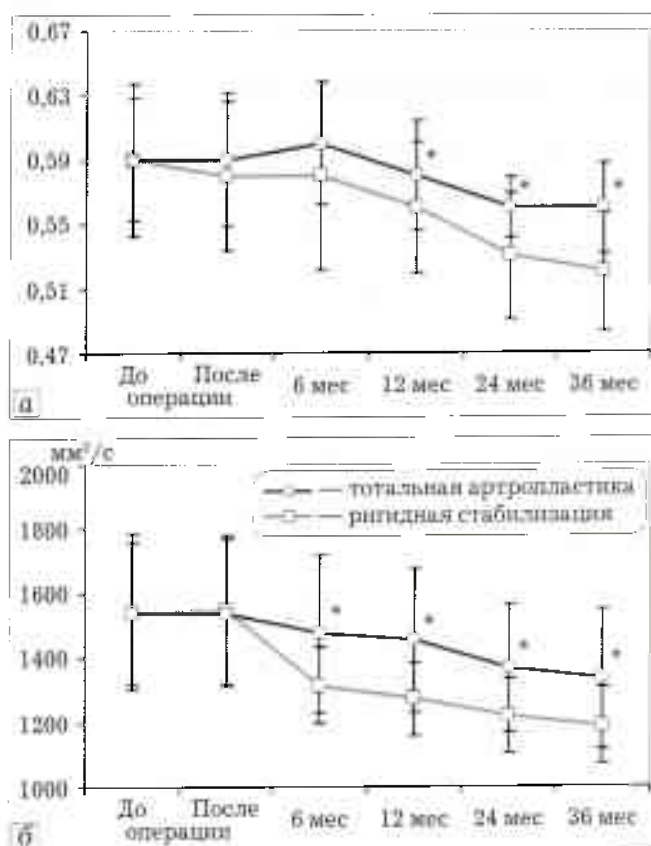


Рис. 2. Значения индекса высоты смежного МПД (а) и ИКД смежного МПД (б) в динамике наблюдения ($M \pm SD$).

* — статистически значимые различия между группами при $p < 0,05$.

И утверждение о том, что дегенерация смежных МПД обусловлена лишь механическими факторами, является, по меньшей мере, некорректным.

На сегодняшний день ожирение является доказанным фактором риска развития дегенерации поясничных МПД [20]. Это утверждение в полной мере справедливо и в отношении дегенеративного поражения смежных МПД после выполнения ригидной поясничной/пояснично-крестцовой стабилизации, которое, согласно данным Н. Wang и соавт. [21], чаще встречалось у пациентов со значениями индекса массы тела более 25 кг/м². Другим, не менее важным фактором риска развития дегенерации смежных МПД, является наличие признаков его дегенеративного поражения в предоперационном периоде [22]. Молекулярно-генетические факторы также вносят весомый вклад в развитие дегенерации МПД, однако большая часть результатов исследований, посвященных данной проблеме, основана на экспериментальных данных и по-прежнему остается одним из основных предметов поиска фундаментальных наук [23]. Отдельно стоит упомянуть о влиянии биомеханического фактора на развитие дегенерации смежных МПД. Дегенерация смежных МПД после выполнения ригидной стабилизации обусловлена нарушением нормальной биомеханики позвоночно-двигательных сегментов, увеличением нагрузки на близлежащие МПД и дугоотростчатые суставы [24, 25]. Так, в клинической серии

P. Guigui и соавт. [26] отмечено, что скорость дегенерации поясничных МПД смежных с уровнем спондилодеза достоверно выше. Кроме того, некоторые экспериментальные биомеханические исследования также подтверждают развитие дегенерации смежных МПД после выполнения операции ригидной поясничной/пояснично-крестцовой стабилизации [27, 28]. В других исследованиях данная операция не привела к регрессу болевого синдрома и неврологической симптоматики, несмотря на успешно выполненное оперативное вмешательство [29, 30]. В конечном итоге авторы исследования пришли к общему заключению, что операция поясничного/пояснично-крестцового спондилодеза в большинстве случаев приводит к развитию дегенеративного заболевания смежных МПД при периоде послеоперационного наблюдения не менее 5–10 лет.

Дегенерация смежных МПД после выполнения тотальной артропластики, как правило, развивается в отдаленном периоде послеоперационного наблюдения. В доступной нам отечественной и зарубежной литературе мы не обнаружили сообщений, посвященных изучению причин дегенерации смежных МПД после подобных вмешательств. Тем не менее большинство авторов сходится во мнении, что пусковым механизмом в развитии данного заболевания является гетеротопическая оссификация, т.е. формирование неполноценной костной ткани в атипичных местах организма [31]. В результате появления очагов костных гетеротопий с течением времени протезированный позвоночно-двигательный сегмент «замыкается», и в таком состоянии протез уже не может выполнять свою основную функцию — обеспечивать нормальную амплитуду движений в оперированном сегменте. В итоге замкнутый сегмент изменяет биомеханику всего отдела позвоночника и становится причиной увеличения нагрузки на смежные сегменты и развития дегенерации МПД [31–34]. Безусловно, не стоит забывать и о других факторах риска развития дегенерации, которые также вносят свой вклад в развитие данного патологического состояния.

Принято считать, что дегидратация пульпозного ядра МПД — это один из ранних МР-признаков дегенеративного заболевания МПД, что находит свое отражение в виде гипоинтенсивного сигнала на T2-взвешенных изображениях [35]. Однако не во всех случаях интенсивность сигнала, получаемая от МПД на T2-взвешенных изображениях, позволяет судить о сохранности его структуры. По этой причине нами разработана и обоснована методика диагностики ранних стадий дегенерации МПД с использованием ДВ МРТ [12, 13]. В качестве дополнительного критерия оценки состояния смежного МПД в настоящем исследовании использован индекс высоты МПД. Среди работ, посвященных изучению дегенерации смежного МПД после ригидной поясничной/пояснично-крестцовой стабилизации и протезирования МПД,

особого внимания заслуживает исследование Z. Li и соавт. [36]. Авторы доказали, что при длительности наблюдения за пациентами не менее 24 мес индекс высоты смежного МПД статистически значимо выше в группе тотальной артропластики МПД. При сравнении данного параметра спустя 6 и 12 мес после операции достоверных различий не отмечено. Работ, посвященных изучению состояния смежных МПД после выполнения операции поясничного/пояснично-крестцового спондилодеза и тотальной артропластики МПД, нами не обнаружено. Тем не менее стоит отметить работу D. Noriega и соавт. [37], целью которой было изучить состояние смежных МПД при тораколюмбальной травме позвоночника. Исследователи показали, что в отдаленном периоде перенесенной травмы позвоночника методика ДВ МРТ с подсчетом значений ИКД характеризуется высокой чувствительностью и специфичностью в ранней диагностике дегенерации смежных МПД.

К настоящему моменту доказано, что протекающие в МПД патофизиологические процессы и изменения его микроструктуры находят свое косвенное отражение в получаемых значениях ИКД. Так, в исследовании M. Giers и соавт. [38] доказано, что значения ИКД крайне чувствительны к изменению нутритивного транспорта в МПД. Более того, изменения ИКД тесно связаны с деградацией компонентов внеклеточного матрикса пульпозного ядра и фиброзного кольца, что подтверждается данными иммуногистохимического анализа трупных МПД человека [13, 39]. Учитывая вышеизложенное, применение ДВ МРТ в подсчете ИКД в диагностике ранних стадий дегенерации смежных МПД представляется нам доступным и весьма перспективным методом инструментальной диагностики.

Ограничения исследования. Безусловно, настоящее исследование имеет ряд недостатков: 1) в исследовании включено небольшое количество респондентов, что не могло не отразиться на результатах статистического анализа; 2) было изучено состояние смежных МПД лишь на одном уровне (L4–L5); 4) небольшой период наблюдения за пациентами (36 мес); 5) при оценке степени дегенерации смежных МПД не использовались другие методы диагностики (шкала C. Pfirrmann и соавт. [35], гистологическое, иммуногистохимическое и биохимическое исследования), что также могло повлиять на полученные результаты.

Заключение. Проведенное исследование показало, что ДВ МРТ с подсчетом ИКД представляет собой современный неинвазивный метод диагностики ранних стадий дегенерации смежных МПД. Основываясь на полученных нами данных, можно говорить о том, что тотальная артропластика МПД, в отличие от пояснично-крестцовой ригидной стабилизации, позволяет несколько отсрочить дегенерацию смежных с оперированным уровнем сегментов. Однако для более объективной оценки эффективности применения методики ДВ МРТ в диагностике дегенеративного заболевания смеж-

ного МПД необходимо проведение крупных многоцентровых исследований на большем количестве пациентов с использованием нескольких методов диагностики данного патологического состояния и сопоставлением полученных результатов.

Конфликт интересов: не заявлен.

ЛИТЕРАТУРА | REFERENCES

1. Belykh E., Krutko A.V., Baykov E.S. et al. Preoperative estimation of disc herniation recurrence after microdiscectomy: predictive value of a multivariate model based on radiographic parameters. *Spine J.* 2017; 17 (3): 390-400. doi: 10.1016/j.spinee.2016.10.011.
2. Abbasi H., Abbasi A. Oblique lateral lumbar interbody fusion (OLLIF): technical notes and early results of a single surgeon comparative study. *Cureus.* 2015; 7: e351. doi: 10.7759/cureus.351.
3. Yang Y., Hong Y., Liu H. et al. Comparison of clinical and radiographic results between isobar posterior dynamic stabilization and posterior lumbar inter-body fusion for lumbar degenerative disease: A four-year retrospective study. *Clin. Neurol. Neurosurg.* 2015; 136: 100-6. doi: 10.1016/j.clineuro.2015.06.003.
4. Korovessis P., Koureas G., Zacharatos S. et al. Correlative radiological, self-assessment and clinical analysis of evolution in instrumented dorsal and lateral fusion for degenerative lumbar spine disease. Autograft versus coralline hydroxyapatite. *Eur. Spine J.* 2005; 14 (7): 630-8.
5. Soh J., Lee J.C., Shin B.J. Analysis of risk factors for adjacent segment degeneration occurring more than 5 years after fusion with pedicle screw fixation for degenerative lumbar spine. *Asian Spine J.* 2013; 7 (4): 273-81. doi: 10.4184/asj.2013.7.4.273.
6. Schmoelz W., Erhart S., Unger S. et al. Biomechanical evaluation of a posterior non-fusion instrumentation of the lumbar spine. *Eur. Spine J.* 2012; 21 (5): 939-45. doi: 10.1007/s00586-011-2121-y.
7. Mattei T.A., Beer J., Teles A.R. et al. Clinical outcomes of total disc replacement versus anterior lumbar interbody fusion for surgical treatment of lumbar degenerative disc disease. *Global Spine J.* 2017; 7 (5): 452-9. doi: 10.1177/2192568217712714.
8. Chou W.Y., Hsu C.J., Chang W.N. et al. Adjacent segment degeneration after lumbar spinal posterolateral fusion with instrumentation in elderly patients. *Arch. Orthop. Trauma Surg.* 2002; 122: 39-43.
9. Kumar M., Baklanov A., Chopin D. Correlation between sagittal plane changes and adjacent segment degeneration following lumbar spine fusion. *Eur. Spine J.* 2001; 10: 314-9.
10. Kim K.H., Lee S.H., Shim C.S. et al. Adjacent segment disease after interbody fusion and pedicle screw fixations for isolated L4-L5 spondylolisthesis: a minimum five-year follow-up. *Spine (Phila Pa 1976).* 2010; 9: 625-34.
11. Cunningham B.W., Dmitriev A.E., Hu N. General principles of total disc replacement arthroplasty: seventeen cases in a nonhuman primate model. *Spine (Phila Pa 1976).* 2003; 28: 118-24.
12. Belykh E., Kalinin A.A., Patel A.A. et al. Apparent diffusion coefficient maps in the assessment of surgical patients with lumbar spine degeneration. *PloS One.* 2017; 12 (8): e0183697. doi: 10.1371/journal.pone.0183697.
13. Бывальцев В.А., Колесников С.И., Бельх Е.Г. и др. Комплексный анализ диффузионного транспорта и микроструктуры межпозвоночного диска. Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. 2017; 164 (8): 255-61 [Byval'tsev V.A., Kolesnikov S.I., Belykh E.G., et al. Complex analysis of diffusion transport and microstructure of an intervertebral disk. *Bulletin of experimental biology and medicine.* 2017; 164 (8): 255-61 (in Russian)].
14. Kim K.T., Park S.W., Kim Y.B. Disc height and segmental motion as risk factors for recurrent lumbar disc herniation. *Spine (Phila Pa 1976).* 2009; 34 (24): 2674-8. doi: 10.1097/BRS.0b013e3181b4aaac.
15. Williams J.R. The Declaration of Helsinki and public health. *Bull. World Health Organ.* 2008; 86 (8): 650-2.
16. Ghiselli G., Wang J.C., Bhatia N.N. et al. Adjacent segment degeneration in the lumbar spine. *J. Bone Joint Surg. Am.* 2004; 86-A (7): 1497-1503.
17. Bydon M., Macki M., De la Garza-Ramos R. et al. Incidence of adjacent segment disease requiring reoperation after lumbar laminectomy without fusion: a study of 398 patients. *Neurosurgery.* 2016; 78 (2): 192-9. doi: 10.1227/NEU.0000000000001007.
18. Lu S., Hai Y., Kong C. et al. An 11-year minimum follow-up of the Charite III lumbar disc replacement for the treatment of symptomatic degenerative disc disease. *Eur. Spine J.* 2015; 24 (9): 2056-64. doi: 10.1007/s00586-015-3939-5.
19. Siepe C.J., Heider F., Wiechert K. et al. Mid- to long-term results of total lumbar disc replacement: a prospective analysis with 5- to 10-year follow-up. *Spine J.* 2014; 14 (8): 1417-31. doi: 10.1016/j.spinee.2013.08.028.
20. Ou C.Y., Lee T.C., Lee T.H. et al. Impact of body mass index on adjacent segment disease after lumbar fusion for degenerative spine disease. *Neurosurgery.* 2015; 76 (4): 396-401. doi: 10.1227/NEU.0000000000000627.
21. Wang H., Ma L., Yang D. et al. Incidence and risk factors of adjacent segment disease following posterior decompression and instrumented fusion for degenerative lumbar disorders. *Medicine (Baltimore).* 2017; 96 (5): e6032. doi: 10.1097/MD.00000000000006032.
22. Liang J., Dong Y., Zhao H. Risk factors for predicting symptomatic adjacent segment degeneration requiring surgery in patients after posterior lumbar fusion. *J. Orthop. Surg Res.* 2014; 9: 97. doi: 10.1186/s13018-014-0097-0.
23. Бывальцев В.А., Бельх Е.Г., Степанов И.А. и др. Цитокиновые механизмы дегенерации межпозвоночного диска. Сибирский медицинский журнал. 2015; 6: 5-11 [Byval'tsev V.A., Belykh E.G., Stepanov I.A., et al. Cytokine's mechanisms of intervertebral disc degeneration. *Sibirskiy meditsinskiy zhurnal.* 2015; 6: 5-11 (in Russian)].
24. Kim H.J., Kang K.T., Chun H.J. et al. The influence of intrinsic disc degeneration of the adjacent segments on its stress distribution after onelevel lumbar fusion. *Eur. Spine J.* 2015; 24 (4): 827-37. doi: 10.1007/s00586-014-3462-0.
25. Cheh G., Bridwell K.H., Lenke L.G. et al. Adjacent segment disease following lumbar/thoracolumbar fusion with pedicle screw instrumentation: a minimum 5-year follow-up. *Spine (Phila Pa 1976).* 2007; 32: 2253-7.
26. Guigui P., Wodecki P., Bizot P. et al. Long-term influence of associated arthrodesis on adjacent segments in the treatment of lumbar stenosis: a series of 127 cases with 9- year follow-up. *Rev. Chir. Orthop. Reparatrice Appar. Mot.* 2000; 86 (6): 546-57 (in French).
27. Axelsson P., Johnsson R., Strömqvist B. The spondylolytic vertebra and its adjacent segment. Mobility measured before and after posterolateral fusion. *Spine (Phila Pa 1976).* 1997; 22 (4): 414-7.
28. Bjarke C.F., Stender H.E., Laursen M. et al. Long-term functional outcome of pedicle screw instrumentation as a support for posterolateral spinal fusion: randomized clinical study with a 5-year follow-up. *Spine (Phila Pa 1976).* 2002; 27 (12): 1269-77.
29. Fritzell P., Hagg O., Wessberg P. et al. Chronic low back pain and fusion: a comparison of three surgical tech-

- niques: a prospective multicenter randomized study from the Swedish lumbar spine study group. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2002; 27 (11): 1131-41.
30. Fairbank J., Frost H., Wilson-MacDonald J. Randomised controlled trial to compare surgical stabilisation of the lumbar spine with an intensive rehabilitation programme for patients with chronic low back pain: the MRC spine stabilisation trial. *BMJ*. 2005; 330 (7502): 1233.
 31. Park S.J., Kang K.J., Shin S.K. et al. Heterotopic ossification following lumbar total disc replacement. *Int. Orthop*. 2011; 35 (8): 1197-201. doi: 10.1007/s00264-010-1095-4.
 32. Frelinghuysen P., Huang R.C., Girardi F.P., Cammisa F.P. Jr. Lumbar total disc replacement part I: rationale, biomechanics, and implant types. *Orthop. Clin. North Am.* 2005; 36 (3): 293-9. doi: 10.1016/j.ocl.2005.02.014.
 33. Fernstrom U. Arthroplasty with intercorporeal endoprosthesis in herniated disc and in painful disc. *Acta Chir. Scand. Suppl.* 1966; 357: 154-9.
 34. Siepe C.J., Mayer H.M., Wiechert K., Korge A. Clinical results of total lumbar disc replacement with ProDisc II: three-year results for different indications. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2006; 31 (17): 1923-32. doi: 10.1097/01.brs.0000228780.06569.e8.
 35. Pfirrmann C., Metzdorf A., Zanetti M. et al. Magnetic resonance classification of lumbar intervertebral disc degeneration. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2001; 26 (17): 1873-8.
 36. Li Z., Li F., Yu S. et al. Two-year follow-up results of the Isobar TTL Semi-Rigid Rod System for the treatment of lumbar degenerative disease. *J. Clin. Neurosci.* 2012; 20 (3): 394-9. doi: 10.1016/j.jocn.2012.02.043.
 37. Noriega D.C., Marcia S., Ardura F. et al. Diffusion-weighted MRI assessment of adjacent disc degeneration after thoracolumbar vertebral fractures. *Cardiovasc. Intervent. Radiol.* 2016; 39 (9): 1306-14. doi: 10.1007/s00270-016-1369-3.
 38. Giers M.B., Munter B.T., Eyster K.J. et al. biomechanical and endplate effects on nutrient transport in the intervertebral disc. *World Neurosurg.* 2017; 99: 395-402. doi: 10.1016/j.wneu.2016.12.041.
 39. Бывальцев В.А., Степанов И.А., Семенов А.В. и др. Возможности диагностики давности наступления смерти по изменениям в поясничных межпозвоноковых дисках (сопоставление морфологических, иммуногистохимических и томографических результатов). Судебно-медицинская экспертиза. 2017; 60 (4): 4-8 [Byval'tsev V.A., Stepanov I.A., Semenov A.V. et al. The possibilities for diagnostics of prescription of death coming based on the changes in the lumbar intervertebral disks (the comparison of the morphological, immunohistochemical and topographical findings. *Sudebno-meditsinskaya ekspertiza*. 2017; 60 (4): 4-8 (in Russian)). doi: 10.17116/sudmed20176044-8.

Сведения об авторах: Бывальцев В.А. — доктор мед. наук, главный нейрохирург Дирекции здравоохранения ОАО «РЖД», рук. Центра нейрохирургии ДКБ на ст. Иркутск-Пассажирский ОАО «РЖД-Медицина», зав. курсом нейрохирургии ИГМУ, зав. научно-клиническим отделом нейрохирургии и ортопедии ИПЦХТ, профессор кафедры травматологии, ортопедии и нейрохирургии ИГМАПО; <http://orcid.org/0000-0003-4349-7101>, SPIN-код: 5996-6477. Степанов И.А., Пестряков Ю.Я. — аспиранты курса нейрохирургии ИГМУ.

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

Contact: Byval'tsev Vadim A. — Dr. med. sci., Head of scientific-clinical department of neurosurgery and orthopaedics of ISCST; Head of Chair of neurosurgery of ISMU; Prof., ISMAPE Chair of traumatology, orthopaedics and neurosurgery. <http://orcid.org/0000-0003-4349-7101>, SPIN-код: 5996-6477. E-mail: byval75vadim@yandex.ru.

ВНИМАНИЮ АВТОРОВ!

При направлении статей в редакцию просим обращать особое внимание на правильность представления иллюстративного материала.

Прилагаемые иллюстрации (фотографии, рисунки, чертежи, диаграммы) по качеству должны быть пригодными для полиграфического воспроизведения. Фотографии должны быть контрастными, рисунки — четкими, чертежи и диаграммы выполняются тушью или печатаются на принтере с высоким разрешением. Дополнительные обозначения (стрелки, буквы и т.п.) даются только на одном экземпляре рисунка. На обороте каждой иллюстрации ставятся номер рисунка, фамилия автора и пометки «верх» и «низ». Фотоотпечатки с рентгенограмм желательно присылать со схемой.

Иллюстрации могут быть представлены в электронной версии — обязательно как отдельные графические файлы (без дополнительных обозначений — стрелок, букв и т.п.): в формате TIFF (разрешение 400 dpi), векторные рисунки — в виде публикации Corel Draw, диаграммы — в виде таблиц данных Excel. Используются следующие типы носителей: CD, DVD, Flash-носители, дискеты 1,44 МВ, возможна доставка материала по электронной почте. При этом обязательно прилагаются распечатанные иллюстрации.

Подписи к рисункам печатаются на отдельном листе с указанием номера рисунка. В тексте обязательно дается ссылка на каждый рисунок. В подписях приводятся объяснение значения всех кривых, букв, цифр и других условных обозначений. В подписях к микрофотографиям указывается увеличение (окуляр, объектив) и метод окраски или импрегнации материала.