

НЕВРОЛОГИЯ И НЕЙРОХИРУРГИЯ NEUROLOGY AND NEUROSURGERY

КОМПЛЕКСНАЯ НЕЙРОВИЗУАЛИЗАЦИОННАЯ ОЦЕНКА ПРОКСИМАЛЬНОГО СЕГМЕНТА ПОСЛЕ РИГИДНОЙ ФИКСАЦИИ И ДИНАМИЧЕСКОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ У ПАЦИЕНТОВ С ДЕГЕНЕРАТИВНЫМ ЗАБОЛЕВАНИЕМ ПОЯСНИЧНОГО ОТДЕЛА

РЕЗЮМЕ

Кривошеин А.Е.^{1,2},
Колесов С.В.³,
Калинин А.А.^{4,5},
Конев В.П.¹,
Казьмин А.И.³,
Московский С.Н.¹,
Бывальцев В.А.^{4,5,6}

¹ ФГБОУ ВО «Омский государственный медицинский университет» Минздрава России (644099, г. Омск, ул. Ленина, 12, Россия)

² БУЗОО «Клинический медико-хирургический центр Министерства здравоохранения Омской области» (644007, г. Омск, ул. Булатова, 105, Россия)

³ ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени Н.Н. Приорова» Минздрава России (127299, г. Москва, ул. Приорова, 10, Россия)

⁴ ЧУЗ «Клиническая больница «РЖД-Медицина» (664005, г. Иркутск, ул. Боткина, 10, Россия)

⁵ ФГБОУ ВО «Иркутский государственный медицинский университет» Минздрава России (664003, г. Иркутск, ул. Красного Восстания, 1, Россия)

⁶ Иркутская государственная медицинская академия последипломного образования – филиал ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России (664049, г. Иркутск, Юбилейный, 100, Россия)

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

Статья поступила: 07.03.2023

Статья принята: 14.11.2023

Статья опубликована: 05.12.2023

Введение. Развитие синдрома смежного уровня и, как следствие, дегенеративное заболевание смежного сегмента в настоящее время являются самыми частыми осложнениями декомпрессивно-стабилизирующих вмешательств с развитием сегментарной нестабильности.

Цель исследования. Провести комплексную нейровизуализационную оценку проксимального смежного сегмента после ригидной фиксации и динамической стабилизации при дегенеративной патологии поясничного отдела позвоночника.

Материалы и методы. Проведено проспективное мультицентровое исследование результатов хирургического лечения 274 пациентов с дегенеративно-дистрофическими заболеваниями поясничного отдела позвоночника, которым выполнено моносегментарное декомпрессивно-стабилизирующее вмешательство с применением методики TLIF (transforaminal lumbar interbody fusion) и открытой транспедикулярной ригидной фиксации, а также открытой гемилияминэктомии со стабилизацией оперированных сегментов стержнями из нитинола. Исследование включало рентгенографию, диффузионно-взвешенные магнитно-резонансную томографию и компьютерную томографию (в двухэнергетическом режиме) межпозвонковых дисков (МПД) и изолированной фасеточной дегенерации верхнего смежного уровня.

Результаты и обсуждение. При сочетании исходной дегенерации проксимального сегмента в виде дегенерации дугоотростчатых суставов с плотностью хрящевой пластинки $163,5 \pm 14,2$ НУ, наружной фасетки $709,35 \pm 13,6$ НУ, внутренней фасетки $578,1 \pm 12,1$ НУ, дегенерации МПД III, IV степени по С.В. Pfirrtann и измеряемого коэффициента диффузии менее $1300 \text{ мм}^2/\text{с}$ имеются высокие риски развития дегенеративного заболевания смежного сегмента, что регламентирует использование моносегментарной динамической фиксации с использованием стержней из нитинола, или проведение превентивной ригидной фиксации смежного сегмента.

Заключение. Использование комплексной нейровизуализации в предоперационном периоде позволяет проводить прогнозирование результатов хирургического лечения, своевременно принимать профилактические меры по профилактике дегенеративных заболеваний смежного сегмента и осуществлять динамическое наблюдение за процессами в структурах позвоночно-двигательного сегмента.

Ключевые слова: дегенеративные заболевания поясничного отдела позвоночника, ригидная фиксация, динамическая фиксация, смежный сегмент, межпозвонковый диск, дугоотростчатый сустав

Для цитирования: Кривошеин А.Е., Колесов С.В., Калинин А.А., Конев В.П., Казьмин А.И., Московский С.Н., Бывальцев В.А. Комплексная нейровизуализационная оценка проксимального сегмента после ригидной фиксации и динамической стабилизации у пациентов с дегенеративным заболеванием поясничного отдела. *Acta biomedica scientifica*. 2023; 8(5): 60-72. doi: 10.29413/ABS.2023-8.5.6

COMPLEX NEUROIMAGING ASSESSMENT OF THE PROXIMAL SEGMENT AFTER RIGID FIXATION AND DYNAMIC STABILIZATION IN PATIENTS WITH DEGENERATIVE LUMBAR DISEASE

Krivoschein A.E.^{1,2},
Kolesov S.V.³,
Kalinin A.A.^{4,5},
Konev V.P.¹,
Kazmin A.I.³,
Moskovskiy S.N.¹,
Byvaltsev V.A.^{4,5,6}

¹ Omsk State Medical University (Lenina str. 12, Omsk 644099, Russian Federation)

² Clinical Medical and Surgical Center of the Ministry of Health of the Omsk region (Bulatova str. 105, Omsk 644007, Russian Federation)

³ National Medical Research Center for Traumatology and Orthopedics named after N.N. Priorov (Priorova str. 10, Moscow 127299, Russian Federation)

⁴ Clinical Hospital "Russian Railways-Medicine" (Botkina str. 10, 664005 Irkutsk, Russian Federation)

⁵ Irkutsk State Medical University (Krasnogo Vosstaniya str. 1, Irkutsk 664003, Russian Federation)

⁶ Irkutsk State Medical Academy of Postgraduate Education – Branch Campus of the Russian Medical Academy of Continuing Professional Education (Yubileyniy 100, Irkutsk 664049, Russian Federation)

Corresponding author:

Vadim A. Byvaltsev,

e-mail: byval75vadim@yandex.ru

ABSTRACT

Background. The development of the adjacent level syndrome and, as a consequence, adjacent segment degenerative disease are currently the most common complications of decompression and stabilization surgery with the development of segmental instability.

The aim of the study. To conduct a comprehensive neuroimaging assessment of the proximal adjacent segment after rigid fixation and dynamic stabilization in degenerative lumbar disease.

Materials and methods. We conducted a prospective multicenter study of the results of surgical treatment of 274 patients with degenerative-dystrophic diseases of the lumbar spine, who underwent monosegmental decompression and stabilization surgery using the TLIF (transforaminal lumbar interbody fusion) technique and open transpedicular rigid fixation, as well as open hemilaminectomy with stabilization of the operated segments with nitinol rods. The study included radiography, diffusion-weighted magnetic resonance imaging and computed tomography (dual-energy mode) of intervertebral discs and isolated facet degeneration of the upper adjacent level.

Results and discussion. Combination of the initial proximal segment degeneration in the form of facet joints degeneration (density of cartilaginous plate – 163.5 ± 14.2 HU, density of external facet – 709.35 ± 13.6 HU, density of internal facet – 578.1 ± 12.1 HU), Pfirrmann III, IV grade degeneration of intervertebral disc and a measured diffusion coefficient of less than $1300 \text{ mm}^2/\text{s}$ cause high risks of developing adjacent segment degenerative disease, which regulates the use of monosegmental dynamic fixation with nitinol rods, or preventive rigid fixation of the adjacent segment.

Conclusion. Using complex neuroimaging in the preoperative period makes it possible to predict the results of surgical treatment, take timely measures to prevent degenerative diseases of the adjacent segment, and to carry out dynamic monitoring of processes in the structures of the spinal motion segment.

Key words: degenerative diseases of the lumbar spine, rigid fixation, dynamic fixation, adjacent segment, intervertebral disc, facet joint

Received: 07.03.2023

Accepted: 14.11.2023

Published: 05.12.2023

For citation: Krivoschein A.E., Kolesov S.V., Kalinin A.A., Konev V.P., Kazmin A.I., Moskovskiy S.N., Byvaltsev V.A. Complex neuroimaging study of the proximal segment after rigid fixation and dynamic stabilization in patients with degenerative lumbar disease. *Acta biomedica scientifica*. 2023; 8(5): 60-72. doi: 10.29413/ABS.2023-8.5.6

ВВЕДЕНИЕ

Поясничный стеноз позвоночника является наиболее распространённым показанием к операции в спинальной хирургии. Основным методом хирургического лечения такой патологии является использование декомпрессивно-стабилизирующих вмешательств, которые позволяют купировать неврологическую симптоматику [1, 2]. В то же время оперативное лечение не останавливает прогрессирование заболевания, а лишь направлено на устранение его клинических проявлений. Ряд специалистов отмечают, что после хирургического вмешательства в отдалённом периоде наблюдается снижение качества жизни пациентов вследствие рецидивирования дегенеративной патологии [3–5].

Развитие синдрома смежного уровня и, как следствие, дегенеративное заболевание смежного сегмента (ДЗСС) в настоящее время являются самыми частыми осложнениями декомпрессивно-стабилизирующих вмешательств с развитием сегментарной нестабильности [6]. По литературным данным, развитие ДЗСС через 10 лет после задней ригидной стабилизации отмечается у 6,7–80,0 % пациентов, у 24 % из которых возникает необходимость ревизионных операций; при этом в подавляющем большинстве случаев затрагивается верхний (проксимальный) смежный сегмент [7–10]. С целью нивелирования прогрессирования дегенеративного каскада и сохранения физиологических параметров биомеханики смежных сегментов в клиническую практику спинальных хирургов были внедрены динамические стабилизирующие системы [11, 12], позволяющие предупредить развитие ДЗСС.

Параллельно с совершенствованием имплантатов для декомпрессивно-стабилизирующих вмешательств на позвоночнике с целью предотвращения развития неблагоприятных клинических исходов и рисков проведения повторных хирургических вмешательств необходима детальная предоперационная оценка не только поражённого, но и смежных сегментов [6]. Современная предоперационная нейровизуализация должна включать стандартную и функциональную рентгенографию, магнитно-резонансную томографию (МРТ), мультиспиральную компьютерную томографию (МСКТ) [13–15], которые позволяют осуществлять правильное планирование хирургической стратегии и оценивать динамику патологических процессов после оперативного вмешательства [16].

Одним из информативных способов оценки микроструктурного состояния межпозвоночного диска (МПД) для определения возможной тактики хирургического лечения является применение методики диффузионно-взвешенной (ДВ) МРТ с подсчётом значений измеряемого коэффициента диффузии (ИКД) [17]. Установлено, что значение ИКД смежного сегмента менее 1300 мм²/с статистически значимо ассоциируется с развитием ДЗСС [18].

Вторым из основных параметров оценки прилежащего позвоночно-двигательного сегмента (ПДС) является оценка состояния дугоотростчатых суставов (ДС). Установлена взаимосвязь между морфологическими

и рентгенологическими изменениями в ДС по результатам двухэнергетической компьютерной томографии (ДЭКТ) [19, 20]. Полученные цифровые показатели плотности элементов ДС [21] в комбинации с показателями ИКД для МПД позволяют проводить комплексную оценку поражённого и смежных сегментов при планировании хирургического лечения пациентов с дегенеративной патологией поясничного отдела позвоночника, а также для послеоперационного контроля.

Данный научный проект направлен на изучение динамики дегенеративных изменений в МПД и ДС проксимального смежного сегмента после выполнения декомпрессивно-стабилизирующих вмешательств с использованием различных систем фиксации в контексте рисков развития ДЗСС.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Провести комплексную нейровизуализационную оценку проксимального смежного сегмента после ригидной фиксации и динамической стабилизации при дегенеративной патологии поясничного отдела позвоночника.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В период с января 2017 по январь 2022 г. в трёх клиниках: отделение травматологии № 2 (вертебрологии) БУЗОО «Клинический медико-хирургический центр Министерства здравоохранения Омской области» (г. Омск), отделение патологии позвоночника ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени Н.Н. Приорова» Минздрава России (г. Москва), Центре нейрохирургии ЧУЗ «Клиническая больница «РЖД-Медицина» (г. Иркутск), – проведено проспективное мультицентровое исследование по единому утверждённому протоколу. Исследование выполнено в соответствии с Хельсинкской декларацией Всемирной медицинской ассоциации «Этические принципы проведения научных медицинских исследований с участием человека» с поправками 2000 г. и «Правилами клинической практики в Российской Федерации», утверждёнными Приказом Минздрава России от 19.06.2003 № 266. Исследование одобрено этическим комитетом ФГБОУ ВО «Омский государственный медицинский университет» Минздрава России (протокол № 4 от 12.12.2016).

В исследование включены медицинские карты 274 пациентов, которым выполнены декомпрессивно-стабилизирующие вмешательства с использованием ригидной и динамической фиксации в период с января 2017 по январь 2018 г. Информированное согласие было получено от каждого пациента перед обследованием. Выделено две основных группы: в I группе ($n = 139$) проведено моносегментарное декомпрессивно-стабилизирующее вмешательство с применением открытого срединного доступа с двухсторонним скелетированием параспинальной мускулатуры, фасетэктомией, декомпрессией невральных структур, выполнением методи-

ки TLIF (transforaminal lumbar interbody fusion) и открытой транспедикулярной ригидной фиксации; во II группе ($n = 135$) выполнено моноsegmentарное декомпрессионно-стабилизирующее вмешательство с применением открытого срединного доступа с двухсторонним скелетированием параспинальной мускулатуры, гемиламинэктомией и декомпрессией невральных структур, со стабилизацией оперированных сегментов стержнями из титанола.

Критериями включения являлись моноsegmentарное поражение ПДС на уровне $L_{IV}-L_V$, L_V-S_I с клиническими проявлениями компрессионной радикулопатии, высокий уровень segmentарной трансляции в зоне пораженного segmentа, отсутствие клинико-рентгенологических признаков синдрома проксимального уровня.

Критериями исключения являлись бисegmentарное поражение ПДС с клиническими проявлениями компрессионной радикулопатии; ранее перенесённые оперативные вмешательства на пояснично-крестцовом отделе позвоночника; наличие травм позвоночника в анамнезе; подтверждённый опухолевый процесс; инфекционные поражения позвоночного столба; спондилолизный спондилолистез и наличие остеопороза (Т-критерий ниже $-2,5 SD$). Дизайн исследования с причинами исключения из него представлен на рисунке 1.

Клинические параметры оценивали по визуально-аналоговой шкале (ВАШ) боли для спины и нижних конечностей, индексу Освестри (ODI, Oswestry Disability Index) и анкете SF-36 (Short Form 36).

Цифровые изображения оценивались с помощью системы архивирования и передачи изображений и программного обеспечения MultiVox DICOM Viewer (Гамма-мед, Россия). Измерения проводились тремя независимыми экспертами – врачами-рентгенологами, от которых была полностью скрыта вся информация, включая возраст, имя пациентов и время изображения, для предотвращения субъективной ошибки интерпретации. С целью межэкспертной согласованности для анализа были приняты средние значения измерений между тремя наблюдателями. Segmentарную трансляцию измеряли по данным боковой рентгенограммы поясничного отдела позвоночника; для измерения проводили перпендикулярную линию от заднего края нижней концевой пластины верхнего позвонка до линии верхней концевой пластины нижнего позвонка; длину между двумя линиями определяли как segmentарную трансляцию – критерий нестабильности segmentа. Исследование состояния смежных segmentов (МПД) производилось с использованием МРТ в T2-режиме с применением классификаций С.В. Pfirrmann и анализом диффузионно-взвешенных изображений. Оценка состояния изолированной дегенерации ДС проксимального смежного уровня проводилась при помощи МСКТ в двухэнергетическом режиме (ДЭКТ) с определением количественных рентгено-морфометрических параметров ДС (оптическая плотность наружной и внутренней фасетки, области хрящевой пластинки) по Хаунсфилду (HU, Hounsfield unit).

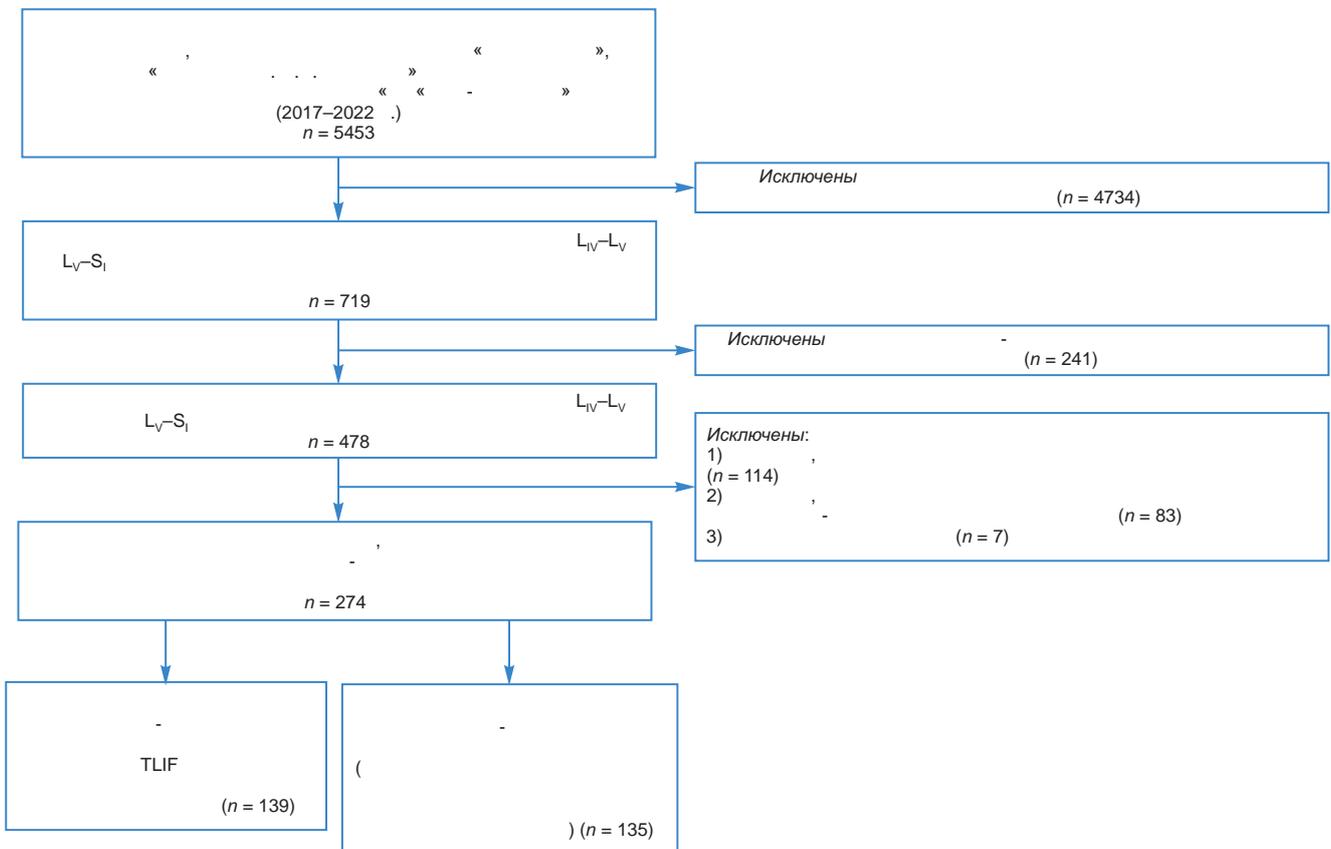


РИС. 1. Флю-чарт пациентов, включённых в исследование

FIG. 1. Flowchart of patients included in the study

Оценка клинических результатов и комплекса инструментальных параметров проводилась до операции и через 6, 12, 36, 60 месяцев после хирургического лечения.

Статистическая обработка полученных данных проводилась методами вариационной статистики с использованием стандартных пакетов Microsoft Excel 2016 (Microsoft Corp., США), Statistica 12.0 (StatSoft Inc., США), BioStat (AnalystSoft, США). Также с помощью стандартного управления в MS Excel проводили выборку значений середины таблицы для вывода на диаграмму в стиле символа бесконечности. Благодаря сравнительной диаграмме выявлены преимущества и недостатки каждого способа фиксации. При создании базы данных использовался редактор электронных таблиц Microsoft Excel 2016 (Microsoft Corp., США). В случае отличного от нормального типа распределения использовались непараметрические критерии: межгрупповой анализ с использованием критерия Манна – Уитни (p_{M-U}), внутригрупповой – с использованием критерия Вилкоксона (p_W). Статистическое измерение связи (силы и направления) между признаками проводилось с помощью вычисления коэффициента корреляции рангов Спирмена (r_s) с последующей оценкой диагностической значимости (бинарные логистические ряды, Z-тест). Расчёт объёма выборки проводился по формуле Лера для мощности 80 % и двухстороннего уровня статистической значимости $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

При изучении изменения болевого синдрома в поясничном отделе позвоночника и нижних конечностях отмечена положительная динамика ($p_W < 0,05$) в обеих группах исследуемых пациентов (рис. 2).

Сравнительная оценка функционального состояния по ODI и SF-36 выявила сопоставимый уровень

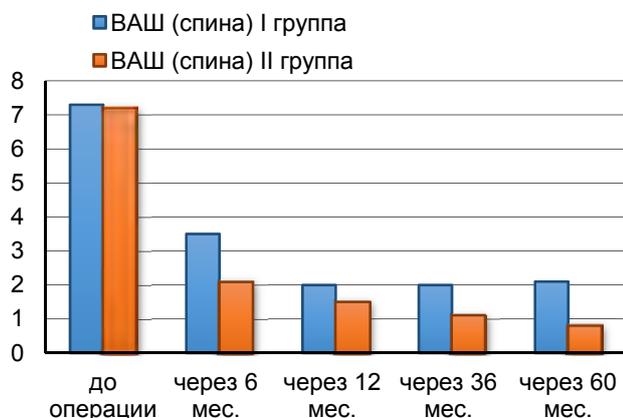


РИС. 2. Динамика болевого синдрома (по ВАШ (0–10 см)) в поясничном отделе позвоночника и в нижних конечностях в исследуемых группах пациентов

дооперационных параметров в исследуемых группах ($p_{M-U} > 0,05$). В сроки 6, 12, 36 и 60 месяцев после оперативного лечения во II группе верифицирован лучший функциональный статус ($p_{M-U} < 0,05$) по сравнению с I группой (рис. 3, 4).

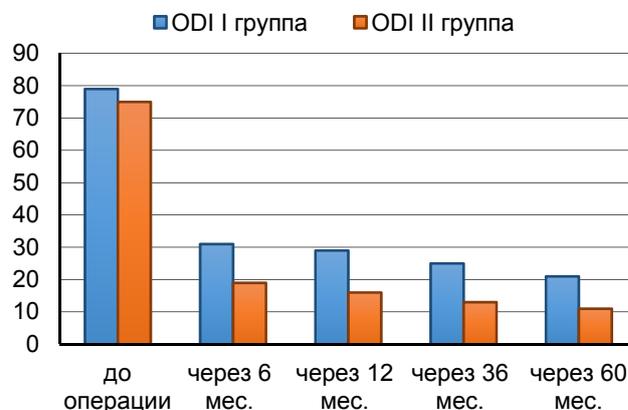


РИС. 3. Динамика функционального состояния по ODI (0–100 %) в исследуемых группах пациентов

FIG. 3. Dynamics of the functional state according to Oswestry Disability Index (0–100 %) in the studied groups of patients

Оценки степени дегенеративных изменений МПД проксимального ПДС представлена в таблице 1.

При анализе выявлено статистически значимое изменение степени дегенерации в I группе ($p_W = 0,03$), при этом во II группе значительных дегенеративных изменений в отдалённом послеоперационном периоде не зарегистрировано ($p_W = 0,47$) (табл. 1).

При сравнении результатов ДВ-МРТ в исследуемых группах выявлено статистически значимое прогрессиру-

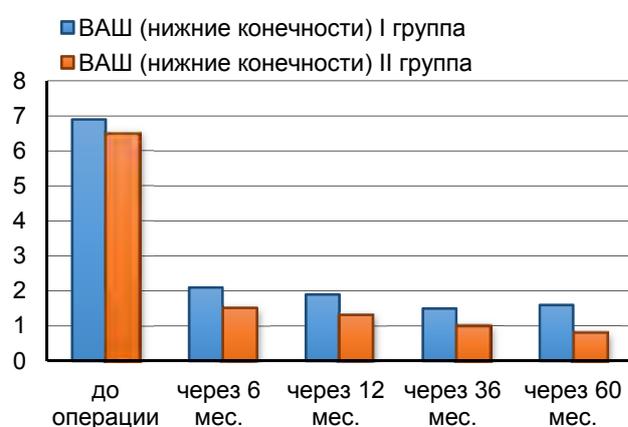


FIG. 2. Dynamics of pain syndrome (according to visual analogue scale (0–10 cm)) in the lumbar spine and lower extremities in the studied groups of patients

вание дегенерации МПД в I группе ($p_w = 0,01$), при этом во II группе значительных дегенеративных изменений проксимального сегмента в отдалённом послеоперационном периоде не отмечено ($p_w = 0,73$) (табл. 2).

После проведённого хирургического лечения в I группе в 24,1 % случаев выявлено прогрессирующее дегенерации проксимального МПД. В сроки от 12 до 60 месяцев после операции у 29 пациентов потребо-

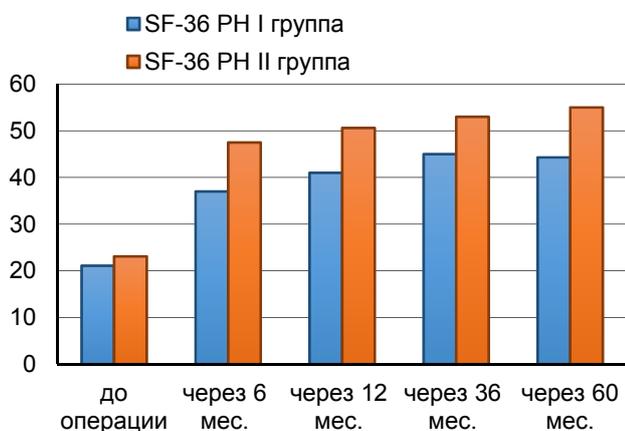


РИС. 4.
Динамика функционального состояния по SF-36 в исследуемых группах пациентов: PH – физический компонент здоровья (physical health); MH – психологический компонент здоровья (mental health)

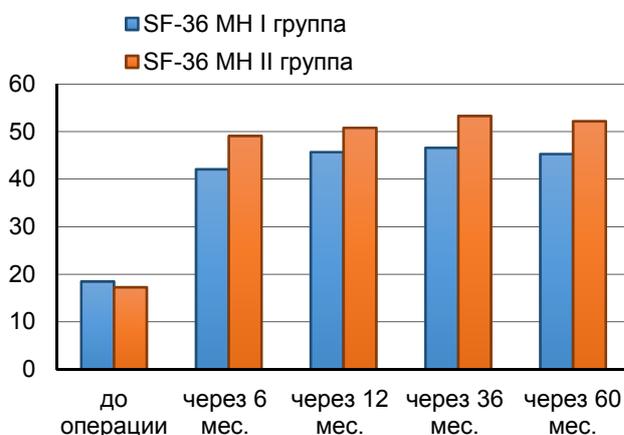


FIG. 4.
Dynamics of the functional state according to SF-36 questionnaire in the studied groups of patients: PH – Physical Health; MH – Mental Health

ТАБЛИЦА 1
ДЕГЕНЕРАТИВНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРОКСИМАЛЬНОГО МЕЖПОЗВОНКОВОГО ДИСКА У ПАЦИЕНТОВ ИССЛЕДУЕМЫХ ГРУПП

Признак	I группа (n = 139)		II группа (n = 135)	
	до операции	через 60 месяцев	до операции	через 60 месяцев
I	–	–	–	–
II	68 (47,3)	32 (22,1)	69(50,1)	62 (45,3)
III	71 (52,7)	96 (68,8)	66(49,9)	73 (54,7)
IV	–	11 (9,1)	–	–
V	–	–	–	–

TABLE 1
DEGENERATIVE CHANGES OF PROXIMAL INTERVERTEBRAL DISC IN PATIENTS OF THE STUDIED GROUPS

ТАБЛИЦА 2
РЕЗУЛЬТАТЫ ДИФфуЗИОННО-ВЗВЕШЕННОЙ МРТ ПРОКСИМАЛЬНОГО МЕЖПОЗВОНКОВОГО ДИСКА У ПАЦИЕНТОВ ИССЛЕДУЕМЫХ ГРУПП

Признак	I группа (n = 139)		II группа (n = 135)	
	до операции	через 60 месяцев	до операции	через 60 месяцев
Измеряемый коэффициент диффузии (мм ² /с), Me (25; 75)	1422 (1366; 1471)	1118 (1017; 1293)	1438 (1367; 1492)	1412 (1338; 1482)

TABLE 2
RESULTS OF DIFFUSION-WEIGHTED MAGNETIC RESONANCE IMAGING OF PROXIMAL INTERVERTEBRAL DISC IN PATIENTS OF THE STUDIED GROUPS

вались ревизионные вмешательства с продлением ригидной фиксации.

Во II группе дегенерация смежного проксимального МПД отмечена в 5,8 % случаев ($p_{M-U} = 0,01$). Ревизионное вмешательство с продлением динамической стабилизации выполнено у 2 пациентов в сроки 36 и 60 месяцев после первичного вмешательства. Частота встречаемости ДЗСС у пациентов I группы составила 20,1 %, во II группе – 2,0 % ($p_{M-U} = 0,002$).

При анализе выраженности дегенерации ДС по результатам ДЭКТ до операции зарегистрирована сопоставимая оптическая плотность элементов ДС между группами ($p_{M-U} < 0,05$).

Через 60 месяцев отмечено прогрессирование дегенеративных процессов в ДС: в I группе плотность хрящевой пластинки увеличивалась на 13,4 % от дооперационных показателей, плотность наружной фасетки – на 15,1 %, плотность внутренней фасетки – на 15,6 %. Во II группе плотность хрящевой пластинки увеличивалась на 3,7 % от дооперационных показателей, плотность наружной фасетки – на 4,1 %, плотность внутренней фасетки – на 2,2 % ($p_{M-U} < 0,05$) (табл. 3).

При сравнительном анализе по 5-балльной системе с расчётом риска и положительного результата стратегии по предложенным моделям оперативных вмешательств использовали тепловую карту для визуальной детализации степени дегенеративных процессов в ДС (рис. 5, 6). Каждый риск описан числом критериев, таких как оптическая плотность наружной и внутренней фасетки, области хрящевой пластинки по Хаунсфилду. Значение каждого из критериев риска ранжировали по вероятности наступления риска.

Так, при использовании традиционного способа с моноsegmentарной ригидной фиксацией (I группа) зарегистрировано прогрессирование дегенеративных процессов в элементах ДС, что может служить фактором риска развития ДЗСС в 75 % случаев. В то же время при использовании динамической стабилизации (II группа) степень дегенеративных изменений составила 50 % (рис. 6), что свидетельствовало о правильном распределении биомеханической нагрузки на верхний смежный сегмент.

Клинические примеры (рис. 7, 8) демонстрируют динамику дегенеративных процессов в МПД и ДС проксимального сегмента у пациентов I и II групп по данным ДВ-МРТ и ДЭКТ до операции и через 60 месяцев после хирургического вмешательства.

ОБСУЖДЕНИЕ

Неудовлетворительные исходы после выполнения ригидных декомпрессивно-стабилизирующих вмешательств в большинстве случаев связаны с нарушением естественной биомеханики элементов смежных сегментов [22]. Это стимулирует исследователей и клиницистов, с одной стороны, анализировать возможные факторы риска развития ДЗСС, с другой – использовать устройства, которые сохраняют нормальные параметры биомеханики оперированных и смежных сегментов [23, 24]. ДЗСС затрагивает ДС и МПД, являющиеся важными структурными элементами ПДС. Комплексная дооперационная нейровизуализация анатомических структур позвоночных сегментов позволяет прогнозировать отдалённые клинические результаты и своевременно принимать профилактические меры по предотвращению развития ДЗСС [16, 25].

Так, J. Anandjiwala и соавт. [26] в своём проспективном исследовании выявили высокую частоту встречаемости признаков дегенерации смежных сегментов/ДЗСС у респондентов с исходной дегенерацией смежных МПД III степени по классификации C.W. Pfirrmann. Сходные данные получены в исследовании в работе J. Liang и соавт. [27], в которой чётко делается акцент на исходной дегенерации МПД III степени по C.W. Pfirrmann, что является одним из наиболее точных индикаторов развития ДЗСС.

Исходная дегенерация ДС также имеет важное значение в стабильности смежных ПДС; так, в работе A.M. Wu и соавт. [28] установлено, что исходная дегенерация ДС III степени по A. Fujiwara тоже является предиктором развития нестабильности в сегменте. Аналогич-

ТАБЛИЦА 3
ПОКАЗАТЕЛИ ПЛОТНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ
ДУГООТРОСЧАТЫХ СУСТАВОВ ВЕРХНЕГО СМЕЖНОГО
УРОВНЯ У ПАЦИЕНТОВ ИССЛЕДУЕМЫХ ГРУПП

TABLE 3
DENSITY INDICATORS OF THE ELEMENTS OF FACET
JOINT OF THE UPPER ADJACENT LEVEL IN PATIENTS
OF THE STUDIED GROUPS

Признаки	I группа (n = 139)		II группа (n = 135)	
	до операции	через 60 месяцев	до операции	через 60 месяцев
Плотность хрящевой пластинки, HU	164,8 ± 14,2	221,2 ± 10,5	161,7 ± 15,8	171,2 ± 3,9
Плотность наружной фасетки, HU	713,65 ± 13,6	1035,3 ± 21,6	702,43 ± 12,3	730,9 ± 4,8
Плотность внутренней фасетки, HU	582,1 ± 15,1	899,9 ± 9,2	575,5 ± 11,6	586,2 ± 4,1

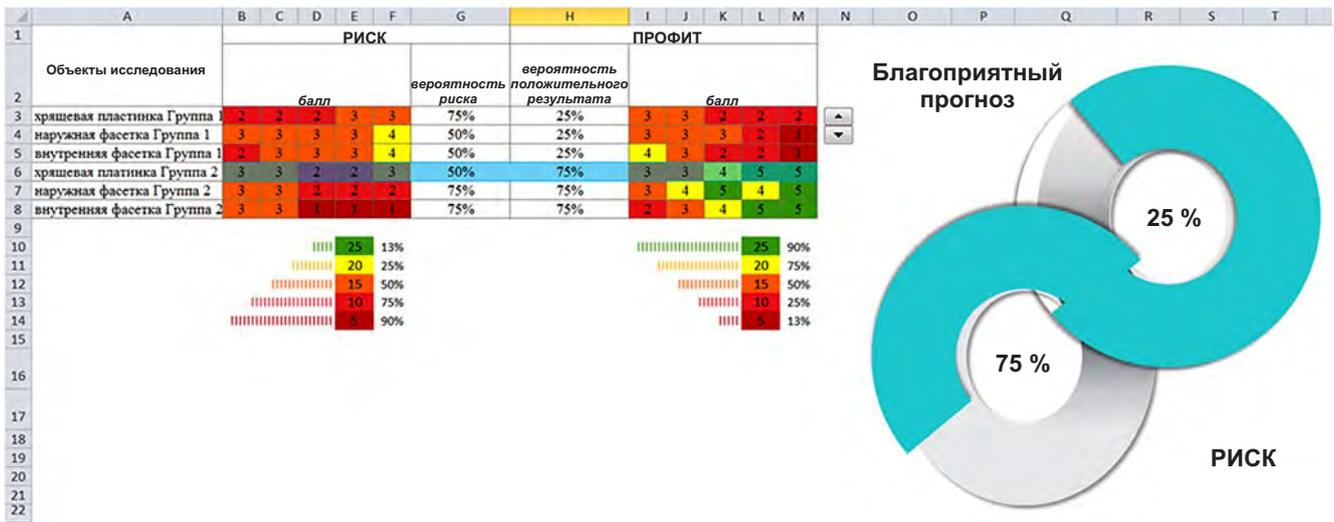


РИС. 5. Сравнительный анализ состояния дугоотростчатых суставов с оценкой рисков прогрессирования дегенерации и положительных результатов лечения после ригидной фиксации (группа I)

FIG. 5. Comparative analysis of the state of facet joint with an assessment of the risks of degeneration progression and positive treatment results after rigid fixation (group I)

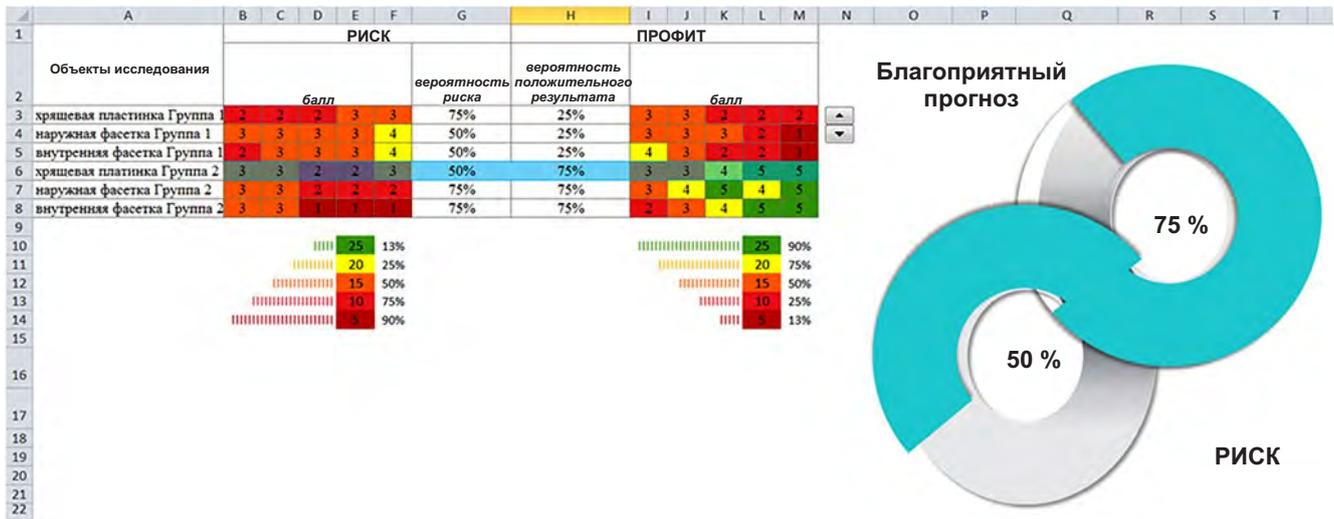


РИС. 6. Сравнительный анализ состояния дугоотростчатых суставов с оценкой рисков прогрессирования дегенерации и положительных результатов лечения после динамической стабилизации (II группа)

FIG. 6. Comparative analysis of the state of facet joint with an assessment of the risks of degeneration progression and positive treatment results after dynamic stabilization (group II)

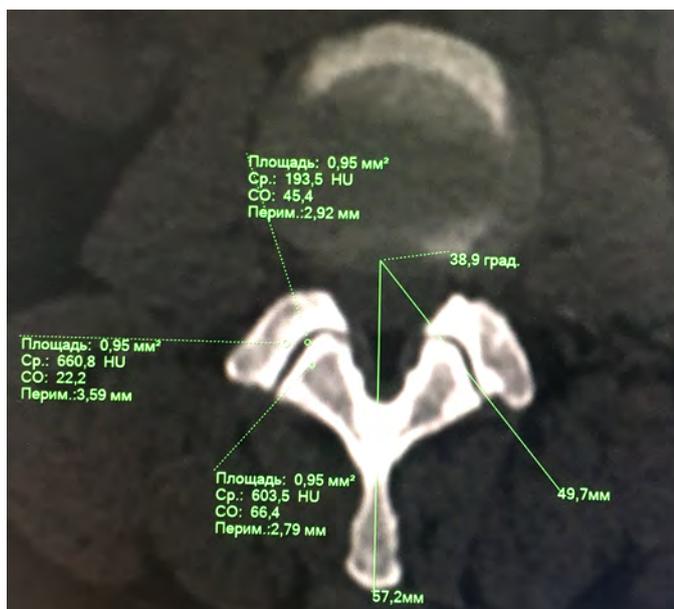
ные результаты получены в работе S.V. Nadlow и соавт. [29] и A. Fujiwara и соавт. [30]. Авторы сообщают о недостаточной оценке хирургами степени исходной дегенерации смежного ПДС, а в частности, его динамических структур. Настоящее работа полностью подтверждает результаты ранее проведённых клинко-инструментальных исследований, а использование чувствительных методов нейровизуализации, таких как ДВ-МРТ и ДЭКТ, позволяет проводить оценку дегенеративных процессов на всех этапах лечения.

Проведённое исследование наглядно показало, что у пациентов, перенёвших заднюю траспедикулярную

фиксацию с использованием стержней из нитинола, получены лучшие отдалённые клинические результаты; данные результаты коррелируют с результатами ранее проведённых работ в направлении эффективности использования штанг и нитинола в сравнении с ригидной фиксацией [31, 32]. Так, во II группе респондентов прогрессирование дегенеративных процессов в МПД составило 5,8 %, и только в 2 % случаев регистрировали ДЗСС. В I группе зарегистрировано прогрессирование дегенеративных изменений ДС в виде увеличения оптической плотности хрящевой пластинки на 13,4 %, плотности наружной фасетки – на 15,1 %, плотности внутренней фа-



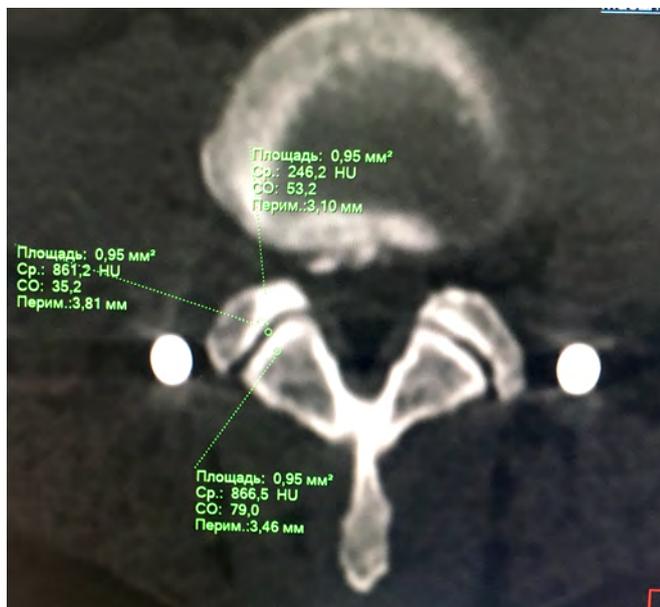
а



б



в



г

РИС. 7.

Пациент С., 32 года. Дегенеративное заболевание поясничного отдела позвоночника в сегменте L_{IV}-S_I; **а** – диффузионно-взвешенная МРТ (ИКД: L_{IV}-S_I – 1102 мм²/с; L_{IV}-L_V – 1415 мм²/с); **б** – аксиальная проекция КТ дугоотросчатого сустава (плотность хрящевой пластинки – 193,5 HU, наружной фасетки – 660,8 HU, внутренней фасетки – 603,3 HU); **в** – сагиттальная проекция диффузионно-взвешенной МРТ после оперативного вмешательства по методике TLIF и открытой транспедикулярной ригидной фиксации (ИКД: L_{IV}-L_V – 1175 мм²/с, отрицательная динамика); **г** – аксиальная проекция КТ дугоотросчатого сустава после оперативного вмешательства по методике TLIF и открытой транспедикулярной ригидной фиксации (плотность хрящевой пластинки – 246,2 HU, наружной фасетки – 861,2 HU, внутренней фасетки – 886,6 HU; отрицательная динамика увеличения плотности элементов дугоотросчатого сустава сегмента L_{IV}-L_V)

FIG. 7.

Patient S., 32 years old. Degenerative diseases of the lumbar spine in the L_{IV}-S_I segment: **а** – diffusion-weighted magnetic resonance imaging (measured diffusion coefficient: L_{IV}-S_I – 1102 mm²/sec, L_{IV}-L_V – 1415 mm²/sec); **б** – axial projection of computed tomography of facet joint (cartilaginous plate density – 193.5 HU, outer facet density – 660.8 HU, inner facet density – 603.3 HU); **в** – sagittal projection of diffusion-weighted magnetic resonance imaging after TLIF surgery and open transpedicular rigid fixation (measured diffusion coefficient: L_{IV}-L_V – 1175 mm²/sec, negative dynamics); **г** – axial projection of computed tomography of facet joint after surgical intervention using TLIF technique and open transpedicular rigid fixation (cartilaginous plate density – 246.2 HU, outer facet density – 861.2 HU, inner facet density – 886.6 HU; negative dynamics of an increase in the density of facet joint elements of L_{IV}-L_V segment)



а



б



в



г

РИС. 8.

Пациент Н., 36 лет. Дегенеративное заболевание поясничного отдела позвоночника в сегменте L_V-S_I; **а** – диффузионно-взвешенная МРТ (ИКД: L_V-S_I – 1141 мм²/с, L_{IV}-L_V – 1424 мм²/с); **б** – аксиальная проекция двухэнергетической КТ дугоотростчатого сустава (плотность хрящевой пластинки – 177,5 HU, наружной фасетки – 639,5 HU, внутренней фасетки – 630,8 HU); **в** – сагиттальная проекция диффузионно-взвешенной МРТ после декомпрессии со стабилизацией операционного сегмента стержнями из нитинола (ИКД: L_{IV}-L_V – 1395 мм²/с, без прогрессирования дегенерации смежного уровня по ИКД); **г** – аксиальная проекция двухэнергетической КТ дугоотростчатого сустава после декомпрессии со стабилизацией операционного сегмента стержнями из нитинола (плотность хрящевой пластинки – 192,0 HU, наружной фасетки – 693,2 HU, внутренней фасетки – 632,0 HU; незначительное прогрессирование дегенеративных процессов в элементах дугоотростчатого сустава сегмента L_{IV}-L_V)

FIG. 8.

Patient N., 36 years old. Degenerative disease of the lumbar spine in the L_V-S_I segment: **a** – diffusion-weighted magnetic resonance imaging (measured diffusion coefficient: L_V-S_I – 1141 mm²/sec, L_{IV}-L_V – 1424 mm²/sec); **b** – axial projection of computed tomography of facet joint (cartilaginous plate density – 177.5 HU, outer facet density – 639.5 HU, inner facet density – 630.8 HU); **v** – sagittal projection of diffusion-weighted magnetic resonance imaging after decompression with stabilization of the operative segment with nitinol rods (measured diffusion coefficient: L_{IV}-L_V – 1395 mm²/sec, no progression of adjacent level degeneration according to measured diffusion coefficient); **г** – axial projection of computed tomography of facet joint after decompression with stabilization of the operative segment with nitinol rods (cartilaginous plate density – 192.0 HU, outer facet density – 693.2 HU, inner facet density – 632.0 HU; slight progression of degenerative processes in the facet joint elements of L_{IV}-L_V segment)

сетки – на 15,6 %. Во II группе выявлены незначительные изменения в виде увеличения оптической плотности: хрящевой пластинки – на 5,7 %, наружной фасетки – на 7,8 %, внутренней фасетки – на 4,2 %.

Таким образом, при сочетании исходной дегенерации проксимального сегмента в виде дегенерации ДС с плотностью хрящевой пластинки $163,5 \pm 14,2$ НУ, наружной фасетки – $709,35 \pm 13,6$ НУ, внутренней фасетки – $578,1 \pm 12,1$ НУ, дегенерации МПД III, IV степени по С.W. Pfirrmann и ИКД менее $1300 \text{ мм}^2/\text{с}$ имеются высокие риски развития ДЗСС, что регламентирует использование моносегментарной динамической фиксации с использованием стержней из нитинола или проведение превентивной ригидной фиксации смежного сегмента. Это позволит уменьшить число ранних и поздних ревизионных вмешательств, что согласуется с ранее проведёнными экспериментальными исследованиями [33].

Проведение комплексной нейровизуализации в предоперационном периоде при планировании декомпрессиивно-стабилизирующих вмешательств позволяет оценить состояние проксимального МПД и ДС как основных предикторов развития ДЗСС, а также проводить прогнозирование отдалённых клинических результатов и своевременно принимать профилактические меры.

Ограничения исследования

Следует отметить, что проведённое исследование имеет определённые ограничения. Во-первых, исследование имеет малую однородную выборку без процедуры рандомизации, что может выступать причиной систематической ошибки. Во-вторых, в наблюдении не учитывались параметры фасеточного угла смежного сегмента, аномалия тропизма ДС, постоперационная жировая дегенерация параспинальных мышц и параметры позвоночно-тазового баланса, влияющие на риск развития ДЗСС после выполнения оперативных вмешательств на поясничном отделе позвоночного столба. В-третьих, в работе изучен только один способ профилактики ДЗСС с использованием штанг из нитинола без сравнения с другими видами стабилизации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённое исследование показало, что сочетание исходной дегенерации проксимального сегмента в виде дегенерации ДС с плотностью хрящевой пластинки $163,5 \pm 14,2$ НУ, наружной фасетки $709,35 \pm 13,6$ НУ, внутренней фасетки $578,1 \pm 12,1$ НУ и ИКД проксимального МПД менее $1300 \text{ мм}^2/\text{с}$ повышает риски развития ДЗСС у пациентов с использованием ригидной фиксации на 24 %, тогда как у пациентов с использованием динамической фиксации риски развития составляют 1,2 %, так как сохраняются биомеханические параметры стабилизированного сегмента и таким образом происходит адекватное распределение на смежные сегменты.

Использование комплексной нейровизуализации в предоперационном периоде позволяет проводить прогнозирование результатов хирургического лечения, своевременно принимать профилактические меры

по профилактике ДЗСС и осуществлять динамическое наблюдение за процессами в структурах ПДС.

Конфликт интересов

Авторы настоящего исследования заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Byvaltsev VA, Kalinin AA, Hernandez PA, Shepelev VV, Pestryakov YY, Aliyev MA, et al. Molecular and genetic mechanisms of spinal stenosis formation: Systematic review. *Int J Mol Sci.* 2022; 23(21): 13479. doi: 10.3390/ijms232113479
2. Коновалов Н.А., Назаренко А.Г., Асютин Д.С., Зеленков П.В., Оноприенко Р.А., Королишин В.А., и др. Современные методы лечения дегенеративных заболеваний межпозвоночного диска. Обзор литературы. *Вопросы нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко.* 2016; 80(4): 102-108. [Konovalev NA, Nazarenko AG, Asiutin DS, Zelenkov PV, Onoprienko RA, Korolishin VA, et al. Modern treatments for degenerative disc diseases of the lumbosacral spine. A literature review. *Zhurnal Voprosy Neurokhirurgii Imeni N.N. Burdenko.* 2016; 80(4): 102-108. (In Russ.)). doi: 10.17116/neiro2016804102-108
3. Blumenthal S, Gill K. Complications of the Wiltse pedicle screw fixation system. *Spine (Phila Pa 1976).* 1993; 18(13): 1867-1871. doi: 10.1097/00007632-199310000-00024
4. Du Bois M, Szpalski M, Donceel P. A decade's experience in lumbar spine surgery in Belgium: Sickness fund beneficiaries 2000-2009. *Eur Spine J.* 2012; 21(12): 2693-2703. doi: 10.1007/s00586-012-2381-1
5. Басанкин И.В., Порханов В.А., Тахмазян К.К., Гюльзатян А.А., Малахов С.Б., Калугин Л.Ю., и др. Транспедикулярное эндоскопическое удаление грыж поясничного отдела позвоночника с высокой степенью миграции. *Нейрохирургия.* 2020; 22(3): 42-50. [Basankin IV, Porkhanov VA, Takhmazyan KK, Giulzatyan AA, Malakhov SB, Kalugin LYU, et al. Transpedicular endoscopic removal of highly migrated disc herniations of lumbar spine. *Russian Journal of Neurosurgery.* 2020; 22(3): 42-50. (In Russ.)). doi: 10.17650/1683-3295-2020-22-3-42-50
6. Масевнин С.В., Пташников Д.А., Михайлов Д.А., Смекаленков О.А., Заборовский Н.С., Лапаева О.А., и др. Роль основных факторов риска в раннем развитии синдрома смежного уровня у пациентов после спондилодеза поясничного отдела позвоночника. *Хирургия позвоночника.* 2016; 13(3): 60-67. [Masevnin SV, Ptashnikov DA, Mikhailov DA, Smekalenkov OA, Zaborovsky NS, Lapaeva OA, et al. The role of the main risk factors in the early adjacent segment disease development in patients after lumbar fusion. *Russian Journal of Spine Surgery.* 2016; 13(3): 60-67. (In Russ.)). doi: 10.14531/ss2016.3.60-67
7. Kuchta J, Sobottke R, Eysel P, Simons P. Two year results of interspinous spacer (X-STOP) implantation of 175 patients with neurologic intermittent claudication due to lumbar spinal stenosis. *Eur Spine J.* 2009; 18(6): 823-829. doi: 10.1007/s00586-009-0967-z
8. Lawrence BD, Wang J, Arnold PM, Hermsmeyer J, Norvell DC, Brodke DS. Predicting the risk of adjacent segment pathology after

- lumbar fusion: A systematic review. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2012; 37(Suppl 22): S123-S132. doi: 10.1097/BRS.0b013e31826d60d8
9. Szpalski M, Gunzburg R, Mayer M. Spine arthroplasty: A historical review. *Eur Spine J*. 2002; 11(2): S65-S84. doi: 10.1007/s00586-002-0474-y
10. Wang H, Ma L, Yang D, Wang T, Liu S, Yang S, et al. Incidence and risk factors of adjacent segment disease following posterior decompression and instrumented fusion for degenerative lumbar disorders. *Medicine*. 2017; 96(5): 6032. doi: 10.1097/MD.00000000000006032
11. Prud'homme M, Barrios C, Rouch P, Charles YP, Steib JP, Skalli W. Clinical outcomes and complications after pedicle-anchored dynamic or hybrid lumbar spine stabilization: A systematic literature review. *J Spinal Disord Tech*. 2015; 28(8): E439-E448. doi: 10.1097/BSD.0000000000000092
12. Cai XY, Sun MS, Huang YP, Liu ZX, Liu CJ, Du CF, et al. Biomechanical effect of L4-L5 intervertebral disc degeneration on the lower lumbar spine: A finite element study. *Orthop Surg*. 2020; 12(3): 917-930. doi: 10.1111/os.12703
13. Senegas J. Mechanical supplementation by non-rigid fixation in degenerative intervertebral lumbar segments: The Wallis system. *Eur Spine J*. 2002; 11(Suppl 2): 164-169. doi: 10.1007/s00586-002-0423-9
14. Афаунов А.А., Басанкин И.В., Кузьменко А.В., Шаповалов В.К., Муханов М.Л. Предоперационное планирование при хирургическом лечении больных с поясничным спинальным стенозом дегенеративной этиологии. *Инновационная медицина Кубани*. 2020; 17(1): 6-15. [Afaunov AA, Basankin IV, Kuzmenko AV, Shapovalov VK, Mukhanov ML. Pre-operative planning in surgical treatment of patients with lumbar spinal stenosis of degenerative etiology. *Innovative Medicine of Kuban*. 2020; (1): 6-15. (In Russ.)]. doi: 10.35401/2500-0268-2020-17-1-6-15
15. Ghasemi AA. Adjacent segment degeneration after posterior lumbar fusion: An analysis of possible risk factors. *Clin Neurol Neurosurg*. 2016; (143): 15-18. doi: 10.1016/j.clineuro.2016.02.004
16. Yun YI, Jeon I, Kim SW, Yu D. Risk factors for adjacent segment disease requiring reoperation after posterior lumbar interbody fusion with screw fixation: Focus on paraspinal muscle, facet joint, and disc degeneration. *Acta Neurochir (Wien)*. 2022; 164(3): 913-922. doi: 10.1007/s00701-021-05073-x
17. Belykh E, Kalinin AA, Patel AA, Miller EJ, Bohl MA, Stepanov IA, 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
18. Byvaltsev VA, Kalinin AA, Shepelev VV, Pestryakov YY, Aliyev MA, Riew KD. Minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion (TLIF) compared with open TLIF for acute cauda equina syndrome: A retrospective single-center study with long-term follow-up. *World Neurosurg*. 2022; 166: e781-e789. doi: 10.1016/j.wneu.2022.07.148
19. Кривошеин А.Е., Конев В.П., Колесов С.В., Московский С.Н., Игнатьев Ю.Т., Никитенко С.А., и др. Морфологические и рентгенологические параметры фасеточных суставов в зависимости от степени дегенерации межпозвоночных дисков. *Гений ортопедии*. 2020; 26(4): 565-570. [Krivoshein AE, Konev VP, Kolesov SV, Moskovsky SN, Ignatiev YuT, Nikitenko SA, et al. Morphological and radiographic parameters of facet joints and their dependence on the grade of intervertebral disc degeneration. *Genij Ortopedii*. 2020; 26(4): 565-570. (In Russ.)]. doi: 10.18019/1028-4427-2020-26-4-565-570
20. Терновой С.К., Серова Н.С., Абрамов А.С., Терновой К.С. Методика функциональной мультиспиральной компьютерной томографии шейного отдела позвоночника. *REJR*. 2016; 6(4): 38-43. [Ternovoy SK, Serova NS, Abramov AS, Ternovoy KS. Functional multislice computed tomography in the diagnosis of cervical spine vertebral-motor segment instability. *REJR*. 2016; 6(4): 38-43. (In Russ.)]. doi: 10.21569/2222-7415-2016-6-4-38-43
21. Кривошеин А.Е., Конев В.П., Колесов С.В., Московский С.Н. Сравнительный анализ рентгенологических параметров фасеточных суставов при хирургическом лечении пациентов с дегенеративными заболеваниями поясничного отдела позвоночника. *Инновационная медицина Кубани*. 2021; (1): 14-20. [Krivoshein AY, Konev VP, Kolesov SV, Moskovsky SN. Comparative analysis of radiologic aspects of facet joints in surgical treatment of patients with degenerative diseases of the lumbar spine. *Innovative Medicine of Kuban*. 2021; (1): 14-20. (In Russ.)]. doi: 10.35401/2500-0268-2021-21-1-14-20
22. Ebrahimkhani M, Arjmand N, Shirazi-Adl A. Biomechanical effects of lumbar fusion surgery on adjacent segments using musculoskeletal models of the intact, degenerated and fused spine. *Sci Rep*. 2021; 11: 17892. doi: 10.1038/s41598-021-97288-2
23. Bowers C, Amini A, Dailey AT, Schmidt MH. Dynamic interspinous process stabilization: Review of complications associated with the X-STOP device. *Neurosurg Focus*. 2010; 28(6): E8. doi: 10.3171/2010.3.FOCUS1047
24. Gomleksiz C, Sasani M, Okenoglu T, Ozer AF. A short history of posterior dynamic stabilization. *Adv Orthop*. 2012; 2012: 629-698. doi: 10.1155/2012/629698
25. Byvaltsev VA, Kalinin AA, Shepelev VV, Pestryakov YY, Jubaeva BA. Minimally invasive decompression alone versus fusion surgery for acute lumbar disk herniation combined incomplete cauda equina syndrome. *Clin Neurol Neurosurg*. 2023; 225: 107589. doi: 10.1016/j.clineuro.2023.107589
26. Anandjiwala J, Seo JY, Ha KY, Oh IS, Shin DC. Adjacent segment degeneration after instrumented posterolateral lumbar fusion: A prospective cohort study with a minimum five-year follow-up. *Eur Spine J*. 2011; 20(11): 1951-1960. doi: 10.1007/s00586-011-1917-0
27. 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
28. Wu AM, Zhou Y, Li QL, Wu XL, Jin YL, Luo P, et al. Interspinous spacer versus traditional decompressive surgery for lumbar spinal stenosis: A systematic review and meta-analysis. *PLoS One*. 2014; 9(5): e97142. doi: 10.1371/journal.pone.0097142
29. Hadlow SV, Fagan AB, Hillier TM, Fraser RD. The Graf ligamentoplasty procedure. Comparison with posterolateral fusion in the management of low back pain. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1998; 23(10): 1172-1179. doi: 10.1097/00007632-199805150-00020
30. Fujiwara A, Lim TH, An HS, Tanaka N, Jeon CH, Andersson GB, 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
31. Колесов С.В., Казьмин А.И., Швец В.В., Гуца А.О., Полторако Е.Н., Басанкин И.В., и др. Сравнение эффективности приме-

нения стержней из титанола и титановых стержней при хирургическом лечении дегенеративных заболеваний позвоночника с фиксацией пояснично-крестцового отдела. *Травматология и ортопедия России*. 2019; 25(2): 59-70. [Kolesov SV, Kazmin AI, Shvets VV, Gushcha AO, Poltorako EN, Basankin IV, et al. Comparison of nitinol and titanium nails effectiveness for lumbosacral spine fixation in surgical treatment of degenerative spine diseases. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2019; 25(2): 59-70. (In Russ.)]. doi: 10.21823/2311-2905-2019-25-2-59-70

32. Левченко С.К., Древалъ О.Н., Ильин А.А., Коллеров М.Ю., Рынков И.П., Басков А.В. Экспериментально-анатомическое

исследование функциональной транспедикулярной стабилизации позвоночника. *Вопросы нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко*. 2011; 1: 20-26. [Levchenko SK, Dreval' ON, Ilyin AA, Kollerov MYu, Rynkov IP, Baskov AV. Experimental anatomical study of transpedicular stabilization of the spine. *Zhurnal Voprosy Neurokhirurgii Imeni N.N. Burdenko*. 2011; 75(1): 20-26. (In Russ.)].

33. Yamasaki K, Hoshino M, Omori K, Igarashi H, Nemoto Y, Tsuruta T, et al. Risk factors of adjacent segment disease after transforaminal inter-body fusion for degenerative lumbar disease. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2017; 42(2): E86-E92. doi: 10.1097/BRS.0000000000001728

Сведения об авторах

Кривошеин Артем Евгеньевич – кандидат медицинских наук, доцент кафедры травматологии и ортопедии, ФГБОУ ВО «Омский государственный медицинский университет» Минздрава России; научный руководитель отделения травматологии № 2, БУЗОО «Клинический медико-хирургический центр Министерства здравоохранения Омской области», e-mail: artem.vertebra@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1883-6784>

Колесов Сергей Васильевич – доктор медицинских наук, профессор, заведующий отделением патологии позвоночника № 7, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени Н.Н. Приорова» Минздрава России, e-mail: dr-kolesov@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9657-8584>

Калинин Андрей Андреевич – кандидат медицинских наук, доцент, врач-нейрохирург Центра нейрохирургии, ЧУЗ «Клиническая больница «РЖД-Медицина»; доцент кафедры нейрохирургии и инновационной медицины, ФГБОУ ВО «Иркутский государственный медицинский университет» Минздрава России, e-mail: andrei_doc_v@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6059-4344>

Конеv Владимир Павлович – доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры судебной медицины и правоведения, ФГБОУ ВО «Омский государственный медицинский университет» Минздрава России, e-mail: vpkonev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5549-6897>

Казмин Аркадий Иванович – кандидат медицинских наук, врач отделения патологии позвоночника № 7, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени Н.Н. Приорова» Минздрава России, e-mail: kazmin.cito@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2330-0172>

Московский Сергей Николаевич – кандидат медицинских наук, доцент, заведующий кафедрой судебной медицины и правоведения, ФГБОУ ВО «Омский государственный медицинский университет» Минздрава России, e-mail: Moscow-5@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8867-595X>

Бывальцев Вадим Анатольевич – доктор медицинских наук, профессор, руководитель Центра нейрохирургии, ЧУЗ «Клиническая больница «РЖД-Медицина»; заведующий кафедрой нейрохирургии и инновационной медицины, ФГБОУ ВО «Иркутский государственный медицинский университет» Минздрава России; профессор кафедры травматологии, ортопедии и нейрохирургии, Иркутская государственная медицинская академия последипломного образования – филиал ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России, e-mail: byval75vadim@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4349-7101>

Information about the authors

Artem E. Krivoschein – Cand. Sc. (Med.), Associate Professor at the Department of Traumatology and Orthopedics, Omsk State Medical University; Research Supervisor of the Department of Traumatology No. 2, Clinical Medical and Surgical Center of the Ministry of Health of the Omsk region, e-mail: artem.vertebra@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1883-6784>

Sergey V. Kolesov – Dr. Sc. (Med.), Professor, Head of the Department of Spinal Pathology No. 7, National Medical Research Center for Traumatology and Orthopedics named after N.N. Priorov, e-mail: dr-kolesov@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9657-8584>

Andrei A. Kalinin – Cand. Sc. (Med.), Docent, Neurosurgeon at the Center for Neurosurgery, Clinical Hospital "Russian Railways-Medicine"; Associate Professor at the Department of Neurosurgery and Innovative Medicine, Irkutsk State Medical University, e-mail: andrei_doc_v@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6059-4344>

Vladimir P. Konev – Dr. Sc. (Med.), Professor, Professor at the Department of Forensic Medicine and Law Science Omsk State Medical University, e-mail: vpkonev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5549-6897>

Arkadii I. Kazmin – Cand. Sc. (Med.), Physician at the Department of Spinal Pathology No. 7, National Medical Research Center for Traumatology and Orthopedics named after N.N. Priorov, e-mail: kazmin.cito@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2330-0172>

Sergey N. Moskovskiy – Cand. Sc. (Med.), Docent, Head of the Department of Forensic Medicine and Law Science, Omsk State Medical University, e-mail: Moscow-5@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8867-595X>

Vadim A. Byvaltsev – Dr. Sc. (Med.), Professor, Head of the Center for Neurosurgery, Clinical Hospital "Russian Railways-Medicine"; Head of the Department of Neurosurgery and Innovative Medicine, Irkutsk State Medical University; Professor at the Department of Traumatology, Orthopedics and Neurosurgery, Irkutsk State Medical Academy of Postgraduate Education – Branch Campus of the Russian Medical Academy of Continuing Professional Education, e-mail: byval75vadim@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4349-7101>