

Научная статья

УДК 616.711.6 -089.844-089.163-071]-089.168

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2026-32-3-388-399>

Анализ взаимосвязи дооперационных характеристик поясничных сегментов с отдаленным послеоперационным клиническим исходом при проведении поясничной тотальной артропластики и трансфораминального межтелового спондилодеза у работников железнодорожного транспорта

В.А. Бывальцев^{1-3✉}, А.А. Калинин^{1,2}, Н.П. Судаков⁴, Ю.Я. Пестряков¹, Э.Е. Сатардинова³, А.В. Щербатых¹, В.Ф. Фролов⁵

¹ Иркутский государственный медицинский университет, Иркутск, Россия

² Клиническая больница «РЖД-Медицина», Иркутск, Россия

³ Иркутская государственная медицинская академия последипломного образования — филиал РМАНПО, Иркутск, Россия

⁴ Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, Россия

⁵ Восточно-Сибирская железная дорога — филиал ОАО РЖД, Иркутск, Россия

Автор, ответственный за переписку: Вадим Анатольевич Бывальцев, byval75vadim@yandex.ru

Аннотация

Введение. Углубленное изучение механизмов дегенерации на уровне микроструктурных изменений опорных элементов позвоночника необходимо для объективной оценки выраженности степени патологических изменений и выбора объема оперативного вмешательства для оптимизации отдаленных клинических исходов.

Цель работы — оценить взаимосвязь дооперационных возрастных, поведенческих, физиологических, профессиональных характеристик пациентов, морфологических и радиологических параметров поясничных сегментов с отдаленными клиническими исходами хирургического лечения работников железнодорожного транспорта с дегенеративными заболеваниями позвоночника при проведении поясничной тотальной артропластики (TDR) и трансфораминального межтелового спондилодеза (TLIF) для объективизации показаний к их использованию.

Материалы и методы. Ретроспективно проанализированы результаты оперативных вмешательств 223 работников железнодорожного транспорта, которым в период 2015–2018 гг. при односегментарном дегенеративном заболевании на поясничном уровне проведены TDR ($n = 64$) и TLIF ($n = 159$). Для выявления и оценки влияния различных факторов риска на развитие неудовлетворительных клинических исходов использован одномерный логистический регрессионный анализ.

Результаты. Установлено, что влияние на формирование отдаленного неудовлетворительного исхода поясничной TDR оказывают возраст > 40 лет, индекс массы тела > 28 кг/м², курение, задние остеофиты, динамический сагиттальный угол $> 10^\circ$, снижение высоты межтелового промежутка $> \frac{1}{2}$ от вышележащего, дегенерация межпозвонковых дисков по С. Pfirrmann $> III$ ст., дегенерация дугоотростчатых суставов по А. Fujiwara $> II$ ст., измеряемый коэффициент диффузии < 1200 мм²/сек, фасеточный угол $> 60^\circ$, тропизм ДС, клеточная плотность пульпозного ядра < 1500 кл/мм³, наличие коллагена X и XI типов. Для TLIF таковыми факторами являются индекс массы тела более 28 кг/м², курение, III категория работ по уровню энергозатрат, динамическая линейная трансляция < 4 мм, фасеточный угол $< 60^\circ$.

Обсуждение. Полученные результаты способствуют систематизации пациентов с учетом выраженности дооперационных дегенеративных изменений в поясничных сегментах и обеспечивают оптимальный выбор хирургической стратегии с учетом прогнозирования катамнестического послеоперационного результата.

Заключение. Унифицированный выбор хирургической технологии с учетом комплексного анализа дооперационных возрастных, поведенческих (курение), физиологических (ИМТ), профессиональных (уровень энергозатрат) характеристик пациентов, а также морфологических и радиологических параметров поясничных сегментов направлен на эффективное устранение имеющейся клинической симптоматики в отдаленном послеоперационном периоде у работников железнодорожного транспорта с одноуровневым дегенеративным заболеванием поясничных сегментов.

Ключевые слова: работники железнодорожного транспорта, поясничный отдел позвоночника, поясничная тотальная артропластика, трансфораминальный поясничный межтеловый спондилодез, факторы риска, выбор хирургической тактики

Для цитирования: Бывальцев В.А., Калинин А.А., Судаков Н.П., Пестряков Ю.Я., Сатардинова Э.Е., Щербатых А.В., Фролов В.Ф. Анализ взаимосвязи дооперационных характеристик поясничных сегментов с отдаленным послеоперационным клиническим исходом при проведении поясничной тотальной артропластики и трансфораминального межтелового спондилодеза у работников железнодорожного транспорта. *Гений ортопедии*. 2026;32(3):388-399. doi: 10.18019/1028-4427-2026-32-3-388-399.

© Бывальцев В.А., Калинин А.А., Судаков Н.П., Пестряков Ю.Я., Сатардинова Э.Е., Щербатых А.В., Фролов В.Ф., 2026



Correlation between preoperative characteristics of lumbar segments and late postoperative clinical outcomes of lumbar total disc arthroplasty and transforaminal lumbar interbody fusion in railway workers

V.A. Byvaltsev^{1-3✉}, A.A. Kalinin^{1,2}, N.P. Sudakov⁴, Yu.Ya. Pestryakov¹, E.E. Satardinova³, A.V. Shcherbatykh¹, V.F. Frolov⁵

¹ Irkutsk State Medical University, Irkutsk, Russian Federation

² Clinical Hospital “RR-Medicine”, Irkutsk, Russian Federation

³ Irkutsk State Medical Academy of Postgraduate Education, Irkutsk, Russian Federation

⁴ Limnological Institute, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russian Federation

⁵ East Siberian Railway – Branch of JSC Russian Railways, Irkutsk, Russian Federation

Corresponding author: Vadim A. Byvaltsev, byval75vadim@yandex.ru

Abstract

Introduction Long-term clinical outcomes can be optimized based on degeneration mechanisms of microstructural changes in the supporting elements of the spine and an objective assessment of the severity of pathological changes and the extent of surgical intervention.

The **objective** was to explore the relationship between preoperative age, behavioral, physiological, professional characteristics of patients, morphological and radiological parameters of the lumbar segments and long-term surgical outcomes of railway workers with degenerative diseases of the spine treated with lumbar total disc arthroplasty (LTDA) and transforaminal lumbar interbody fusion (TLIF) to objectify indications for the use.

Material and methods Surgical outcomes of 223 railway workers with single-segment lumbar degenerative disease treated with LTDA ($n = 64$) and TLIF ($n = 159$) between 2015 and 2018 were retrospectively reviewed. Univariate logistic regression analysis was used to identify and evaluate the influence of various risk factors on poor clinical outcomes.

Results A long-term poor outcome of lumbar LTDA was associated with age > 40 years, body mass index > 28 kg/m², smoking, posterior osteophytes, dynamic sagittal angle over 10°, decreased interbody height of > ½ of the overlying one, Pfirrmann disc degeneration greater than stage III, A. Fujiwara facet joint osteoarthritis greater than stage II, the apparent diffusion coefficient (ADC) less than 1200 mm²/sec, facet angle > 60°, tropism of the facet joint, cellular density of the nucleus pulposus < 1500 cells/mm³, collagen types X and XI. For TLIF, the factors included body mass index over 28 kg/m², smoking, category III energy expenditure at work, dynamic linear translation < 4 mm, facet angle < 60°.

Discussion The findings suggested systematization of patients considering the severity of preoperative degenerative changes in the lumbar segments providing an optimal choice of surgical strategy and prediction of the postoperative follow-up.

Conclusion A unified choice of surgical technology, a comprehensive analysis of preoperative age, behavioral (smoking), physiological (BMI), professional (level of energy expenditure) parameters, morphological and radiological characterization of the lumbar segments were essential for effective treatment of clinical symptoms in the late postoperative period in railway workers with single-level degenerative disease of the lumbar segments.

Keywords: railway workers, lumbar spine, total disk replacement, transforaminal lumbar interbody fusion, risk factors, choice of surgical strategy

For citation: Byvaltsev VA, Kalinin AA, Sudakov NP, Pestryakov YuYa, Satardinova EE, Shcherbatykh AV, Frolov VF. Correlation between preoperative characteristics of lumbar segments and late postoperative clinical outcomes of lumbar total disc arthroplasty and transforaminal lumbar interbody fusion in railway workers. *Genij Ortopedii*. 2026;32(3):388-399. doi: 10.18019/1028-4427-2026-32-3-388-399.

ВВЕДЕНИЕ

Болевой синдром в спине и нижних конечностях является одним из самых распространенных расстройств здоровья среди взрослого населения индустриально развитых стран [1]. Основной причиной этого состояния являются дегенеративные процессы в его опорных элементах, — межпозвонковых дисках (МПД) и дугоотростчатых суставах (ДС) [2]. В связи с асимметричными изменениями в МПД и ДС существует многообразие клинических и морфологических форм данной патологии [3]. Разрабатываются различные хирургические технологии, направленные на улучшение качества жизни и восстановление дооперационного функционального состояния [4]. Наряду с ежегодным увеличением количества спинальных вмешательств отмечается рост неудовлетворительных результатов оперативного лечения, связанных, с одной стороны, с их осложнениями, с другой стороны, — с отсутствием унифицированных хирургических алгоритмов для схожих по морфологическим и радиологическим критериям групп [5].

Все вышеперечисленное отражает высокую социальную значимость проблемы, особенно в профессионально активной когорте пациентов, к которым относятся работники железнодорожного транспорта [6]. Среди таких пациентов анамнестически регистрируют высокие осевые нагрузки на позвоночный столб, скручивающие движения, вибрацию и психоэмоциональный стресс [5, 6]. Профессиональная медицина с учетом специфики производственного процесса создает предпосылки для разработки оптимальной стратегии специализированной нейрохирургической помощи [7]. Углубленное изучение механизмов дегенерации на уровне микроструктурных изменений опорных элементов позвоночника необходимо для объективной оценки выраженности степени патологических изменений и выбора объема оперативного вмешательства для оптимизации отдаленных клинических исходов [8].

При анализе специализированных баз данных Scopus, Pubmed, Elibrary мы не обнаружили исследований, анализирующих взаимосвязь дооперационных морфологических и радиологических изменений с отдаленным клиническим исходом, в том числе у работников железнодорожного транспорта. Это обстоятельство явилось побудительным моментом к выполнению данного исследования.

Цель работы — оценить взаимосвязь дооперационных возрастных, поведенческих, физиологических, профессиональных характеристик пациентов, морфологических и радиологических параметров поясничных сегментов с отдаленными клиническими исходами хирургического лечения работников железнодорожного транспорта с дегенеративными заболеваниями позвоночника при проведении поясничной тотальной артропластики и трансфораминального межтелового спондилодеза для объективизации показаний к их использованию.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Методология

Ретроспективно изучены периоперационные данные 588 работников железнодорожного транспорта, включенных в единую пополняемую базу пациентов [9], которым с сентября 2015 г. по сентябрь 2018 г. в рамках гранта Российского Научного Фонда «Молекулярные сигнальные каскады и их влияние на нутритивный транспорт через межклеточный матрикс для регенерации межпозвонкового диска» (руководитель НИР: В.А. Бывальцев, проект № 15-15-30037) осуществлены оперативные вмешательства на поясничном отделе позвоночника (рис. 1).

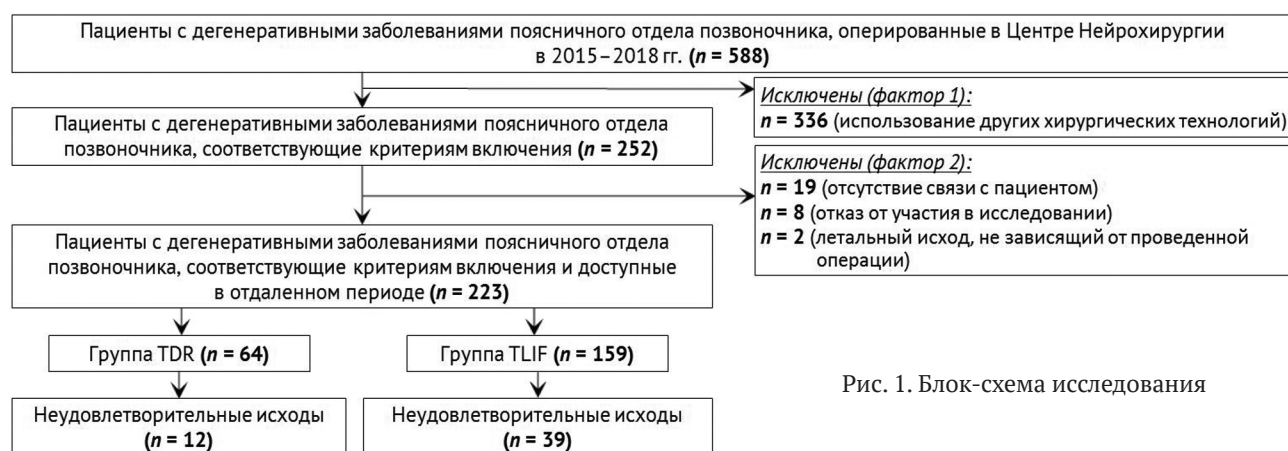


Рис. 1. Блок-схема исследования

Оперативные вмешательства с использованием тотальной артропластики (англ.: total disk replacement, TDR) и трансфораминального поясничного межтелового спондилодеза (англ.: transforaminal lumbar interbody fusion, TLIF) проведены в 252 (42,9 %) случаях. В катамнезе от пяти до семи лет после операции к комплексному анализу были доступны 223 (88,5 %) пациента.

Критерии включения: пациенты, являющиеся работниками железнодорожного транспорта с односегментарными дегенеративными заболеваниями, оперированные по методикам TDR и TLIF.

Критерии исключения: ранее перенесенные операции в поясничном отделе, необходимость в многоуровневых вмешательствах, наличие конкурирующей патологии на поясничном уровне травматического, воспалительного и опухолевого генеза.

Общие данные о пациентах анализируемых групп представлены в табл. 1.

Таблица 1

Сведения о пациентах изучаемых групп

Показатель		TDR (n = 78)	TLIF (n = 184)
Возраст, годы, Me (Q ₂₅ ;Q ₇₅)		35 (29;45)	43 (37;55)
Индекс массы тела, кг/м ² , Me (Q ₂₅ ;Q ₇₅)		24,5 (22,5;27,6)	26,7 (23,9;29,3)
Пол	мужчины, n (%)	49 (62,8)	113 (61,4)
	женщины, n (%)	29 (37,2)	71 (38,6)
Курение, n, %		26 (33,3)	59 (32,1)
Категории работ по уровню энергозатрат	Ia, n (%)	7 (8,9)	16 (8,7)
	Iб, n (%)	13 (16,7)	31 (16,8)
	IIa, n (%)	18 (23,1)	43 (23,4)
	IIб, n (%)	21 (26,9)	59 (32,1)
	III, n (%)	19 (24,4)	35 (19)
Катамнез наблюдения, мес., Me (Q ₂₅ ;Q ₇₅)		71 (65;83)	74 (67;85)

Условия проведения. Все пациенты имели ведомственную принадлежность к системе АО «РЖД», проходили нейрохирургическое лечение и последующее наблюдение специалистами Клинической больницы «РЖД-Медицина» (Иркутск).

Описание медицинского вмешательства. В группе TDR применяли тотальную дискэктомию с двусторонней фораминотомией и обязательной резекцией задней продольной связки из левостороннего параректального ретроперитонеального доступа. Использовали протез M6-L (Spinal Kinetics, Швейцария), состоящий из волокон сверхвысокомолекулярного полиэтилена, расположенных в несколько слоев вокруг сердечника из поликарбонатного уретанового полимера и через замыкательные пластины из титанового сплава с киями для обеспечения фиксации к телам верхних и нижних позвонков.

В группе TLIF использовали реконструкцию позвоночного канала из минимально инвазивного межмышечного доступа или открытого срединного доступа с последующими трансфораминальным межтеловым спондилодезом и транспедикулярной фиксацией.

Исходы исследования. Исследованы факторы, потенциально влияющие на формирование отдаленно неудовлетворительного клинического результата. Данные параметры включены в однофакторный статистический анализ с целью выявления достоверных факторов риска развития неудовлетворительных результатов у пациентов, перенесших методики TDR и TLIF по поводу односегментарных дегенеративных заболеваний поясничного отдела позвоночника:

- (1) возраст пациентов;
- (2) индекс массы тела;
- (3) курение;
- (4) категория работ по уровню энергозатрат;
- (5) наличие задних остеофитов;
- (6) сагиттальный угол (°);
- (7) линейное смещение в сегменте (мм) [10];
- (8) размер межтелового пространства (мм) [11];
- (9) дегенерация МПД по С. Pfirrmann [12];
- (10) дегенерация ДС по А. Fujiwara [13];

- (11) величина измеряемого коэффициента диффузии (ИКД) ($\text{мм}^2/\text{сек}$) [14];
- (12) величина фасеточного угла (град);
- (13) наличие тропизма ДС [15];
- (14) клеточная плотность МПД ($\text{кл}/\text{мм}^3$);
- (15) иммуногистохимические изменения в ткани МПД (внеклеточный матрикс и ядра клеток) [16].

В катмнезе послеоперационного наблюдения изучали неврологический статус, уровень боли в спине и нижних конечностях, функциональный статус по ODI, качество жизни по SF-36, результат лечения по шкале Macnab.

Отдаленный послеоперационный результат считали неудовлетворительным (TDR — 12 случаев, TLIF — 27) в случае одновременного верифицирования уровня болевого синдрома по ВАШ > 20 мм, ODI > 20 %, SF-36 < 30 баллов и неудовлетворительного исхода по шкале Macnab.

Методы регистрации исходов. Радиологические данные получены на цифровой рентген-установке DuoDiagnost (Philips, США), 80-срезовом МСКТ-томографе Aquilion Prime (Toshiba, Япония) и МРТ-томографе Magnetom Essenza 1,5T (Siemens, Германия). Карты измеряемого коэффициента диффузии (ИКД) созданы на основе последовательности изображений, полученных с помощью диффузионно-взвешенной МРТ (DWI) с применением плагина ADCmap (<http://web.stanford.edu/~bah/software/ADCmap>) в программном обеспечении Osyrix (R).

Для морфологического анализа использовали фрагменты ткани МПД (область пульпозного ядра), которые фиксировали в 10 % растворе формальдегида, декальцинировали в растворе муравьиной кислоты, окрашивали гематоксилин-эозином и сафранином-О (Sigma-Aldrich, США). Гистологические препараты исследовали с помощью микроскопа Zeiss AxioVert A1, AxioCam 506 color, а количественную оценку проводили в программе Fiji (NIH) с использованием модуля Automatic Cell Counting. Плотность клеток выражалась в количестве клеток на мм^2 .

Исследования трехмерной структуры агрекана и коллагенов во внеклеточном матриксе МПД выполнены в центре коллективного пользования «Ультрамикроанализ» ЛИН СО РАН (<http://www.lin.irk.ru/copp/rus/>). Для проведения иммуногистохимического анализа фрагменты ткани были зафиксированы в 4 % растворе параформальдегида (Sigma-Aldrich, США). Для определения ключевых компонентов внеклеточного матрикса межпозвоночного диска использовали панель первичных IgG антител от компании Abcam (США).

В работе применены следующие антитела: мышинные антитела к коллагену I (ab90395) в разведении 1:200; кроличьи антитела к коллагену II (ab34712) в разведении 1:200; мышинные антитела к коллагену X (ab49945) в разведении 1:200; кроличьи антитела к коллагену XI alpha 2 (ab196613) в разведении 1:200; кроличьи антитела к агрекану (ab186414) в разведении 1:200.

Для визуализации использовали вторичные IgG антитела, меченые Alexa Fluor® 594 (Abcam, США), которые были направлены как на кроличьи (ab150080), так и на мышинные (ab150116) антитела. Ядра клеток окрашены с помощью Hoechst 33342 (Life Sciences, США). Подготовленные препараты заключены в Prolong Gold (Life Sciences, США) и сканированы с использованием лазерного конфокального микроскопа LSM-710 (Carl Zeiss, Германия). Анализ полученных Z-стеков проводили с помощью программ Imaris 7.2.3 (Bitplane AG, Швейцария) и ZEN (Carl Zeiss, Германия).

Статистическая обработка данных

Для статистического анализа применяли программное обеспечение Statistica for Windows (версия 13.5). Общие сведения о включенных пациентах и послеоперационные результаты представлены в виде медианы, значения первого и третьего квартилей — Me (Q25;Q75). Для выявления нескорректированной связи факторов риска развития неудовлетворительных клинических послеоперационных результатов с различными анализируемыми дооперационными параметрами респондентов использован одномерный логистический регрессионный анализ. Межгрупповое сравнение категориальных переменных выполнено с помощью точного критерия Фишера, непрерывных переменных — с помощью t-критерия Стьюдента. Коллинеарность ковариат анализировали с применением коэффициента корреляции Пирсона. Значительное влияние имели факторы риска со значением $p < 0,05$.

Исследование одобрено комитетом по этике Иркутского научного центра хирургии и травматологии (протокол от 31.08.2015 № 10).

РЕЗУЛЬТАТЫ

В ходе исследования проанализированы T1- (рис. 2, а) и T2- (рис. 2, б) взвешенные изображения, а также сагиттальные карты ADC (рис. 2, в). В результате этого анализа выявлены характерные визуальные паттерны, которые могут оказаться значимыми для диагностики дегенеративных заболеваний поясничного отдела позвоночника. ИКД представлены в полной динамической цветовой шкале, используя палитру Jet, что позволило создать яркое и информативное изображение. Дополнительно 65 % прозрачные карты ИКД были наложены на соответствующие T2-ВИ (рис. 2, г), что улучшило восприятие анатомической локализации и сделало данные более доступными для анализа.

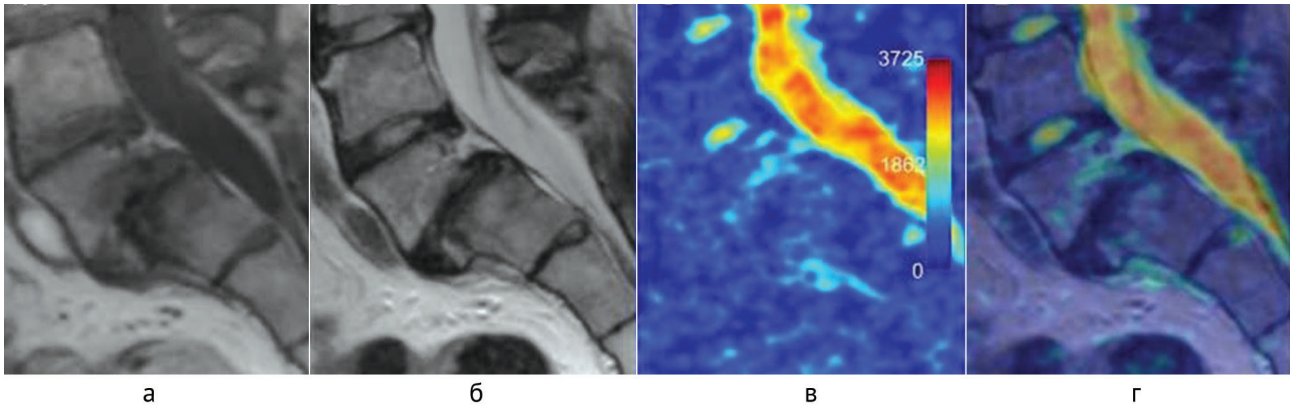


Рис. 2. Клинический пример пациента 39 лет (Группа TLIF), построение карт измеряемого коэффициента диффузии: а — T1-ВИ показывает гипоинтенсивный сигнал; б — T2-ВИ показывает гиперинтенсивный сигнал; в — карта ИКД показывает гиперинтенсивный сигнал; г — наложение карты ИКД на изображение T2 показывает анатомическое расположение областей с повышенной диффузией, соответствующее границе изменений Modic 1

Во всех случаях область пульпозного ядра оценивали на клеточную плотность. При анализе установлена закономерность регистрации низкой клеточной плотности при наиболее высоком показателе ИКД. Так, на рис. 3 представлены морфологические данные пациента группы TDR, имеющего клеточную плотность пульпозного ядра 1562 кл/мм^3 (рис. 3, а) и показатель ИКД $1377 \text{ мм}^2/\text{сек}$. В данном случае использование окраски Сафранином-О на гликозаминогликаны (рис. 3, б) подтвердило невыраженную степень дегенерации ткани МПД, что коррелировало с показателями клеточной плотности пульпозного ядра ИКД.

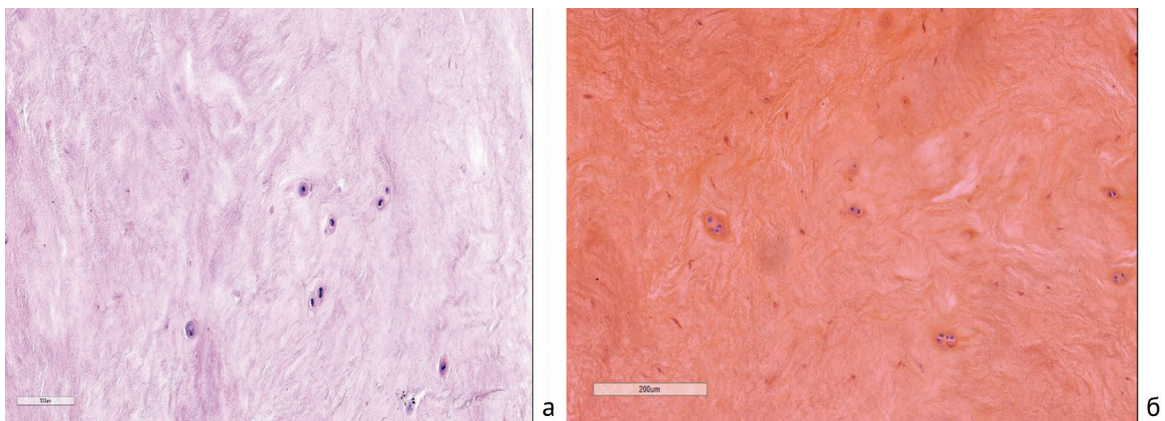


Рис. 3. Клинический пример пациента 33 лет (Группа TDR): а — микрофотография гистологического исследования области пульпозного ядра, окраска гематоксилином и эозином, увеличение $\times 200$; б — микрофотография гистологического исследования области пульпозного ядра, окраска сафранином-О на гликозаминогликаны, ядра окрашены гематоксилином и эозином, увеличение $\times 200$

Все пациенты характеризовались дегенеративными изменениями структуры внеклеточного матрикса (рис. 4 и 5) — формированием зон глыбчатого распада и лизиса его компонентов (агрекрана, коллагена I и II), а в случаях с более интенсивными деструктивными изменениями — появлением в составе межклеточного вещества коллагенов, не характерных для состава межпозвоночного диска (коллаген X и XI).

Отдаленные клинические параметры оказались доступны у 82,1 % (64/78) пациентов подгруппы I и у 86,4 % (159/184) пациентов подгруппы II (табл. 2).

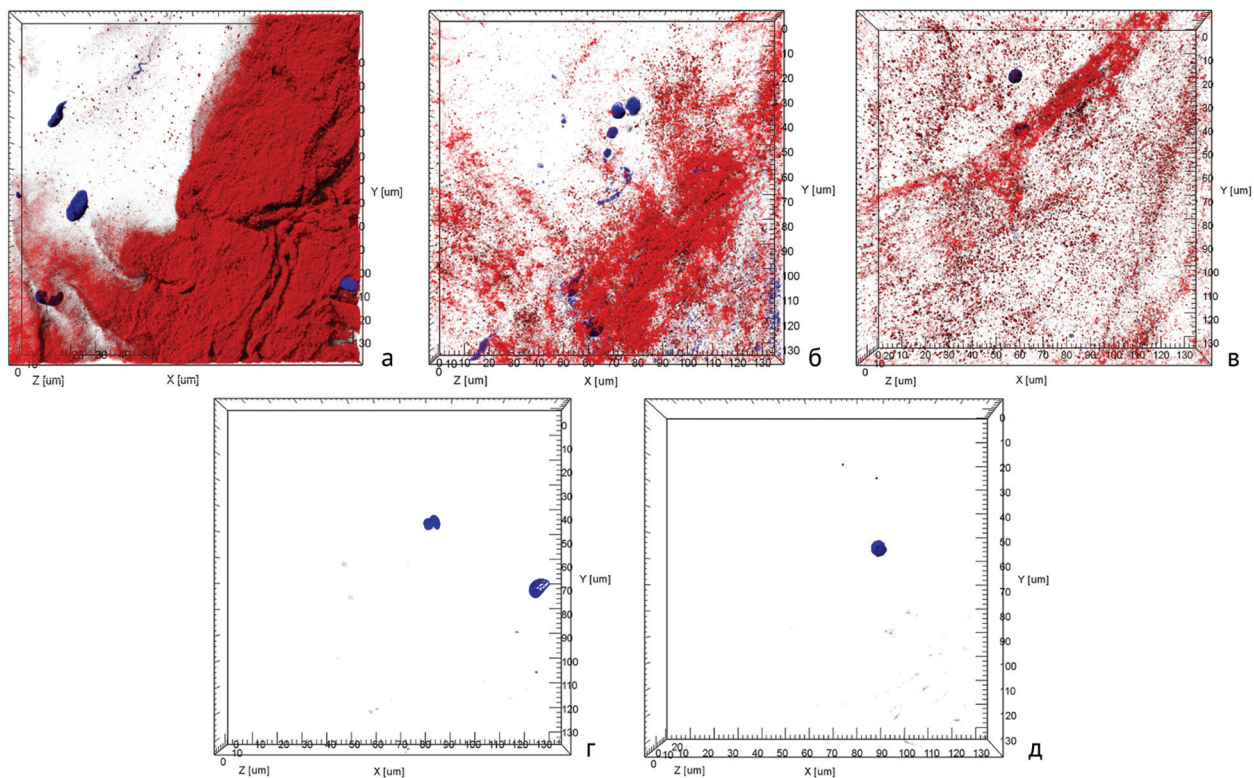


Рис. 4. Клинический пример пациента 39 лет (Группа TDR). Лазерная конфокальная микроскопия ткани МПД. Трехмерная реконструкция Z-стеков, режим визуализации — проекция тени (shadow projection). Иммуногистохимическое окрашивание пульпозного ядра (выявляемый компонент МПД — Alexa Fluor® 594, красный; ядра клеток — Hoechst 33342, синий) на агрекан (а), коллаген I типа (б) и коллаген II типа (в), коллагены X (г) и XI (д) типа не выявлены

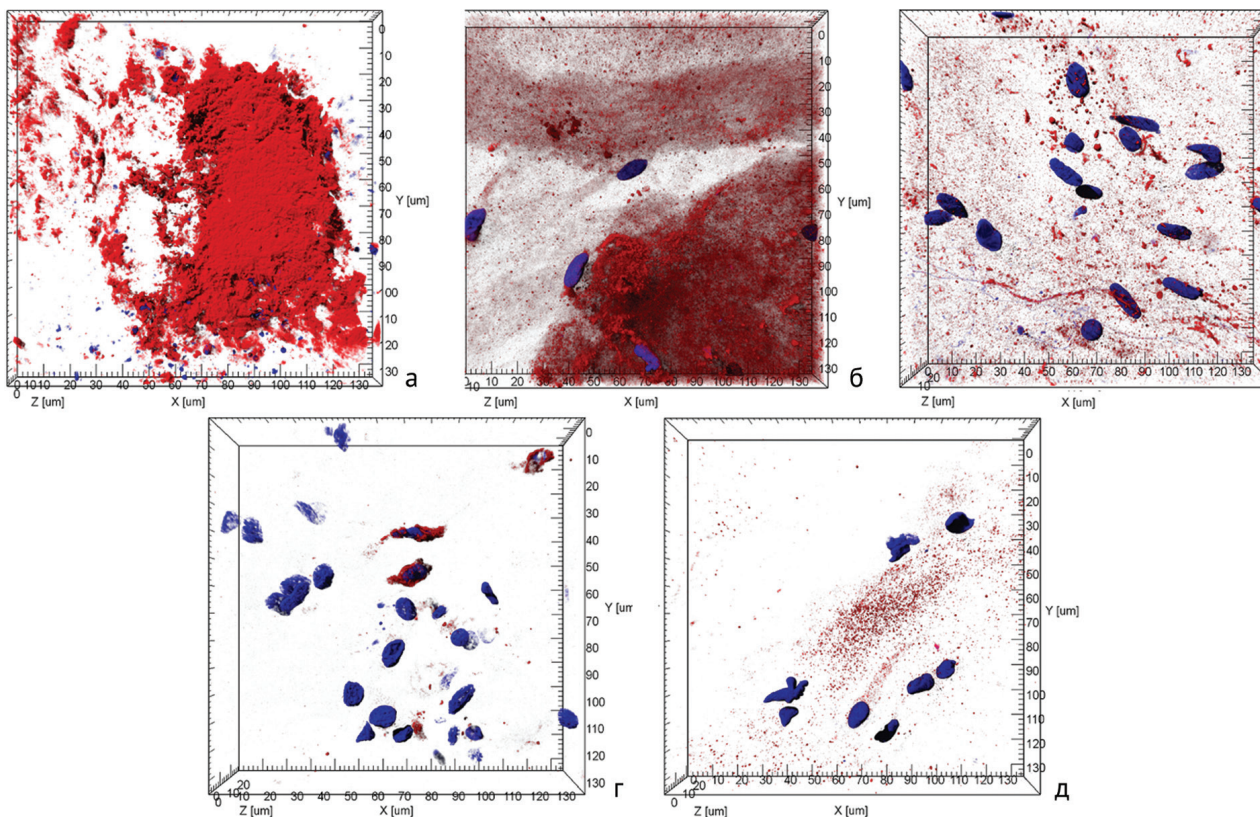


Рис. 5. Клинический пример пациента 46 лет (Группа TLIF). Лазерная конфокальная микроскопия ткани МПД. Трехмерная реконструкция Z-стеков, режим визуализации — проекция тени (shadow projection). Иммуногистохимическое окрашивание пульпозного ядра (выявляемый компонент МПД — Alexa Fluor® 594, красный; ядра клеток — Hoechst 33342, синий) на агрекан (а), коллаген I типа (б) и коллаген II типа (в), коллагены X (г) и XI (д) типа в ткани обнаружены

Таблица 2

Результаты отдаленных послеоперационных клинических данных, включенных в исследование пациентов

Критерии		TDR (n = 64)	TLIF (n = 159)
Болевой синдром по ВАШ, мм, Ме (25;75)	Нижние конечности	14 (8;21)	17 (9;22)
	Поясничный отдел	29 (19;44)	30 (18;46)
Функциональный статус по ODI, %, Ме (25;75)		28 (18;40)	30 (16;42)
Качество жизни по SF-36, баллы, Ме (25;75)	Physical component score	35,23 (33,38;42,19)	32,17 (30,23;36,55)
	Mental component score	34,54 (30,66;39,93)	33,89 (29,93;37,19)
Результат операции по шкале Masnab, n, %	Отличный	20 (31,25)	15 (9,4)
	Хороший	19 (29,7)	58 (36,5)
	Удовлетворительный	13 (20,3)	47 (29,6)
	Неудовлетворительный	12 (18,75)	39 (24,5)
Нарушение мышечной силы, n (%)		2 (3,125)	9 (5,7)
Чувствительные расстройства, n (%)		19 (29,7)	52 (32,7)
Осложнения по классификации Dindo – Clavien	Незначительные осложнения (Grade I, II, IIIA), n (%)	7 (10,9)	21 (13,2)
	Серьезные осложнения (Grade IIIB, IV и V), n (%)	2 (3,125)	9 (5,7)

Пациенты с дегенеративными заболеваниями поясничного отдела позвоночника, имеющие неудовлетворительный исход, из доступных к анализу в отдаленном послеоперационном периоде составили 18,75 % (12/64) в подгруппе I и 24,5 % (39/159) в подгруппе II.

При использовании однофакторного логистического регрессионного анализа выявлены факторы, ассоциированные с риском формирования неудовлетворенного послеоперационного результата (табл. 3).

Таблица 3

Факторы риска, влияющие на неудовлетворительный отдаленный исход у анализируемых пациентов

Факторы	TDR (n = 64)			TLIF (n = 159)		
	Неудовл. исход (n = 12)	Удовл. исход (n = 52)	p	Неудовл. исход (n = 39)	Удовл. исход (n = 120)	p
	ОШ (95 % ДИ)	СО		ОШ (95 % ДИ)	СО	
Возраст старше 40 лет	11,2 (2,2–57,3)	0,8	0,031	0,9 (0,4–1,8)	0,3	0,216
Индекс массы тела более 28 кг/м ²	15 (1,8–124,9)	1,1	0,015	3,3 (1,4–7,6)	0,4	0,031
Курение	36,6 (4,2–313,6)	1,1	0,013	5,0 (2,1–12,2)	0,4	0,018
Категория работ по уровню энергозатрат III	0,4 (0,09–2,5)	0,8	0,427	11,0 (4,7–25,6)	0,4	0,005
Наличие задних остеофитов	41 (4,7–352,9)	1,1	0,024	0,9 (0,4–1,9)	0,3	0,439
Динамический сагиттальный угол более 10°	32,1 (5,7–178,4)	0,8	0,019	1 (0,5–2,1)	0,3	0,549
Динамическая линейная трансляция менее 4 мм	1,2 (0,2–7,1)	0,8	0,622	14,5 (6,1–34,4)	0,4	0,009
Снижение высоты междискового пространства более ½ от вышележащего	11,1 (2,5–48,4)	0,7	0,007	1,4 (0,7–3,0)	0,3	0,148
МПД по С. Pfirrmann более III ст.	47 (7,9–277,6)	0,9	0,009	0,9 (0,4–1,9)	0,3	0,513
ДС по А. Fujiwara более II ст.	46,2 (5,3–400,6)	1,1	0,002	1,2 (0,6–2,5)	0,3	0,318
ИКД менее 1200 мм ² /сек	275 (22,8–3309,1)	1,2	0,001	1,3 (0,6–2,7)	0,3	0,245
Угол ДС 60° и более	60 (9,6–373,6)	0,9	0,018	0,8 (0,4–1,8)	0,3	0,812
Угол ДС менее 60°	1,5 (0,3–7,0)	0,7	0,629	8,7 (3,7–19,9)	0,4	0,014
Верифицированный тропизм ДС	21 (3,9–111,2)	0,8	0,004	0,9 (0,4–1,9)	0,3	0,791
Клеточная плотность ПЯ менее 1500 кл/мм ³	10 (2,3–42,9)	0,7	0,021	1,2 (0,5–2,4)	0,3	0,772
Наличие коллагена X и XI типов, выявленных при ИГХ исследовании	10,2 (2,0–52,2)	0,8	0,011	0,8 (0,4–1,8)	0,3	0,829

Примечание: ОШ — отношение шансов; 95 % ДИ — 95 %-й доверительный интервал; СО — стандартная ошибка отношения шансов; МПД — межпозвонковый диск; ДС — дугоотростчатый сустав; ИКД — измеряемый коэффициент диффузии; ПЯ — пульпозное ядро; ИГХ — иммуногистохимическое исследование.

Однофакторный анализ влияния различных факторов на риск развития неудовлетворительных отдаленных клинических исходов у пациентов с одноуровневым дегенеративным заболеванием поясничного отдела позвоночника после выполнения TDR и TLIF показал следующие результаты.

У пациентов после TDR с развитием неудовлетворительных отдаленных клинических результатов достоверно ассоциируются:

- возраст старше 40 лет ($p = 0,031$);
- индекс массы тела больше 28 кг/м^2 ($p = 0,015$);
- курение ($p = 0,013$);
- наличие задних остеофитов ($p = 0,024$);
- динамический сагиттальный угол более 10° ($p = 0,019$);
- снижение высоты междискового пространства более $\frac{1}{2}$ от вышележащего ($p = 0,007$);
- степень дегенерации МПД по С. Pfirrmann более III ст. ($p = 0,009$);
- степень дегенерации ДС по А. Fujiwara более II ст. ($p = 0,002$), величина ИКД $< 1200 \text{ мм}^2/\text{сек}$ ($p = 0,001$);
- угол ДС 60° и более ($p = 0,018$);
- наличие тропизма ДС ($p = 0,004$);
- клеточная плотность ПЯ менее 1500 кл/мм^5 ($p = 0,021$);
- наличие коллагена X и XI типов, выявленных при ИГХ ($p = 0,011$).

На риск развития неудовлетворительных отдаленных клинических результатов у пациентов после TLIF достоверно влияют:

- индекс массы тела больше 28 кг/м^2 ($p = 0,031$);
- курение ($p = 0,018$);
- категория работ по уровню энергозатрат III ($p = 0,005$);
- динамическая линейная трансляция менее 4 мм ($p = 0,009$);
- угол ДС менее 60° ($p = 0,014$).

Таким образом, при одноуровневом дегенеративном заболевании поясничного отдела позвоночника критериями неудовлетворительного клинического исхода в катамнезе являются:

- TDR: возраст старше 40 лет, ИМТ $> 28 \text{ кг/м}^2$, курение, наличие задних остеофитов, динамический сагиттальный угол $> 10^\circ$, уменьшение междискового пространства более $\frac{1}{2}$ от вышележащего, степень дегенерации МПД по С. Pfirrmann более III ст., степень дегенерации ДС по А. Fujiwara более II ст., величина ИКД $< 1200 \text{ мм}^2/\text{сек}$, величина фасеточного угла $> 60^\circ$, наличие тропизма ДС, клеточная плотность ПЯ $< 1500 \text{ кл/мм}^5$, наличие коллагена X и XI типов, выявленные по ИГХ;
- TLIF: ИМТ $> 28 \text{ кг/м}^2$, курение, категория работ по уровню энергозатрат III, динамическая линейная трансляция менее 4 мм, величина фасеточного угла $< 60^\circ$.

ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенное исследование впервые продемонстрировало взаимосвязь комплексной оценки дооперационных возрастных, поведенческих (курение), физиологических (ИМТ), профессиональных (уровень энергозатрат) характеристик пациентов, а также морфологических и радиологических параметров поясничных сегментов с отдаленными клиническими исходами после поясничной TDR и TLIF. Полученные результаты способствуют систематизации пациентов с учетом выраженности дооперационных дегенеративных изменений в поясничных сегментах и обеспечивают оптимальный выбор хирургической стратегии с учетом прогнозирования катамнестического послеоперационного результата.

МПД и ДС, как опорные элементы позвоночно-двигательного сегмента (ПДС), являются специфическими и уязвимыми анатомическими структурами, подверженными инволютивным процессам и дегенеративным изменениям, усугубляющимся при повышенной физической нагрузке и микротравмах [17, 18]. При этом развивающееся симптоматичное дегенеративное заболевание ПДС является основной причиной стойкой неврологической симптоматики и ассоциируется с высокой частотой инвалидности [19].

Морфологические исследования тканей МПД и ДС дают ценную информацию о патофизиологических механизмах и гистопатологических изменениях, которые трудно диагностировать нейровизуализационными методами при незначительных и умеренных изменениях [20, 21].

Оценка прогностического значения микроструктурных дегенеративных трансформаций в тканях ПДС имеет потенциал для разработки унифицированных хирургических подходов, направленных на подбор хирургических технологий с учетом группированных морфологических и радиологических признаков [22, 23].

В литературе опубликованы исследования, посвященные анализу взаимосвязи разных признаков дегенерации ПДС без учета оценки взаимосвязи с отдаленным клиническим исходом и с выбором хирургической тактики. Так, A. Kilitci et al. установили высокую корреляцию между степенью дегенерации МПД по данным МРТ и выраженностью гистологических дегенеративных изменений в задней продольной связке [20]. При этом, по данным J.M. Middendorf et al., взаимосвязь между степенью дегенерации ДС по МРТ и выраженностью гистологических дегенеративных изменений в нем не подтверждена [24]. Возможность корреляции радиологических и ранних клинических послеоперационных данных рассмотрена в исследовании H. Većulić et al. [8]. Авторами подтверждена статистически значимая корреляция гистологических признаков дегенеративных изменений в МПД с двигательными и чувствительными нарушениями, уровнем боли и степенью инвалидности у пациентов, прошедших микрохирургическое удаление грыжи диска в течение шести месяцев.

Проведенное нами исследование обобщает и в значительной степени дополняет результаты перечисленных исследований. Согласно результатам настоящего наблюдательного исследования, на результаты выполнения процедур TDR и TLIF у пациентов с одноуровневым дегенеративным заболеванием поясничного отдела позвоночника достоверно влияют дооперационные возрастные, поведенческие (курение), физиологические (ИМТ), профессиональные (уровень энергозатрат) характеристики пациентов, а также инструментальные параметры и морфо-структурные изменения в поясничных сегментах.

Требуется проведение проспективных исследований, в том числе рандомизированных мультицентровых, для подтверждения полученных результатов. Возможно, выявленные закономерности не являются строго специфичными для работников железнодорожного транспорта, что требует дополнительной объективизации.

Ограничения исследования:

- 1) ретроспективный одноцентровой характер исследования;
- 2) изучение результатов вмешательств у работников железнодорожного транспорта с особыми условиями труда;
- 3) отсутствие анализа взаимосвязи морфологических и радиологических данных на результат лечения в раннем периоде;
- 4) исследование результатов исключительно односегментарных оперативных вмешательств на поясничном отделе позвоночника;
- 5) отсутствие проведения анализа других факторов риска (психосоматический статус, сопутствующая патология, продолжительность заболевания, прием опиоидов, изменения в смежных поясничных сегментах и другое);
- 6) отсутствие оценки взаимосвязи производственных факторов на развитие дегенеративных заболеваний позвоночника, а также на отдаленные клинический и радиологический исходы;
- 7) отсутствие экономического анализа финансовых затрат на проведение поясничной TDR и TLIF.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Работникам железнодорожного транспорта с симптоматичным односегментарным дегенеративным заболеванием поясничного отдела позвоночника необходимо всесторонне оценить выраженность его дегенеративных изменений (МПД, ДС) и степень нагрузок в трудовой деятельности.

Выполнение поясничной тотальной артропластики возможно при умеренной выраженности дегенерации МПД (III ст. и менее по S. Pfirrmann, ИКД > 1200 мм²/сек, что соответствует клеточной плотности ПЯ < 1500 кл/мм³, отсутствие коллагена X и XI типов по ИГХ) и изменений ДС (II ст. и менее по A. Fujiwara, угол ДС < 60°, отсутствие тропизма), при отсутствии задних остеофитов, динамическом сагиттальном угле < 10°, сохранности высоты межтелового промежутка более ½ от вышележащего.

В остальных случаях (ИМТ < 28 кг/м², динамическая линейная трансляция > 4 мм, величина фасеточного угла > 60°) при одноуровневом дегенеративном заболевании поясничного отдела позвоночника предпочтительным является выполнение одноуровневого трансфораминального поясничного спондилодеза.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Источник финансирования. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Этическая экспертиза. Исследование проведено в соответствии с Хельсинкской декларацией и одобрено Локальным этическим комитетом ФГБНУ «Иркутский научный центр хирургии и травматологии» (протокол от 31.08.2015 № 10).

Информированное согласие. Пациенты дали добровольное информированное согласие на участие в исследовании и публикацию результатов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Debono B, Wainwright TW, Wang MY, et al. Consensus statement for perioperative care in lumbar spinal fusion: Enhanced Recovery After Surgery (ERAS®) Society recommendations. *Spine J.* 2021;21(5):729-752. doi: 10.1016/j.spinee.2021.01.001.
2. Giaccone P, D'Antoni F, Russo F, et al. Prevention and management of degenerative lumbar spine disorders through artificial intelligence-based decision support systems: a systematic review. *BMC Musculoskelet Disord.* 2025;26(1):126. doi: 10.1186/s12891-025-08356-x.
3. Byvaltsev VA, Kalinin AA, Hernandez PA, et al. Molecular and Genetic Mechanisms of Spinal Stenosis Formation: Systematic Review. *Int J Mol Sci.* 2022;23(21):13479. doi: 10.3390/ijms232113479.
4. Greenberg JK, Frumkin M, Xu Z, et al. Preoperative Mobile Health Data Improve Predictions of Recovery From Lumbar Spine Surgery. *Neurosurgery.* 2024;95(3):617-626. doi: 10.1227/neu.0000000000002911.
5. Lubelski D, Feghali J, Nowacki AS, et al. Patient-specific prediction model for clinical and quality-of-life outcomes after lumbar spine surgery. *J Neurosurg Spine.* 2021;34(4):580-588. doi: 10.3171/2020.8.SPINE20577.
6. Самарская Н.А. Исследование особенностей условий труда работников на железнодорожном транспорте. *Охрана и экономика труда.* 2018;32(3):48-57.
7. Byvaltsev VA, Kalinin AA, Pestryakov YY, et al. Lumbar total disk replacement versus microsurgical lumbar discectomy in treatment of radicular and back pain in railway workers: a prospective randomized controlled trial. *J Spine Surg.* 2024;10(4):642-652. doi: 10.21037/jss-24-63.
8. Večulić H, Begagić E, Šegalo S, et al. Histopathologic degenerative score as a predictor of minimal clinically important difference in pain and functionality following surgical treatment for disc herniation. *Biomol Biomed.* 2025;25(3):623-631. doi: 10.17305/bb.2024.10877.
9. Бывальцев В.А., Калинин А.А., Пестряков Ю.Я. и др. Регистр пациентов с дегенеративными заболеваниями поясничного отдела позвоночника, оперированных с использованием декомпрессивно-стабилизирующих хирургических технологий, в динамике медицинского наблюдения. Патент РФ на базу данных № 2021622807. 07.12.2021. Бюл. № 12. Доступно по: https://www.fips.ru/register-doc-view/fips_servlet?DB=DB&DocNumber=2021622807&TypeFile=html. Ссылка активна на 17.09.2025.
10. Yingsakmongkol W, Jitpakdee K, Varakornpipat P, et al. Clinical and Radiographic Comparisons among Minimally Invasive Lumbar Interbody Fusion: A Comparison with Three-Way Matching. *Asian Spine J.* 2022;16(5):712-722. doi: 10.31616/asj.2021.0264.
11. Chen X, Sima S, Sandhu HS, et al. Radiographic evaluation of lumbar intervertebral disc height index: An intra and inter-rater agreement and reliability study. *J Clin Neurosci.* 2022;103:153-162. doi: 10.1016/j.jocn.2022.07.018.
12. Pfirrmann CW, Metzendorf A, Zanetti M, et al. Magnetic resonance classification of lumbar intervertebral disc degeneration. *Spine (Phila Pa 1976).* 2001;26(17):1873-1878. doi: 10.1097/00007632-200109010-00011.
13. Fujiwara A, Lim TH, An HS, et al. The effect of disc degeneration and facet joint osteoarthritis on the segmental flexibility of the lumbar spine. *Spine (Phila Pa 1976).* 2000;25(23):3036-3044. doi: 10.1097/00007632-200012010-00011.
14. Belykh E, Kalinin AA, Patel AA, 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.
15. Byvaltsev VA, Kalinin AA, Shepelev VV, et al. Relationship of Radiographic Parameters and Morphological Changes at Various Stages of Degeneration of the Lumbar Facet Joints: Cadaver Study. *Global Spine J.* 2024;14(1):195-203. doi: 10.1177/21925682221099471.
16. Byvaltsev VA, Kolesnikov SI, Belykh EG, et al. Complex Analysis of Diffusion Transport and Microstructure of an Intervertebral Disk. *Bull Exp Biol Med.* 2017;164(2):223-228. doi: 10.1007/s10517-017-3963-z.
17. Guven AE, Schönngel L, Camino-Willhuber G, et al. Relationship between facet joint osteoarthritis and lumbar paraspinal muscle atrophy: a cross-sectional study. *J Neurosurg Spine.* 2024;41(3):360-368. doi: 10.3171/2024.4.SPINE231018.
18. Peng BG. Fundamentals of intervertebral disc degeneration and related discogenic pain. *World J Orthop.* 2025;16(1):102119. doi: 10.5312/wjo.v16.i1.102119.
19. Hara S, Aasdahl L, Salvesen Ø, et al. Return to Work After Surgery for Lumbar Disk Herniation: A Nationwide Registry-based Study. *Spine (Phila Pa 1976).* 2025;50(4):217-223. doi: 10.1097/BRS.0000000000005082.
20. Kilitci A, Asan Z, Yuceer A, et al. Comparison of the histopathological differences between the spinal material and posterior longitudinal ligament in patients with lumbar disc herniation: A focus on the etiopathogenesis. *Ann Saudi Med.* 2021;41(2):115-120. doi: 10.5144/0256-4947.2021.115.
21. Kitamura K, Kim JH, Cho KH, et al. Regional differences in zygapophysial joint cavities: A histological study of human fetuses. *Anat Rec (Hoboken).* 2021;304(5):979-990. doi: 10.1002/ar.24532.
22. Chen H, Zhou Q, Pu X, et al. Association between vertebral endplate defects and patient-reported symptoms: an immunohistochemical study investigating the COX-2/PGE-2/EP-4 axis. *Spine J.* 2024;24(8):1407-1415. doi: 10.1016/j.spinee.2024.04.003.
23. Skidanov A, Ashukina N, Maltseva V, et al. The relationship between structural changes in paraspinal muscles and intervertebral disc and facet joint degeneration in the lumbar spine of rats. *J Orthop Surg Res.* 2024;19(1):58. doi: 10.1186/s13018-024-04548-8.
24. Middendorf JM, Barocas VH. MRI-based degeneration grades for lumbar facet joints do not correlate with cartilage mechanics. *JOR Spine.* 2023;6(2):e1246. doi: 10.1002/jsp2.1246.

Статья поступила 04.04.2024; одобрена после рецензирования 21.01.2025; принята к публикации 06.04.2026.

The article was submitted 04.04.2024; approved after reviewing 21.01.2025; accepted for publication 06.04.2026.

Информация об авторах:

Вадим Анатольевич Бывальцев — доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой, главный нейрохирург, профессор кафедры, byval75vadim@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4349-7101>;

Андрей Андреевич Калинин — кандидат медицинских наук, доцент кафедры, врач-нейрохирург, доцент, andrei_doc_v@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6059-4344>;

Николай Петрович Судаков — кандидат биологических наук, доцент, старший научный сотрудник, npsudakov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5565-5600>;

Юрий Яковлевич Пестряков — кандидат медицинских наук, докторант кафедры, pestryakov-nho@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7076-571X>;

Эльмира Евгеньевна Сатардинова — кандидат медицинских наук, доцент кафедры, elmira.sat@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1850-6769>;

Андрей Викторович Щербатых — доктор медицинских наук, профессор, ректор, irkutskii@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1990-1207>;

Василий Федорович Фролов — начальник Восточно-Сибирской железной дороги, VFFrolov@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0009-6801-9748>.

Information about the authors:

Vadim A. Byvaltsev — Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of Department, Chief Neurosurgeon, Professor of the Department, byval75vadim@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4349-7101>;

Andrei A. Kalinin — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department, Neurosurgeon, Associate Professor, andrei_doc_v@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6059-4344>;

Nikolay P. Sudakov — Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Senior Researcher, npsudakov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5565-5600>;

Yuri Ya. Pestryakov — Candidate of Medical Sciences, Doctoral Candidate of the Department, pestryakov-nho@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7076-571X>;

Elmira E. Satardinova — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, elmira.sat@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1850-6769>;

Andrei V. Shcherbatykh — Doctor of Medical Sciences, Professor, Rector, irkutskii@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1990-1207>;

Vasily F. Frolov — Head of the East Siberian Railway, VFFrolov@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0009-6801-9748>.

Вклад авторов:

Бывальцев В.А. — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, написание текста, редактирование.

Калинин А.А. — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, написание текста, статистическая обработка данных.

Судаков Н.П. — сбор и обработка материала, написание текста.

Пестряков Ю.Я. — сбор и обработка материала, статистическая обработка данных, написание текста.

Сатардинова Э.Е. — сбор и обработка материала, статистическая обработка данных, написание текста.

Щербатых А.В. — концепция и дизайн исследования, редактирование.

Фролов В.Ф. — концепция и дизайн исследования, редактирование.