

НЕВРОЛОГИЯ И НЕЙРОХИРУРГИЯ NEUROLOGY AND NEUROSURGERY

КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ХИРУРГИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ ПАЦИЕНТОВ С ДЕГЕНЕРАТИВНЫМИ ЗАБОЛЕВАНИЯМИ ПОЯСНИЧНОГО ОТДЕЛА ПОЗВОНОЧНИКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РИГИДНЫХ СИСТЕМ ФИКСАЦИИ

РЕЗЮМЕ

Кривошеин А.Е.^{1,3},
Конев В.П.¹,
Колесов С.В.²,
Ерофеев С.А.^{1,3},
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 ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени Н.Н. Приорова» Минздрава России (127299, г. Москва, ул. Приорова, 10, Россия)

³ БУЗОО «Клинический медико-хирургический центр Министерства здравоохранения Омской области» (644007, г. Омск, ул. Булатова, 105, 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)

Введение. По данным литературы, развитие синдрома смежного уровня через 10 лет после задней ригидной стабилизации отмечается у 6,7–80 % больных, из которых у 24 % возникает необходимость ревизионных операций.

Цель исследования. Провести комплексный анализ результатов хирургического лечения пациентов с дегенеративными заболеваниями поясничного отдела позвоночника с использованием ригидных систем фиксации.

Материалы и методы. Проведено мультицентровое ретроспективное исследование результатов хирургического лечения 268 пациентов с дегенеративно-дистрофическими заболеваниями поясничного отдела позвоночника, которым было проведено моно- или бисегментарное декомпрессиивно-стабилизирующее вмешательство с выполнением методики TLIF (Transforaminal Lumbar Interbody Fusion) и открытой транспедикулярной ригидной фиксации. Исследование включало рентгенографию, магнитно-резонансную и компьютерную томографию (в двухэнергетическом режиме) межпозвонковых дисков и изолированной фасеточной дегенерации верхнего смежного уровня.

Результаты и обсуждение. Сочетание исходной дегенерации смежного позвоночно-двигательного сегмента в виде дегенерации диска III степени и выше по Pfirrtapp с пороговыми значениями плотности наружной хрящевой пластинки от $161,7 \pm 18,8$ до $164,8 \pm 14,2$ НУ, плотности наружной фасетки – от $702,43 \pm 12,3$ до $713,65 \pm 13,6$ НУ и плотности внутренней фасетки – от $580,5 \pm 11,6$ до $582,1 \pm 15,1$ НУ, а также с признаками сегментарной нестабильности смежного сегмента можно рассматривать как факторы риска развития его дегенерации. При прогрессировании дегенерации верхнего межпозвонкового диска в сроки 12–60 месяцев после операции проводились ревизионные вмешательства.

Заключение. Проведение бисегментарной стабилизации с признаками исходной дегенерации в межпозвонковом диске и фасеточных суставах в верхнем сегменте доказало свою клинико-инструментальную эффективность в сроке 36 месяцев, позволяя снизить риски развития дегенеративного заболевания смежного диска.

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

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

Статья получена: 10.11.2021

Статья принята: 31.05.2022

Статья опубликована: 06.09.2022

Для цитирования: Кривошеин А.Е., Конев В.П., Колесов С.В., Ерофеев С.А., Московский С.Н., Бывальцев В.А. Комплексный анализ результатов хирургического лечения пациентов с дегенеративными заболеваниями поясничного отдела позвоночника с использованием ригидных систем фиксации. *Acta biomedica scientifica*. 2022; 7(4): 71-82. doi: 10.29413/ABS.2022-7.4.8

COMPREHENSIVE ANALYSIS OF THE RESULTS OF SURGICAL TREATMENT OF PATIENTS WITH DEGENERATIVE DISEASES OF THE LUMBAR SPINE USING RIGID FIXATION SYSTEMS

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

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

² National Medical Research Center
for Traumatology and Orthopedics
named after N.N. Priorov (Priorova str.
10, Moscow 127299,
Russian Federation)

³ Clinical Medical and Surgical Center
of the Ministry of Health of the Omsk
region (Bulatova str. 105, Omsk
644007, Russian Federation)

⁴ The Clinical Hospital "RZD-Medicine"
(Botkina str. 10, Irkutsk 664005,
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

Introduction. According to the literature, the development of adjacent-level syndrome 10 years after posterior rigid stabilization is noted in 6.7–80 % of patients, of which 24 % require revision surgery.

The aim: to conduct a comprehensive analysis of the results of surgical treatment of patients with degenerative diseases of the lumbar spine using rigid fixation systems.

Materials and methods. A multicenter retrospective study of the results of surgical treatment of 268 patients with degenerative-dystrophic diseases of the lumbar spine, who underwent mono- or bisegmental decompression-stabilizing intervention with the implementation of the TLIF (Transforaminal Lumbar Interbody Fusion) technique and open transpedicular rigid fixation, was conducted. The study included radiography, MRI and CT (in 2-energy mode) of intervertebral discs and isolated facet degeneration of the upper adjacent level.

Results and discussion. The combination of the initial degeneration of the adjacent spinal motion segment in the form of disc degeneration of grade III and higher according to Pfirrmann with threshold values of the density of the outer cartilaginous plate from 161.7 ± 18.8 to 164.8 ± 14.2 HU, the density of the outer facet – from 702.43 ± 12.3 to 713.65 ± 13.6 HU and the density of the inner facet – from 580.5 ± 11.6 to 582.1 ± 15.1 HU, as well as with signs of segmental instability of the adjacent segment can be considered as risk factors for the development of its degeneration. With the progression of degeneration of the upper intervertebral disc, revision interventions were performed within 12–60 months after surgery.

Conclusion. Bisegmental stabilization with signs of initial degeneration in the intervertebral disc and facet joints in the upper segment has proven its clinical and instrumental effectiveness in the period of 36 months and reduces the risks of developing degenerative disease of the adjacent disc.

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

For citation: Krivoschein A.E., Konev V.P., Kolesov S.V., Erofeev S.A., Moskovskiy S.N., Byvaltsev V.A. Comprehensive analysis of the results of surgical treatment of patients with degenerative diseases of the lumbar spine using rigid fixation systems. *Acta biomeica scientifica*. 2022; 7(4): 71-82. doi: 10.29413/ABS.2022-7.4.8

Received: 10.11.2021

Accepted: 31.05.2022

Published: 06.09.2022

ВВЕДЕНИЕ

Декомпрессивно-стабилизирующие вмешательства являются базовыми методами хирургического лечения пациентов с дегенеративными заболеваниями поясничного отдела позвоночника. Они проводятся большинству пациентов и позволяют добиться купирования неврологической симптоматики и значительно улучшить качество жизни пациентов [1, 2]. Несмотря на положительные результаты, использование стабилизирующих систем фиксации поражённого позвоночно-двигательного сегмента (ПДС) приводит к нарушению кинематики смежного сегмента, вызывая перегрузку его элементов и, как следствие, появление или усугубление дегенеративно-дистрофических процессов в нём [3, 4]. Развитие синдрома смежного уровня в настоящее время является самым нежелательным и частым осложнением после декомпрессивно-стабилизирующих вмешательств, при этом процессы дегенерации затрагивают как межпозвоночный диск, так и фасеточные суставы с последующим развитием нестабильности в сегменте [5].

По данным литературы, развитие синдрома смежного уровня через 10 лет после задней ригидной стабилизации отмечается у 6,7–80 % больных, из которых у 24 % возникает необходимость ревизионных операций, при этом в подавляющем большинстве случаев затрагивается верхний смежный сегмент [6–9].

Одним из главных способов оценки функционального состояния прилежащего сегмента является детальная предоперационная оценка его инструментальных параметров [10]. Исходя из этого, современный предоперационный диагностический комплекс должен включать стандартную и функциональную рентгенографию, магнитно-резонансную томографию (МРТ), мультиспиральную компьютерную томографию (МСКТ) [11, 12]. МРТ-исследование на сегодняшний день является самым распространённым методом нейровизуализации как при планировании, так и при оценке состояния межпозвоночного диска (МПД) по классификации С.В. Pfirmann [13] после хирургического лечения.

Исследования, проведённые J. Liang et al. [14] и K.Y. Na et al. [15], показали статистически значимое влияние выявленной предоперационной дегенерации смежного межпозвоночного диска III–IV степени по С.В. Pfirmann на развитие дегенеративного заболевания смежного сегмента у всех пациентов, перенёвших задний спондилодез. Наличие указанной дегенерации МПД тесно коррелирует с развитием патологической подвижности в сегменте.

Оценка изолированной дегенерации фасеточных суставов (ФС) является эффективным методом прогнозирования развития нестабильности в смежных ПДС. A. Fujiwara et al. [16] доказали, что объём движения ФС увеличивается при начальных стадиях дегенерации МПД и уменьшается при выраженных дегенеративных изменениях. Широкое применение в последнее время получило использование показателей компьютерной томографии (КТ) [17] и двухэнергетической компьютерной то-

мографии (ДЭКТ) с целью оценки параметров ФС и качества костной ткани позвонков, которые имеют важное значение в биомеханике ПДС [18, 19]. Полученные нами ранее экспериментальные и клинические результаты свидетельствуют о выявленной тесной взаимосвязи между морфологическими и рентгенологическими изменениями в ФС при дегенеративных процессах в поясничном отделе позвоночника, а полученные параметры ДЭКТ изолированной фасеточной дегенерации также являются эффективным методом прогнозирования развития нестабильности в смежных ПДС [20].

Как правило, до и после хирургического лечения специалистами преимущественно оценивается зона оперативного вмешательства. При этом не учитываются состояние смежных сегментов, качество костной и хрящевой ткани, образующей позвонки и фасеточные суставы, которые являются факторами риска развития дегенеративного заболевания смежного сегмента и могут влиять на клиническую эффективность применения ригидных систем фиксации ПДС при дегенеративных заболеваниях позвоночника [21].

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Провести комплексный анализ результатов хирургического лечения пациентов с дегенеративными заболеваниями поясничного отдела позвоночника с использованием ригидных систем фиксации.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проведено мультицентровое ретроспективное исследование результатов хирургического лечения пациентов с дегенеративно-дистрофическими заболеваниями поясничного отдела позвоночника 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 РФ № 266 от 19.06.2003. Исследование одобрено Этическим комитетом Омского государственного медицинского университета (протокол № 7 от 12.12.2014). Операции были выполнены в период с января 2015 г. по январь 2020 г. на базах отделения травматологии № 2 (вертебрологии) БУЗОО «КМХЦ МЗОО» (Омск, Россия), отделения патологии позвоночника ФГБУ «НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова» Минздрава России (Москва, Россия) и в центре Нейрохирургии клинической больницы «РЖД-Медицина» (Иркутск, Россия).

В исследование включено 268 пациентов, которым было проведено моно- или бисегментарное декомпрессивно-стабилизирующее вмешательство по общепринятой хирургической методике с применением открытого срединного доступа с двухсторонним

скелетированием параспинальной мускулатуры, декомпрессией невралных структур, выполнением методики TLIF (Transforaminal Lumbar Interbody Fusion) и открытой транспедикулярной ригидной фиксации. Респонденты были разделены на две группы: группу 1 ($n = 129$), где выполнено моноsegmentарное декомпрессивно-стабилизирующее вмешательство, и группу 2 ($n = 134$), где выполнено бисegmentарное декомпрессивно-стабилизирующее вмешательство; показанием для превентивной дополнительной фиксации смежного сегмента была исходная дегенерация диска выше II степени по Pfirrmann в комбинации с исходной дегенерацией элементов ФС в виде увеличения оптической плотности.

Критериями включения в исследование были: одноуровневая и двухуровневая дегенерация дисков II–V степени по Pfirrmann, длительный рецидивирующий болевой синдром, наличие неврологического дефицита, признаки segmentарной нестабильности, неэффективность консервативной терапии в течение 3–4 месяцев.

Критериями исключения из исследования являлись: наличие спондилолистеза, наличие травм и инфекционных поражений в анамнезе, ранее перенесённые оперативные вмешательства на поясничном отделе позвоночника, подтверждённый опухолевый процесс, сахарный диабет, наличие остеопороза (Т-критерий ниже $-2,5$ SD).

Исследования проводились во всех трёх центрах и основаны на оценке комплекса инструментальных параметров смежных сегментов, которые включали стандартную и функциональную рентгенографию поясничного отдела позвоночника, также оценивалось состояние верхних смежных МПД при помощи МРТ-исследования по классификации С.W. Pfirrmann; оценка состояния изолированной фасеточной дегенерации верхнего смежного уровня проводилась при помощи МСКТ в 2-энергетическом режиме (ДЭКТ) с определением количественных рентгено-морфометрических параметров ФС (оптическая плотность наружной и внутренней фасетки, области хрящевой пластинки) по Хаунсфилду (HU). Оценка комплекса инструментальных параметров проводилась до операции и через 6, 12, 36 и 60 месяцев после хирургического лечения. Данные результатов исследования оцифровывались и обрабатывались с помощью программного обеспечения DICOM Viewer. Измерения проводились двумя независимыми специалистами, которые не были осведомлены о характере проводимого исследования.

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. При создании базы данных использовался редактор электронных таблиц MS Excel 2016. В случае отличного от нормального типа распределения использовались непараметрические критерии. Статистический анализ осуществляли при помощи независимого t-теста, парного t-теста и критерия χ^2 . Ста-

тистическое 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

Результаты проведённого хирургического лечения оценивались в следующем количественном соотношении по срокам:

- через 6 месяцев после операции – у 268 пациентов (100 % от исходного количества);
- через 1 год после операции – у 249 пациентов (93 %);
- через 3 года после операции – у 246 пациентов (92 %);
- через 5 лет после операции – у 201 пациента (75 %).

На этапе предоперационного планирования оценивали степень дегенерации диска вышележащего ПДС по Pfirrmann (табл. 1).

ТАБЛИЦА 1
СТЕПЕНЬ ДЕГЕНЕРАЦИИ ДИСКА ВЫШЕЛЕЖАЩЕГО УРОВНЯ В ГРУППАХ СРАВНЕНИЯ

TABLE 1
THE DEGREE OF DEGENERATION OF THE DISC OF THE OVERLYING LEVEL IN THE COMPARISON GROUPS

Группа	Степень дегенерации диска по Pfirrmann				
	I	II	III	IV	V
Группа 1 ($n = 129$)	54	52	23	0	0
Группа 2 ($n = 134$)	15	21	98	0	0

В группах сравнения при оценке степени дегенерации смежного уровня было установлено, что в группе 1 в 54 случаях дегенерация смежного уровня соответствовала I степени по Pfirrmann, в 52 случаях – II степени. В группе 2 дегенерация МПД смежного уровня была выявлена в 134 случаях, в подавляющем большинстве ($n = 98$) была III степени по Pfirrmann, что являлось основанием для дополнительной бисegmentарной фиксации (табл. 1). Таким образом, из общего числа пациентов ($n = 268$) в 45 % случаев ($n = 121$) была отмечена дегенерация верхнего смежного диска выше II степени по Pfirrmann.

После проведённого хирургического лечения по данным МРТ визуализировалось сохранение дегенеративных изменений верхнего смежного диска в обеих группах (рис. 1).

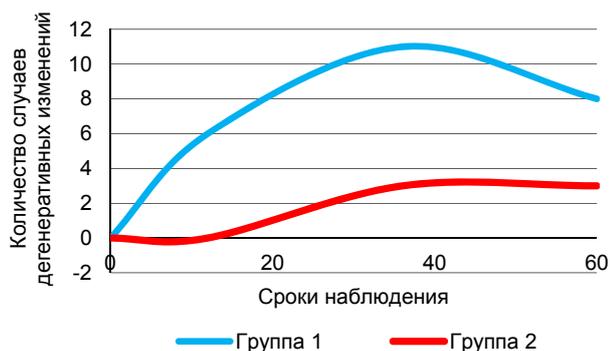


РИС. 1.
Динамика дегенерации верхнего смежного диска в группах сравнения в контрольные токи после хирургического лечения
FIG. 1.
Dynamics of degeneration of the upper adjacent disc in comparison groups in control currents after surgical treatment

Как видно из рисунка 1, в группе 1, где выполнено моносегментарное декомпрессивно-стабилизирующее вмешательство, дегенеративные изменения смежного диска сохранялись в 25 случаях, что значительно больше, чем в группе 2 (6 случаев) (табл. 2).

Помимо этого, при наблюдении за пациентами группы 1 в послеоперационном периоде в различные сроки от 12 до 60 месяцев в 19 случаях потребовались ревизионные вмешательства с продлением ригидной фиксации. Из них в 17 случаях предоперационная дегенерация верхнего смежного диска соответствовала III степени по Pfirrmann, в 8 случаях – II степени (табл. 2).

Во группе 2, с бисегментарной фиксацией, дегенерация смежного диска была отмечена у 6 пациентов на протяжении всего периода наблюдения. Ревизионное вмешательство с продлением ригидной фиксации было выполнено в 3 случаях в срок 60 месяцев, у этих пациентов предоперационная дегенерация верхнего смежного диска соответствовала II степени по Pfirrmann (табл. 2).

ТАБЛИЦА 2
ДИНАМИКА ДЕГЕНЕРАЦИИ ВЕРХНЕГО СМЕЖНОГО ДИСКА В ГРУППАХ СРАВНЕНИЯ И КОЛИЧЕСТВО ПРОВЕДЁННЫХ РЕВИЗИОННЫХ ВМЕШАТЕЛЬСТВ

Сроки наблюдения	Группа сравнения			
	группа 1	p	группа 2	p
количество пациентов/ количество ревизионных вмешательств	количество пациентов/ количество ревизионных вмешательств			
6 месяцев	-/-*	-	-/-	-
12 месяцев	6/3	p = 0,04	-/-	-
36 месяцев	11/10	p = 0,085	3/0	p = 0,04**
60 месяцев	8/4	p = 0,062	3/3	p = 0,04**

Примечание. ** – p < 0,05.

При динамическом наблюдении за группами 1 и 2 мы отметили статистически значимые различия (p < 0,05), подтверждающие минимальный риск осложнений в виде дегенеративных изменений верхнего смежного диска в группе сравнения (группа 2), где выполнено бисегментарное декомпрессивно-стабилизирующее вмешательство.

При анализе степени фасеточной дегенерации по результатам ДЭКТ до операции в группах сравнения оптическая плотность элементов ФС в смежном ПДС не имела статистически значимой разницы (p > 0,05). Так, плотность хрящевой пластинки в группе 1 составляла 164,8 ± 14,2 HU, плотность наружной фасетки – 713,65 ± 13,6 HU, плотность внутренней фасетки – 582,1 ± 15,1 HU; в группе 2 плотность хрящевой пластинки составляла 161,7 ± 18,8 HU, плотность наружной фасетки – 702,43 ± 12,3 HU, плотность внутренней фасетки – 580,5 ± 11,6 HU (табл. 3).

Через 6 месяцев после оперативного лечения в группах 1 и 2 изменения показателей плотности ФС в смежном ПДС в сторону увеличения не имели статистически значимой разницы (p > 0,05): в группе 1 плотность хрящевой пластинки достигала 210,1 ± 16,8 HU (> 12,7 %), наружной фасетки – 1018,1 ± 45,8 HU (> 14,2 %) и внутренней фасетки – 868,1 ± 18,2 HU (> 14,9 %) (табл. 3); в группе 2 плотность хрящевой пластинки достигала 198,8 ± 12,4 HU (> 12,3 %), наружной фасетки – 957,9 ± 32,6 HU (> 13,6 %) и плотность внутренней фасетки – 759,5 ± 20,7 HU (> 13,1 %) (табл. 3). Также спустя 60 месяцев продолжалась динамика прогрессирования дегенеративных процессов в элементах ФС, о чём свидетельствуют показатели их оптической плотности: в группе 1 плотность хрящевой пластинки увеличивалась на 13,4 % от дооперационных показателей, плотность наружной фасетки – на 15,1 % и плотность внутренней фасетки возрастала на 15,6 %. В группе 2 наблюдали схожие изменения: плотность хрящевой пластинки увеличивалась на 13,3 % от дооперационных показателей, плотность наружной фасетки – на 15,1 %, и плотность внутренней фасетки возрастала на 14,6 %.

TABLE 2
DYNAMICS OF DEGENERATION OF THE UPPER ADJACENT DISC IN COMPARISON GROUPS AND THE NUMBER OF REVISION INTERVENTIONS PERFORMED

ТАБЛИЦА 3
ПОКАЗАТЕЛИ ПЛОТНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ФАСЕТОЧНОГО СУСТАВА ВЕРХНЕГО СМЕЖНОГО УРОВНЯ В ГРУППАХ В РАЗНЫЕ СРОКИ ПОСЛЕ ОПЕРАТИВНОГО ЛЕЧЕНИЯ

Плотность, HU	Сроки наблюдения									
	до операции		6 мес. после операции		12 мес. после операции		36 мес. после операции		60 мес. после операции	
	группа 1	группа 2	группа 1	группа 2	группа 1	группа 2	группа 1	группа 2	группа 1	группа 2
Хрящевая пластинка	164,8 ± 14,2	161,7 ± 18,8	210,1 ± 16,8	198,8 ± 12,4	212,7 ± 14,4	201,7 ± 9,7	214,1 ± 11,1	201,2 ± 16,9	221,2 ± 10,5	214,9 ± 9,4
Наружная фасетка	710,65 ± 13,6	702,43 ± 12,3	1018,1 ± 45,8	957,9 ± 32,6	1023,3 ± 22,3	965,8 ± 14,8	1028,7 ± 24,2	998,5 ± 16,8*	1035,3 ± 21,6	1003,5 ± 16,3
Внутренняя фасетка	582,1 ± 15,1	580,5 ± 11,6	868,1 ± 18,2	759,5 ± 20,7	872,7 ± 17,5	749,3 ± 11,4	882,2 ± 12,1	812,5 ± 11,8*	899,9 ± 9,2	850,4 ± 7,4

Примечание: * - $p < 0,05$.

Статистически значимая разница ($p < 0,05$) наблюдалась только в срок 36 месяцев после операции в группе 2, где выполнено бисегментарное декомпрессивно-стабилизирующее вмешательство. Полученные цифровые параметры оптической плотности элементов смежных ФС являются важным прогностическим признаком дегенеративных изменений в них, которые могут быть использованы при планировании ригидной стабилизации. Значения плотности наружной хрящевой пластинки от $161,7 \pm 18,8$ до $164,8 \pm 14,2$ HU, плотности наружной фасетки – от $702,43 \pm 12,3$ до $713,65 \pm 13,6$ HU и плотности внутренней фасетки – от $580,5 \pm 11,6$ до $582,1 \pm 15,1$ HU преимущественно в верхнем смежном сегменте, которые коррелируют с результатами морфологических исследований, являются пороговыми при комплексном

предоперационном планировании и оценки факторов риска развития синдрома смежного диска.

Клинический пример (рис. 2) демонстрирует результат хирургического лечения пациентки К. из группы 1, в котором при комплексном предоперационном обследовании не были учтены инструментальные параметры смежного МПД и ФС, что в итоге привело к прогрессированию и развитию дегенеративного заболевания смежного сегмента.

ОБСУЖДЕНИЕ

Применение ригидных систем стабилизации в хирургическом лечении дегенеративных заболеваний поясничного отдела позвоночника имеет несомненные

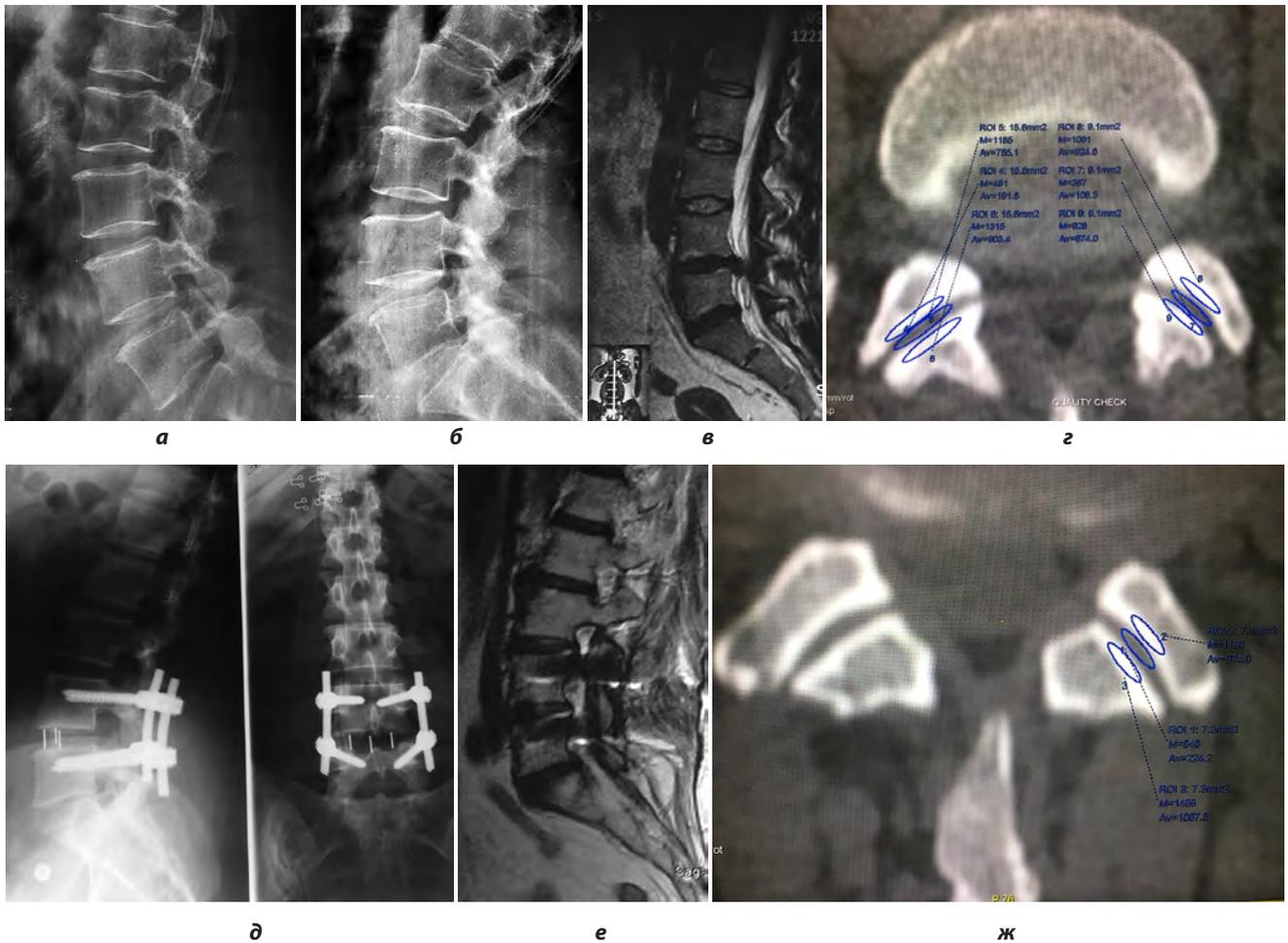


РИС. 2. Пациентка К., 47 лет: **а** – рентгенограмма до оперативного лечения, боковая проекция, сгибание, нестабильность в сегменте L_{IV}-L_V; **б** – рентгенограмма, боковая проекция, разгибание, нестабильность в сегменте L_{IV}-L_V; **в** – МРТ-снимок до оперативного лечения; **г** – КТ-снимок фасеточных суставов выше уровня поражения L_{III}-L_{IV} ПДС до операции; **д** – рентгенограммы в прямой и боковой проекции после оперативного лечения; **е** – МРТ-снимок через 12 месяцев после оперативного лечения; **ж** – КТ-снимок фасеточных суставов выше уровня поражения после оперативного лечения через 12 месяцев с признаками уплотнения элементов сустава L_{III}-L_{IV} ПДС

FIG. 2. Patient K., 47 years old: **a** – X-ray before surgical treatment, lateral projection, flexion, instability in the L_{IV}-L_V segment of the vertebrae; **б** – X-ray, lateral projection, extension, instability in the L_{IV}-L_V segment of the vertebrae; **в** – MRI before surgical treatment; **г** – CT of the facet joints above the level of L_{III}-L_{IV} lesion before surgery; **д** – X-ray in direct and lateral projection after surgical treatment; **е** – MRI 12 months after surgical treatment; **ж** – CT of the facet joints above the lesion level after surgical treatment after 12 months with signs of compaction of joint elements of L_{III}-L_{IV} spinal motion segment

положительные результаты лечения и кардинальное решение проблемы в зоне поражения, но не останавливает дегенеративные процессы в смежном сегменте. Ведущей причиной формирования дегенерации смежного сегмента после выполнения декомпрессивно-стабилизирующих вмешательств с использованием ригидных систем является нарушение естественной биомеханики позвоночного столба, что влечёт за собой увеличение нагрузки на смежные ПДС [22].

В современной специализированной литературе имеется достаточное количество исследований, в которых изучены факторы риска дегенерации смежного сегмента после проведения декомпрессивно-стабилизирующих вмешательств. Среди наиболее часто встречающихся рисков – исходная дегенерация смежного МПД и ФС, наличие признаков нестабильности сегмента, нарушение параметров позвоночно-тазового баланса [23, 24].

Для объективизации клинических проявлений дегенеративных процессов в ФС и МПД используются инвазивный метод пункционной диагностической дискографии с введением в МПД физиологического раствора или рентген-контрастного препарата; также одним из эффективных методов дифференциальной диагностики болевого синдрома является проведение блокад ФС оперируемого и смежного уровней [25].

Из инструментальных методов нейровизуализации широкое распространение получила магнитно-резонансная томография, позволяющая наиболее точно изучить состояние всех структур позвоночного столба [26–28]. Так, J. Anandjiwala et al. [29] в своём исследовании выявили высокую корреляцию признаков дегенеративного заболевания смежного сегмента (ДЗСС) у пациентов с исходной дегенерацией смежных МПД III–IV степени по Pfirrmann. A.M. Wu et al. [30] установлено, что исходная дегенерация ФС является фактором риска развития синдрома смежного диска. Существующая классификация A. Fujiwara et al. степени дегенерации фасеточных суставов коррелируется со стадиями дегенерации суставов по классификации OARSI [31], но полностью не отображает весь характер патоморфологических изменений и архитектоники в структуре ФС. Полученные нами ранее результаты свидетельствуют о выявленной тесной взаимосвязи между морфологическими и рентгенологическими изменениями в ФС на основе инструментальной методики ДЭКТ, которая получила широкое распространение в последнее время [19, 32].

Отсутствие единых стандартов предоперационной оценки смежного сегмента затрудняет сравнение результатов различных исследований, поэтому хирургические подходы продолжают быть поводом для дебатов [33]. На наш взгляд, важным аспектом в хирургической профилактике ДЗСС является определение показаний для фиксации смежного уровня. Так, одним из главных способов оценки функционального состояния прилежащего сегмента является детальная и комплексная предоперационная оценка параметров ФС и МПД [10], что даёт возможность прогнозировать отдалённые клинические результаты и своевременно принимать профилактические меры на дооперационном этапе.

Результаты проведённого исследования показали, что сочетание исходной дегенерации смежного ПДС в виде дегенерации диска III степени и выше по Pfirrmann с пороговыми значениями плотности наружной хрящевой пластинки от $161,7 \pm 18,8$ до $164,8 \pm 14,2$ HU, плотности наружной фасетки – от $702,43 \pm 12,3$ до $713,65 \pm 13,6$ HU и плотности внутренней фасетки – от $580,5 \pm 11,6$ до $582,1 \pm 15,1$ HU, а также с признаками сегментарной нестабильности смежного сегмента можно рассматривать как факторы риска развития ДСС и ДЗСС. В 4 клинических наблюдениях с ригидной фиксацией в обеих группах была выявлена исходная дегенерация МПД смежного уровня II степени по Pfirrmann. Через 60 месяцев после операции дегенерация верхних смежных сегментов прогрессировала и достигала III степени по Pfirrmann, параллельно отмечали прогрессирование процессов дегенерации элементов ФС в виде увеличения оптической плотности: наружной хрящевой пластинки – до $221,2 \pm 10,5$ HU, наружной фасетки – до $1035,3 \pm 21,6$ HU и внутренней фасетки – до $899,9 \pm 9,2$ HU, что привело к формированию ДЗСС и, как следствие, к проведению ревизионных вмешательств. Использование ригидных систем имеет несомненные статистически подтверждённые положительные результаты лечения, но не останавливает дегенеративные процессы в смежном сегменте, а в отдалённом периоде может стать причиной развития ДЗСС, в особенности в тех случаях, когда проведена неполная оценка параметров смежного ПДС. Для более качественной оценки влияния параметров МПД и ФС необходимо проведение не только комплексной оценки смежного ПДС, но и сагиттального баланса [34–36].

Ограничения исследования. Следует отметить, что описанное нами 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, аномалии тропизма ДС и параметры позвоночно-тазового баланса, влияющие на риск развития ДЗСС после выполнения оперативных вмешательств на поясничном отделе позвоночного столба.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, оценка исходной дегенерации смежного МПД и ФС, наличие признаков нестабильности являются базовыми факторами риска, наряду с известными, в выборе метода и уровней стабилизации ПДС. Проведение бисегментарной стабилизации с признаками исходной дегенерации в МПД и ФС в верхнем сегменте доказало свою клинико-инструментальную эффективность в сроке 36 месяцев, позволяя снизить риски развития ДЗСС. Использование комплексных предоперационных инструментальных методов диагностики, включающих МРТ, ДЭКТ и функциональную рентгенографию, являются необходимыми объективными методами выявления факторов ри-

ска развития ДЗСС, что позволяет не только спрогнозировать результаты лечения, но и объективно оценивать выраженность процессов дегенерации в структурах смежного ПДС в разные сроки после хирургического лечения.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Авторы данной статьи заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА

1. 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. *Журнал «Вопросы нейрохирургии» имени Н.Н. Бурденко*. 2016; 80(4): 102-108. doi: 10.17116/neiro2016804102-108
2. Бывальцев В.А., Калинин А.А., Голобородько В.Ю., Шепелев В.В., Пестряков Ю.Я., Коновалов Н.А. Сравнение эффективности использования симультанных и этапных минимально-инвазивных дорсальных декомпрессивно-стабилизирующих вмешательств у пациентов с дегенеративными заболеваниями поясничного отдела позвоночника. *Журнал «Вопросы нейрохирургии» имени Н.Н. Бурденко*. 2021; 85(1): 36-46. doi: 10.17116/neiro20218501136
3. Gomleksiz C, Sasani M, Oktenoglu T, Ozer AF. A short history of posterior dynamic stabilization. *Adv Orthop*. 2012; 2012: 629698. doi: 10.1155/2012/629698
4. Cheng J, Wang H, Zheng W, Li C, Wang J, Zhang Z, et al. Reoperation after lumbar disc surgery in two hundred and seven patients. *Int Orthop*. 2013; 37(8): 1511-1517. doi: 10.1007/s00264-013-1925-2
5. 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. doi: 10.14531/ss2016.3.60-67
6. 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
7. 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(22): S123-S132. doi: 10.1097/BRS.0b013e31826d60d8
8. 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
9. 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 (Baltimore)*. 2017; 96(5): 6032. doi: 10.1097/MD.00000000000006032
10. Belykh E, Kalinin AA, Martirosyan NL, Kerimbayev T, Theodore N, Preul MC, et al. Facet joint fixation and anterior, direct

lateral, and transforaminal lumbar interbody fusions for treatment of degenerative lumbar disc diseases: Retrospective cohort study of a new minimally invasive technique. *World Neurosurg*. 2018; 114: e959-e968. doi: 10.1016/j.wneu.2018.03.121

11. S enegas J. Mechanical supplementation by non-rigid fixation in degenerative intervertebral lumbar segments: The Wallis system. *Eur Spine J*. 2002; 11(2): S164-S169. doi: 10.1007/s00586-002-0423-9

12. 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. doi: 10.35401/2500-0268-2020-17-1-6-15

13. Pfirrmann CW, Metzger A, Zanetti M, Hodler J, Boos N. Magnetic resonance classification of lumbar intervertebral disc degeneration. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2001; 26(17): 1873-1878. doi: 10.1097/00007632-200109010-00011

14. 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

15. Ha KY, Son JM, Im JH, Oh IS. Risk factors for adjacent segment degeneration after surgical correction of degenerative lumbar scoliosis. *Indian J Orthop*. 2013; 47(4): 346-351. doi: 10.4103/0019-5413.114912

16. 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

17. Byvaltsev VA, Kalinin AA, Shepelev VV, Pestryakov YY, Biryuchkov MY, Jubaeva BA, et al. The relationship of radiographic parameters and morphological changes at various stages of degeneration of the lumbar facet joints: Cadaver study. *Global Spine J*. 2022; 21925682221099471. doi: 10.1177/21925682221099471

18. Coursey CA, Nelson RC, Boll DT, Paulson EK, Ho LM, Neville AM, et al. Dual-energy multidetector CT: How does it work, what can it tell us, and when can we use it in abdominopelvic imaging? *Radiographics*. 2010; 30(4): 1037-1055. doi: 10.1148/rg.304095175

19. Boll DT, Patil NA, Paulson EK, Merkle EM, Simmons WN, Pierre SA, et al. Renal stone assessment with dual-energy multidetector CT and advanced postprocessing techniques: Improved characterization of renal stone composition pilot study. *Radiology*. 2009; 250(3): 813-820. doi: 10.1148/radiol.2503080545

20. Кривошеин А.Е., Конев В.П., Колесов С.В., Московский С.Н., Игнатъев 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. doi: 10.18019/1028-4427-2020-26-4-565-570

21. Масевнин С.В., Пташников Д.А., Волков И.В., Коновалов Н.А. Влияние позвоночно-тазовых параметров на частоту развития нестабильности смежного сегмента при моносегментарной фиксации в поясничном отделе. *Журнал «Вопросы нейрохирургии» имени Н.Н. Бурденко*. 2019; 83(2): 80-84. doi: 10.17116/neiro20198302180

22. Byvaltsev VA, Kalinin AA, Giers MB, Shepelev VV, Pestryakov YY, Biryuchkov MY. Comparison of MRI visualization following

minimally invasive and open TLIF: A retrospective single-center study. *Diagnostics (Basel)*. 2021; 11(5): 906. doi: 10.3390/diagnostics11050906

23. Ma Z, Huang S, Sun J, Li F, Sun J, Pi G. Risk factors for upper adjacent segment degeneration after multi-level posterior lumbar spinal fusion surgery. *J Orthop Surg Res*. 2019; 14(1): 89. doi: 10.1186/s13018-019-1126-9

24. Ramirez-Villaescusa J, López-Torres Hidalgo J, Martin-Benlloch A, Ruiz-Picazo D, Gomar-Sancho F. Risk factors related to adjacent segment degeneration: retrospective observational cohort study and survivorship analysis of adjacent unfused segments. *Br J Neurosurg*. 2019; 33(1): 17-24. doi: 10.1080/02688697.2018.1523365

25. Chan AK, Sharma V, Robinson LC, Mummaneni PV. Summary of guidelines for the treatment of lumbar spondylolisthesis. *Neurosurg Clin N Am*. 2019; 30(3): 353-364. doi: 10.1016/j.nec.2019.02.009

26. Cai X, Sun M, Huang Y, 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

27. 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

28. Бывальцев В.А., Степанов И.А., Калинин А.А., Белых Е.Г. Диффузионно-взвешенная магнитно-резонансная томография в диагностике дегенерации межпозвонковых дисков пояснично-крестцового отдела позвоночника. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2016; 97(6): 357-364. doi: 10.20862/0042-4676-2016-97-6-357-364

29. 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

30. 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): 97142. doi: 10.1371/journal.pone.0097142

31. Продан О.А., Перепечай В.А., Колесниченко В.А., Баллан С.И., Чернышев А.Г. Осложнения хирургического лечения поясничного спинального стеноза. *Хирургия позвоночника*. 2009; (1): 31-37. doi: 10.14531/ss2009.1.31-37

32. Терновой С.К., Серова Н.С., Абрамов А.С., Терновой К.С. Методика функциональной мультиспиральной компьютерной томографии шейного отдела позвоночника. *Российский электронный журнал лучевой диагностики*. 2016; 6(4): 38-43. doi: 10.21569/2222-7415-2016-6-4-38-43

33. Martin CR, Gruszczynski AT, Braunsfurth HA, Fallatah SM, O'Neil J, Wai EK. The surgical management of degenerative lumbar spondylolisthesis: A systematic review. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2007; 32(16): 179-178. doi: 10.1097/BRS.0b013e3180bc219e

34. Lee CS, Hwang CJ, Lee SW, Ahn YJ, Kim YT, Lee DH, et al. Risk factors for adjacent segment disease after lumbar fusion. *Eur Spine J*. 2009; 18(11): 1637-1643. doi: 10.1007/s00586-009-1060-3

35. Спиридонов А.В., Пестряков Ю.Я., Калинин А.А., Бывальцев В.А. Анализ влияния параметров позвоночно-тазового баланса на риск развития дегенерации и дегенеративного заболевания смежных сегментов после проведения поясничной

ригидной фиксации. *Инновационная медицина Кубани*. 2021; 3(23): 24-30. doi: 10.35401/2500-0268-2021-23-3-24-30

36. Котельников А.О., Рябых С.О., Бурцев А.В. Постуральные изменения позвоночно-тазового баланса у пациентов с синдромом тазобедренного сустава. *Гений ортопедии*. 2020; 26(2): 206-211. doi: 10.18019/1028-4427-2020-26-2-206-211

REFERENCES

1. Konovalov NA, Nazarenko AG, Asyutin DS, Zelenkov PV, Onoprienko RA, Korolishin VA, et al. Modern methods of treatment of degenerative diseases of the intervertebral disc. Literature review. *Zhurnal Voprosy Neurokhirurgii Imeni N.N. Burdenko*. 2016; 80(4): 102-108. (In Russ.). doi: 10.17116/neiro2016804102-108

2. Byvaltsev VA, Kalinin AA, Goloborodko VYu, Shepelev VV, Pestryakov YuYa, Konovalov NA. Comparison of the effectiveness of simultaneous and staged minimally invasive dorsal decompression-stabilizing interventions in patients with degenerative diseases of the lumbar spine. *Zhurnal Voprosy Neurokhirurgii Imeni N.N. Burdenko*. 2021; 85(1): 36-46. (In Russ.). doi: 10.17116/neiro20218501136

3. Gomleksiz C, Sasani M, Oktenoglu T, Ozer AF. A short history of posterior dynamic stabilization. *Adv Orthop*. 2012; 2012: 629698. doi: 10.1155/2012/629698

4. Cheng J, Wang H, Zheng W, Li C, Wang J, Zhang Z, et al. Reoperation after lumbar disc surgery in two hundred and seven patients. *Int Orthop*. 2013; 37(8): 1511-1517. doi: 10.1007/s00264-013-1925-2

5. Masevnin SV, Ptashnikov DA, Mikhailov DA, Smekalenkov OA, Zaborovsky NS, Lapaeva OA, et al. The role of the main risk factors in the early development of adjacent-level syndrome in patients after lumbar spine fusion. *Spine surgery*. 2016; 13(3): 60-67. (In Russ.). doi: 10.14531/ss2016.3.60-67

6. 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

7. 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(22): S123-S132. doi: 10.1097/BRS.0b013e31826d60d8

8. 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

9. 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 (Baltimore)*. 2017; 96(5): 6032. doi: 10.1097/MD.0000000000006032

10. Belykh E, Kalinin AA, Martirosyan NL, Kerimbayev T, Theodore N, Preul MC, et al. Facet joint fixation and anterior, direct lateral, and transforaminal lumbar interbody fusions for treatment of degenerative lumbar disc diseases: Retrospective cohort study of a new minimally invasive technique. *World Neurosurg*. 2018; 114: e959-e968. doi: 10.1016/j.wneu.2018.03.121

11. S n gas J. Mechanical supplementation by non-rigid fixation in degenerative intervertebral lumbar segments: The Wallis

system. *Eur Spine J.* 2002; 11(2): S164–S169. doi: 10.1007/s00586-002-0423-9

12. Afaunov AA, Basankin IV, Kuzmenko AV, Shapovalov VK, Mukhanov ML. Preoperative planning in the surgical treatment of patients with lumbar spinal stenosis of degenerative etiology. *Innovative medicine of Kuban.* 2020; 17(1): 6-15. (In Russ.). doi: 10.35401/2500-0268-2020-17-1-6-15

13. Pfirrmann CW, Metzendorf A, Zanetti M, Hodler J, Boos N. Magnetic resonance classification of lumbar intervertebral disc degeneration. *Spine (Phila Pa 1976).* 2001; 26(17): 1873-1878. doi: 10.1097/00007632-200109010-00011

14. 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

15. Ha KY, Son JM, Im JH, Oh IS. Risk factors for adjacent segment degeneration after surgical correction of degenerative lumbar scoliosis. *Indian J Orthop.* 2013; 47(4): 346-351. doi: 10.4103/0019-5413.114912

16. 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

17. Byvaltsev VA, Kalinin AA, Shepelev VV, Pestryakov YY, Biryuchkov MY, Jubaeva BA, et al. The relationship of radiographic parameters and morphological changes at various stages of degeneration of the lumbar facet joints: Cadaver study. *Global Spine J.* 2022; 21925682221099471. doi: 10.1177/21925682221099471

18. Coursey CA, Nelson RC, Boll DT, Paulson EK, Ho LM, Neville AM, et al. Dual-energy multidetector CT: How does it work, what can it tell us, and when can we use it in abdominopelvic imaging? *Radiographics.* 2010; 30(4): 1037-1055. doi: 10.1148/rg.304095175

19. Boll DT, Patil NA, Paulson EK, Merkle EM, Simmons WN, Pierre SA, et al. Renal stone assessment with dual-energy multidetector CT and advanced postprocessing techniques: Improved characterization of renal stone composition pilot study. *Radiology.* 2009; 250(3): 813-820. doi: 10.1148/radiol.2503080545

20. Krivoshein AE, Konev VP, Kolesov SV, Moskovsky SN, Ignatiev YuT, Nikitenko SA, et al. Morphological and radiological parameters of facet joints depending on the degree of degeneration of intervertebral discs. *Genij Ortopedii.* 2020; 26(4): 565-570. (In Russ.). doi: 10.18019/1028-4427-2020-26-4-565-570

21. Masevnin SV, Ptashnikov DA, Volkov IV, Konovalov NA. Influence of vertebral-pelvic parameters on the frequency of instability of the adjacent segment during monosegmental fixation in the lumbar region. *Zhurnal Voprosy Neirokhirurgii Imeni N.N. Burdenko.* 2019; 83(2): 80-84. (In Russ.). doi: 10.17116/neiro20198302180

22. Byvaltsev VA, Kalinin AA, Giers MB, Shepelev VV, Pestryakov YY, Biryuchkov MY. Comparison of MRI visualization following minimally invasive and open TLIF: A retrospective single-center study. *Diagnostics (Basel).* 2021; 11(5): 906. doi: 10.3390/diagnostics11050906

23. Ma Z, Huang S, Sun J, Li F, Sun J, Pi G. Risk factors for upper adjacent segment degeneration after multi-level posterior lumbar spinal fusion surgery. *J Orthop Surg Res.* 2019; 14(1): 89. doi: 10.1186/s13018-019-1126-9

24. Ramirez-Villaescusa J, López-Torres Hidalgo J, Martin-Benlloch A, Ruiz-Picazo D, Gomar-Sancho F. Risk factors related to adjacent segment degeneration: retrospective observational cohort study and survivorship analysis of adjacent unfused segments. *Br J Neurosurg.* 2019; 33(1): 17-24. doi: 10.1080/02688697.2018.1523365

25. Chan AK, Sharma V, Robinson LC, Mummaneni PV. Summary of guidelines for the treatment of lumbar spondylolisthesis. *Neurosurg Clin N Am.* 2019; 30(3): 353-364. doi: 10.1016/j.nec.2019.02.009

26. Cai X, Sun M, Huang Y, 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

27. 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

28. Byvaltsev VA, Stepanov IA, Kalinin AA, Belykh EG. Diffusion-weighted magnetic resonance imaging in the diagnosis of degeneration of intervertebral discs of the lumbosacral spine. *Russian Journal of Radiology.* 2016; 97(6): 357-364. (In Russ.). doi: 10.20862/0042-4676-2016-97-6-357-364

29. 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

30. 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): 97142. doi: 10.1371/journal.pone.0097142

31. Prodan OA, Perepechai VA, Kolesnichenko VA, Balan SI, Chernyshev AG. Complications of surgical treatment of lumbar spinal stenosis. *Hirurgiâ pozvonochnika (Spine Surgery).* 2009; 1: 31-37. (In Russ.). doi: 10.14531/ss2009.1.31-37

32. Ternovoy SK, Serova NS, Abramov AS, Ternovoy KS. Methods of functional multispinal computed tomography of the cervical spine. *Russian electronic journal of radiology.* 2016; 6(4): 38-43. (In Russ.). doi: 10.21569/2222-7415-2016-6-4-38-43

33. Martin CR, Gruszczynski AT, Braunsfurth HA, Fallatah SM, O'Neil J, Wai EK. The surgical management of degenerative lumbar spondylolisthesis: A systematic review. *Spine (Phila Pa 1976).* 2007; 32(16): 179-178. doi: 10.1097/BRS.0b013e3180bc219e

34. Lee CS, Hwang CJ, Lee SW, Ahn YJ, Kim YT, Lee DH, et al. Risk factors for adjacent segment disease after lumbar fusion. *Eur Spine J.* 2009; 18(11): 1637-1643. doi: 10.1007/s00586-009-1060-3

35. Spiridonov AV, Pestryakov YuYa, Kalinin AA, Byvaltsev VA. Analysis of the influence of the parameters of the vertebral-pelvic balance on the risk of degeneration and degenerative disease of adjacent segments after lumbar rigid fixation. *Innovative medicine of Kuban.* 2021; (3): 24-30. (In Russ.). doi: 10.35401/2500-0268-2021-23-3-24-30

36. Kotelnikov AO, Ryabykh SO, Burtsev AV. Postural changes of the vertebral-pelvic balance in patients with Hip-Spine syndrome. *Genij Ortopedii.* 2020; 26(2): 206-211. (In Russ.). doi: 10.18019/1028-4427-2020-26-2-206-211

Сведения об авторах

Кривошеин Артём 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>

Конев 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>

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>

Ерофеев Сергей Александрович – доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры травматологии и ортопедии, ФГБОУ ВО «Омский государственный медицинский университет» Минздрава России; врач-травматолог, БУЗОО «Клинический медико-хирургический центр Министерства здравоохранения Омской области», e-mail: esa_rncvto@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4499-0598>

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/0000-0001-8867-594X>

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. Krivoshein – Cand. Sc. (Med.), Associate Professor at the Department of Traumatology and Orthopedics, Omsk State Medical University of the Ministry of Health of Russia¹; Scientific Director of the Traumatology Department N 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>

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

Sergey V. Kolesov – Dr. Sc. (Med.), Professor, Head of the Department of Spine 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>

Sergey A. Erofeev – Dr. Sc. (Med.), Professor, Professor at the Department of Traumatology and Orthopedics, Omsk State Medical University; Traumatologist, Clinical Medical and Surgical Center of the Ministry of Health of the Omsk Region, e-mail: esa_rncvto@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4499-0598>

Sergey N. Moskovskiy – Cand. Sc. (Med.), Docent, Head of the Department of Forensic Medicine, Omsk State Medical University, e-mail: Moscow-5@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8867-594X>

Vadim A. Byvaltsev – Dr. Sc. (Med.), Professor, Head of the Neurosurgery Center, Clinical Hospital “RZD-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>