

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ» МИНИСТЕРСТВА ЗДРАВООХРАНЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

На правах рукописи

ПЕСТРЯКОВ
ЮРИЙ ЯКОВЛЕВИЧ

**ХИРУРГИЧЕСКАЯ ТАКТИКА ПРИ ОКАЗАНИИ
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ НЕЙРОХИРУРГИЧЕСКОЙ ПОМОЩИ
ПАЦИЕНТАМ С ДЕГЕНЕРАТИВНЫМИ ЗАБОЛЕВАНИЯМИ
ПОЯСНИЧНО-КРЕСТЦОВОГО ПЕРЕХОДА ПОЗВОНОЧНИКА**

14.01.18 – нейрохирургия

Диссертация на соискание ученой
степени кандидата медицинских наук

Научный
руководитель: Д.м.н.,
доцент Бывальцев В.А.

Иркутск

2018

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
ГЛАВА 1 СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ДЕГЕНЕРАТИВНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЯХ ПОЯСНИЧНО-КРЕСТЦОВОГО ОТДЕЛА ПОЗВОНОЧНИКА И ИХ ХИРУРГИЧЕСКОМ ЛЕЧЕНИИ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)	13
1.1 Анатомо-физиологические особенности, этиология, патогенез дегенеративных заболеваний нижне-поясничного отдела позвоночника	13
1.2 Клинико-диагностические методы исследования дегенеративных заболеваний пояснично-крестцового отдела позвоночника	23
1.3 Хирургические вмешательства при дегенеративных заболеваниях пояснично-крестцового отдела позвоночника	29
1.3.1 Виды хирургических вмешательств и обоснование преимуществ динамической фиксации	29
1.3.2 Показания к использованию динамической фиксации	32
1.3.3 Передние хирургические вмешательства с использованием динамических устройств	32
1.3.4 Задние хирургические вмешательства с использованием динамических устройств	42
ГЛАВА 2 СТРУКТУРА, МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	58
2.1 Общая характеристика исследуемых пациентов	58
2.2 Комплексная клиническая оценка исходов оперативного лечения	62
2.3 Инструментальные методы исследования	65
2.4 Типы проводимых оперативных вмешательств	74
2.4.1 Поясничная микрохирургическая дискэктомия	75
2.4.2 Дискэктомия из переднего внебрюшинного доступа с установкой динамического протеза диска	78
2.4.3 Реконструкция позвоночного канала, межтеловой спондилодез с транспедикулярной стабилизацией	81

2.5	Методы статистического анализа, полученных при исследовании данных	84
ГЛАВА 3 РЕЗУЛЬТАТЫ РЕТРОСПЕКТИВНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ		87
3.1	Общие данные об исследуемых пациентах ретроспективной группы	88
3.2	Анализ послеоперационных клинических исходов	91
3.3	Исследование интраоперационных параметров вмешательств и специфичности послеоперационного периода	95
3.4	Исследование неблагоприятных послеоперационных исходов у пациентов исследуемой группы	95
3.5	Анализ ретроспективных морфо-клинико-инструментальных данных	100
3.6	Разработка нового алгоритма дифференцированной хирургической тактики при оперативных вмешательствах у пациентов с дегенеративными заболеваниями пояснично-крестцового перехода позвоночника с применением индивидуального предоперационного клинико-инструментального подхода	109
ГЛАВА 4 РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОСПЕКТИВНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ		122
4.1	Способ профилактики инфекционных осложнений при оперативных вмешательствах на позвоночнике в раннем послеоперационном периоде	123
4.2	Общие данные об исследуемых пациентах проспективной группы	124
4.3	Анализ морфологических и дооперационных инструментальных данных пациентов исследуемой проспективной группы	126
4.4	Анализ интраоперационных характеристик оперативных вмешательств и специфичности послеоперационного периода	128
4.5	Характеристика послеоперационных клинических исходов	130
4.6	Исследование неблагоприятных результатов хирургического лечения в проспективной группе исследования	134
4.7	Анализ послеоперационных биомеханических и структурно-функциональных изменений у пациентов исследуемой группы	137
ЗАКЛЮЧЕНИЕ		146
ВЫВОДЫ		153

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ	155
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ	157
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	158

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность проблемы

Болевой синдром в нижней части спины является в 65–75 % наблюдений следствием дегенеративных заболеваний поясничного отдела позвоночника [14, 23]. Данный патологический процесс характеризуется дегенерацией межпозвонковых дисков, фасеточных суставов, костно-связочного аппарата, проявляющейся различными неврологическими, ортопедическими и висцеральными нарушениями [29, 34]. Подавляющее большинство пациентов являются трудоспособными и относятся к возрастной группе от 30 до 50 лет. Длительное течение заболевания характеризуется значимым снижением качества жизни и первичной инвалидизацией [38, 50, 363].

В настоящее время разработаны и внедрены в клиническую практику различные виды нейроортопедических вмешательств. При этом исходы таких манипуляций у различных авторов существенно отличаются между собой. Это в первую очередь связано с отсутствием объективных критериев их использования, а также с большим количеством конструктивно различающихся имплантатов [33, 151, 200, 331]. Кроме того, сохраняется высокий процент неудовлетворительных исходов после любых операций на позвоночнике [18, 32, 43, 56].

Результативность спинальной хирургии напрямую взаимосвязана с ликвидацией морфо-структурной причины неврологических проявлений и восстановлением нормальной биомеханики оперированных сегментов, которые реализуются за счет применения различных стабилизирующих конструкций [33, 42, 94]. Это особенно актуально в переходных зонах, в частности в области пояснично-крестцового перехода, который несет на себе выраженную биомеханическую нагрузку и наиболее часто подвержен клинически значимым дегенеративным изменениям [36, 238].

При этом необоснованный характер и объем нейровертебрологического вмешательства при заболеваниях люмбо-сакрального сегмента позвоночника

дегенеративного генеза способствуют развитию значительного количества неудовлетворительных неврологических проявлений и неблагоприятных последствий (до 57 %) [2,1 76, 289].

Таким образом, исследование возможных способов улучшения исходов оперативных вмешательств у пациентов с дегенеративными заболеваниями пояснично-крестцового перехода акцентировано на изучении методик оперативных манипуляций, позволяющих выполнить адекватное устранение компрессии нервных структур и биомеханически обоснованную стабилизацию сегментов в области вмешательства с восстановлением сагиттального профиля поясничного отдела для снижения осевой нагрузки на вышележащие сегменты. Это обстоятельство стимулирует к разработке критериев прогнозирования дегенеративного процесса и определению объективных клинических и морфо-структурных параметров для выполнения персонифицированных хирургических подходов [5, 33, 39, 41, 92].

Все вышеперечисленное отражает высокую медико-социальную значимость данной проблемы. Продолжение поиска новых – рациональных и эффективных методик хирургического лечения заболеваний люмбо-сакрального сегмента позвоночника дегенеративного генеза послужило стимулом для планирования диссертационного исследования.

Цель исследования – улучшить результаты декомпрессивных и декомпрессивно-стабилизирующих нейрохирургических вмешательств при дегенеративных заболеваниях пояснично-крестцового перехода позвоночника.

Задачи исследования:

1. Изучить клинические и инструментальные результаты нейрохирургических вмешательств у пациентов с заболеваниями пояснично-крестцового сегмента позвоночника дегенеративного генеза.

2. Разработать дополнения к классификации выраженности дегенерации позвоночных сегментов пояснично-крестцового перехода на основании ведущих клиничко-морфологических признаков, верифицированных современными

способами световой и электронной микроскопии и нейровизуализации.

3. Определить биометрические факторы, оказывающие влияние на отдаленный послеоперационный клинический результат, с учетом которых создать алгоритм дифференцированной хирургической тактики при оперативных вмешательствах у пациентов с заболеваниями пояснично-крестцового перехода позвоночника дегенеративного генеза с применением индивидуального предоперационного клинико-инструментального подхода.

4. Исследовать способы, направленные на профилактику развития инфекционных осложнений в раннем послеоперационном периоде после нейрохирургических манипуляций у пациентов с заболеваниями пояснично-крестцового сегмента позвоночника дегенеративного генеза.

5. Оценить эффективность персонифицированного лечебно-диагностического алгоритма у пациентов с заболеваниями люмбо-сакрального перехода позвоночника дегенеративного генеза при использовании динамической фиксации.

Практическая ценность работы

Тактика лечения пациентов, имеющих заболевания люмбо-сакрального сегмента позвоночника, является персонифицированной, необходимо учитывать объективные морфо-структурные трансформации позвоночных сегментов для изучения степени дегенерации анатомических элементов и их функциональной состоятельности.

Оптимизированная хирургическая тактика с использованием дифференцированного подхода к минимально-инвазивной декомпрессии, динамической фиксации или ригидной стабилизации позволяет эффективно устранить компрессионный патологический субстрат, обеспечить эффективное биомеханическое восстановление оперированного сегмента и предотвратить дегенерацию смежного уровня.

Представленное исследование и способы, направленные на устранение объективных факторов неблагоприятных послеоперационных исходов при

лечении пациентов с заболеваниями пояснично-крестцового сегмента позвоночника дегенеративного генеза, способствуют предупреждению развития неудовлетворительных клинических и рентгенологических результатов в катамнезе в оперированном и вышележащем сегментах, а также снижению рисков необходимости в повторном хирургическом вмешательстве.

Использованы дополнительные критерии оценки степени дегенерации структурных элементов пояснично-крестцового сегмента позвоночника, коррелирующие с результатами современных методов морфологического и инструментального исследований.

Локальное использование порошковой формы антибиотика, местное применение анестетиков, профилактика модифицированных факторов риска развития инфекции послеоперационной раны позволили оптимизировать заживление в области оперативного вмешательства и снижение числа инфекционных последствий.

Разработан новый алгоритм дифференцированной хирургической тактики при оперативных вмешательствах у пациентов с заболеваниями пояснично-крестцового перехода позвоночника дегенеративного генеза с применением индивидуального предоперационного клинико-инструментального подхода, применение которого (с учетом анатомо-морфологических изменений в межпозвонковых дисках и дугоотростчатых суставах люмбо-сакрального сегмента) позволило предопределить персонифицированное использование хирургических технологий на дооперационном этапе для прогнозирования развития послеоперационных осложнений, клинического и рентгенологического послеоперационных исходов.

Научная новизна исследования:

1. Исследованы ведущие морфологические признаки дегенерации пояснично-крестцового перехода позвоночника, оказывающие влияние на послеоперационный клинический результат после нейрохирургических вмешательств.

2. Разработан «Способ количественной оценки степени дегенеративного заболевания поясничных межпозвонковых дисков» (приоритетная справка № 2018113675/14(021470), Российская Федерация / В.А. Бывальцев, Ю.Я. Пестряков, И.А. Степанов; заявитель ФГБОУ ВО «ИГМУ» Минздрава России. – заявл. 13.04.2018.), на основании которого использованы дополнения к классификации дегенеративных поражений люмбо-сакрального перехода позвоночника, оцененные световой и электронной микроскопией, подтвержденные современными нейровизуализационными данными, которые позволили объективизировать степень дегенерации переднего (МПД) и заднего (ДС) опорных комплексов позвоночного сегмента и определить возможную тактику.

3. Разработан «Способ профилактики инфекционных осложнений при оперативных вмешательствах на позвоночнике в раннем послеоперационном периоде» – протокол «СПИНА» (приоритетная справка № 2018105422/14(008306), Российская Федерация / В.А. Бывальцев, А.А. Калинин, Е.Г. Белых, И.А. Степанов, В.В. Шепелев, В.Ю. Голобородько, В.Э. Борисов, А.О. Асанцев, А.К. Оконешникова, Ю.Я. Пестряков; заявитель ФГБОУ ВО «ИГМУ» Минздрава России. – заявл. 13.02.2018.), применение которого способствовало снижению развития инфекции в области хирургических манипуляций при имплантации искусственных протезов дисков.

4. С учетом анатомо-морфологических изменений в межпозвонковых дисках и дугоотростчатых суставах люмбо-сакрального перехода позвоночника разработан новый алгоритм дифференцированной хирургической тактики с применением индивидуального предоперационного клиничко-инструментального подхода, который предопределил персонифицированное использование хирургических технологий.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Комплексный анализ морфологических, инструментальных и клинических параметров пациентов с заболеваниями пояснично-крестцового перехода дегенеративного генеза, объективно определяет выраженность дегенеративных изменений в области планируемых хирургических манипуляций

оперативного вмешательства для предопределения необходимого объема хирургического вмешательства.

2. Разработанный протокол «СПИНА», направленный на снижение рисков развития инфекционных послеоперационных осложнений, позволяет снизить риски инфицирования области хирургического вмешательства и улучшить заживление хирургической раны.

3. Разработанный новый алгоритм дифференцированной хирургической тактики при оперативных вмешательствах у пациентов с заболеваниями пояснично-крестцового перехода дегенеративного генеза, базирующийся на изучении индивидуальных биометрических параметров позвоночных сегментов, способствует персонифицированному использованию хирургических технологий в зависимости от анатомо-морфологических дегенеративных изменений в межпозвонковых дисках и дугоотростчатых суставах.

Апробация диссертационного материала

Материал диссертационного исследования обсужден и доложен: на совещаниях ФГБОУ ВО Иркутский государственный медицинский университет (курс нейрохирургии) (2016–2018 гг.), заседаниях ГБОУ ДПО Иркутская государственная медицинская академия последипломного образования (кафедры травматологии, ортопедии и нейрохирургии) (2016–2018 гг.), собраниях Байкальского общества нейрохирургов (2016–2018 гг.), симпозиуме «Современные принципы комплексного лечения, реанимации и реабилитации больных с заболеваниями и травмами нервной системы» (2015, Красноярск), интернациональной конференции Spineweek–2016 (2016, Сингапур), V Российско-японском нейрохирургическом симпозиуме (2016, Казань), III Съезде дорожных нейрохирургов с международным участием (2016, Москва), Всероссийской научно-образовательной конференции, посвященной памяти профессора А.Н. Горячева и 95-летию Западно-Сибирского медицинского центра ФМБА России «Научные достижения и современные технологии в Российской травматологии и ортопедии» (2017, Омск), II Международном конгрессе

профессионального сообщества краниовертебрального сочленения и позвоночника SCJS (2017, Рио-де-Жанейро, Бразилия), VIII Съезде межрегиональной ассоциации хирургов-вертебрологов России с международным участием «Фундаментальные и прикладные аспекты поражений и повреждений позвоночника» и IV Съезде дорожных нейрохирургов с научно-практической школой молодых ученых (2017, Иркутск), VI Съезде хирургов Сибири и Дальнего Востока «Актуальные проблемы хирургии» (2017, Иркутск), IV Ежегодном симпозиуме Монгольского общества нейронауки (2017, Улан-Батор, Монголия), XVIII Ежегодной конференции Международного общества по улучшению хирургии позвоночника (2018, Торонто, Канада), VI Российско-Японском симпозиуме (2018, Фукуи, Япония).

Публикации

Материалы диссертационной работы изложены в 22 научных работах, из которых 10 – в журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки России. Оформлены 2 справки о приоритете на изобретение.

Внедрение в практическое здравоохранение

Основные результаты диссертационного исследования приняты в клиническую практику центра нейрохирургии НУЗ «Дорожная клиническая больница на ст. Иркутск-Пассажирский ОАО «РЖД-Медицина», научно-клинического отдела нейрохирургии ФГБНУ «Иркутский научный центр хирургии и травматологии». Данные научно-исследовательской работы применяются в педагогическом процессе для студентов, ординаторов и курсантов ФГБОУ ВО «Иркутский государственный медицинский университет» (курс нейрохирургии), ГБОУ ДПО «Иркутская государственная медицинская академия последипломного образования» (кафедра травматологии, ортопедии и нейрохирургии).

Личный вклад автора

Автор сформулировал план и главные положения исследования, методологический выбор необходимых методик. Автором проанализирован

полученный материал, осуществлена неврологическая диагностика, принято участие в операциях более 85 % пациентов. Непосредственно автором разработан новый алгоритм дифференцированной хирургической тактики при оперативных вмешательствах у пациентов с дегенеративными заболеваниями пояснично-крестцового перехода позвоночника с применением индивидуального дооперационного клинико-инструментального подхода.

Объем и структура работы

Диссертационная работа включает в себя введение и 4 главы: обзор литературы по изучаемой проблеме, материалы и методы исследования, клинические и инструментальные результаты ретроспективной и проспективной групп исследования, заключение, выводы, практические рекомендации, списки сокращений и использованной литературы.

Материал описан на 206 листах машинописного текста, имеет 31 таблицу и 50 рисунков. В списке литературы присутствует 380 источников, из них 69 - отечественных и 311 - зарубежных.

ГЛАВА 1

СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ДЕГЕНЕРАТИВНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЯХ ПОЯСНИЧНО-КРЕСТЦОВОГО ОТДЕЛА ПОЗВОНОЧНИКА И ИХ ХИРУРГИЧЕСКОМ ЛЕЧЕНИИ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

1.1 Анатомо-физиологические особенности, этиология, патогенез дегенеративных заболеваний ниже-поясничного отдела позвоночника

На сегодняшний день оперативные вмешательства при дегенеративных заболеваниях позвоночного столба являются активно развивающимся направлением в вертебрологии [27, 54, 62]. Доминирующим клиническим симптомом дегенеративного поражения элементов позвоночного столба является боль [51, 53, 204], а рецидивирующий болевой синдром – основная причина временной утраты трудоспособности со значительными экономическими потерями [24, 41]. Увеличение количества пациентов с дегенеративной патологией позвоночника способствует интенсивному внедрению современных высокотехнологичных хирургических методик [155, 373]. Большая часть вертеброгенного болевого синдрома связана с дегенерацией межпозвонковых дисков (МПД) и дугоотростчатых суставов (ДС), что сопровождается клинико-инструментальными признаками сегментарной нестабильности (СН) [33, 38].

Knutsson в 1944 году первым описал дискогенное происхождение СН в виде сагиттальной трансляции смежного позвонка более 3 мм относительно другого по функциональной спондилографии [209]. Kirkaldy-Willis и Farfan в 1982 году патогенетически обосновали развитие СН первичной дегидратацией МПД и снижением его высоты, что сопровождается гипертрофией ФС и связок, соединяющих смежные сегменты и его рестабилизацией [208]. Поэтому в 1 стадии дегенерации (дисфункция) возможно проведение консервативного лечения, но при этом при наличии 2 стадии (нестабильность) и 3 стадии

(рестабиллизация) требуется проведение хирургических вмешательств для стабилизации, декомпрессии и коррекции деформации [208].

Frymoyer and Selby выделили две группы СН: основную – дегенеративный спондилолистез и дегенеративная сколиотическая деформация и второстепенную, связанную с дегенерацией МПД [158]. Термин «нестабильность» предложил Panjabi, который охарактеризовал её как болевой синдром, связанный с патологической сегментарной подвижностью и деформациями позвоночника, сопровождающийся неврологическими проявлениями, а также как невозможность поясничного отдела позвоночника сохранять нейтральное положение [275]. В последующем Benzel разделил хроническую нестабильность на 2 группы: истинную нестабильность (спондилолистез) и патологическую сегментарную подвижность (дегенеративное заболевание МПД) [17, 95]. Stokes с соавт. [335] и Weiler с соавт. [358] ассоциировали возникновение поясничных болей с наличием патологической сегментарной подвижности. Но при этом установлено, что зачастую при наличии рентгенологических признаков сегментарной нестабильности отсутствуют клинические признаки болевого синдрома и наоборот [258].

Наиболее важными в спинальной хирургии являются вмешательства на переходных зонах позвоночника, в частности пояснично-крестцовом переходе [36]. В связи с биомеханическими и анатомо-физиологическими особенностями данный сегмент получает наибольшую осевую нагрузку и в подавляющем большинстве случаев подвержен дегенерации [116, 238]. При этом осложнения хирургических вмешательств у пациентов с дегенеративными заболеваниями пояснично-крестцового перехода верифицируется до 57 % случаев [2, 176].

Анатомически область ПДС пояснично-крестцового перехода включает V поясничный позвонок, который состоит из тела, дуги и отростков (суставных, поперечных и остистого) и крестца, представляющего собой сращение из пяти крестцовых позвонков, который является задней стенкой тазового кольца и имеет вогнутую вентральную и выпуклую дорзальную поверхности. Соединение данной области осуществляется посредством МПД и ДС, крестец также в латеральных

отделах образует крестцово-подвздошный сустав с крыльями подвздошных костей [57, 60].

Биомеханически ПДС представляет собой полуподвижное соединение, с возможностью деформации и восстановления формы при осевой нагрузке за счет одновременного сочетания свойств вязкости и упругости. При поглощении энергии возможны движения в шести разнонаправленных проекциях, на которые влияют механические свойства костно-хрящевого и связочного аппаратов [275].

МПД состоит из трех специфичных структур: фиброзного кольца, пульпозного ядра и замыкательных пластинок, покрывающих прилежащие тела позвонков. МПД выполняет важнейшие биомеханические функции: способствует амортизации, обеспечивает акты сгибания и разгибания, боковые наклоны и торсию позвоночника. Пульпозное ядро, окруженное структурами фиброзного кольца, оказывает противодействие осевой компрессии, при этом фиброзное кольцо стабилизирует продольную и ротационную нагрузки [93].

Клеточный состав ткани МПД составляет лишь 1–2 % от его объема. Но при этом немногочисленные клетки выполняют роль регуляции сохранения оптимального функционирования МПД. Пульпозное ядро и фиброзное кольцо имеют различия по клеточному составу. Так, в фиброзном кольце клетки во внешней части находятся параллельно волокнам коллагена и имеют фибробластоподобный вид, а во внутренней – овальный, хондроцитоподобный. В пульпозном ядре клетки зачастую имеют преимущественно хондроцитоподобный вид и находятся единично (около 5000 в 1 мм³). При этом в некоторых случаях встречаются клетки вытянутой формы до 30 мкм. Считается, что основная их функция в МПД – чувствительная и соединительная [126].

Клеточная плотность фиброзного кольца вдвое больше пульпозного ядра. Клеточный состав пульпозного ядра представлен нотохордальными клетками округлой или овальной формы. Клетки синтезируют коллаген II типа, необходимый для формирования фибрилл, которые наиболее устойчивы к осевой компрессии и являются уникальным типом коллагена пульпозного ядра [147, 155].

Считается, что эти клетки являются остаточной хордой, из структуры которой формируется МПД. Количество нотохордальных клеток непостоянно и стремительно уменьшается в первые годы жизни. У взрослого человека они замещаются хондроцитоподобными, которые за счет инволютивного процесса и дегенеративных изменений превращаются в хондроциты. Кроме этого клетки хорды синтезируют протеогликаны и гиалуроновую кислоту, в связи с чем сокращение их числа напрямую влияет на дегенерацию МПД [110].

Также на функционирование клеток оказывают влияние механические и биохимические факторы. Так, в условиях физиологического давления (до 3,5 МПа) происходит стимуляция продукции межклеточного матрикса, а при повышенном давлении (7,5 МПа) – ингибирование [147]. Регулярное повышение механического давления в МПД способствует развитию кальцификации [110].

Ведущими структурами межклеточного матрикса МПД являются протеогликаны, коллаген, гиалуроновая кислота и эластин. Коллаген составляет 50 % сухого остатка фиброзного кольца и 15–20 % пульпозного ядра. Существует большое многообразие коллагена в МПД – I, II, III, V, VI, IX, XI, XII и XIV, изменяющееся в течение жизни человека [104]. Типы I и II преобладают в структуре МПД (около 80 %); затем следует коллаген типа VI (10–20 %) [103].

Протеогликаны являются сложными структурами, состоящими из центрального волокнообразного белка с гликозаминогликанами, соединенными при помощи ковалентной связи. Макромолекулы протеогликанов составляют 10 % от дегидратированного фиброзного кольца и 50 % пульпозного ядра. Гиалуроновая кислота находится в любых структурах МПД, но в пульпозном ядре число преобладает [112]. При экспериментальных исследованиях на животных установлено, что гиалуроновая кислота способствует агрегации протеогликанов и стимулирует синтез в хондроцитах [347].

Другим главным элементом МПД являются эластичные волокна, представленные белком эластином, компоненты которого могут значительно растягиваться. Их содержание в МПД не более 10 %. В структуре фиброзного кольца такие волокна соединены с фибриллами коллагена, а в пульпозном ядре

располагаются неупорядоченно [101]. Кроме этого, в ткани МПД находится множество липидов: холестерин, триглицериды и фосфолипиды. Липофусцин (липидный пигмент) и патологический белок амилоид верифицируются у людей старшей возрастной группы [110].

Агреканы образуют большие молекулярные соединения с гиалуроновой кислотой и коллагеном II типа. Эти соединения адсорбируют на себя молекулы воды в МПД, формируя внутреннее гидростатическое давление. Это способствует пульпозному ядру функционировать как вязкоупругой структуре, которая противодействует осевой компрессии на позвоночный столб [190].

Молекулы воды поступают в структуры МПД при помощи осмоса через сосуды замыкательных пластинок тел смежных позвонков. Отмечается зависимость: повышение внутрисклового давления способствует выходу воды из МПД по градиенту давления. Таким образом, дневная физическая активность стимулирует выведение 25 % воды, которые поступают обратно при ночном отдыхе. Следуя данной закономерности, высота позвоночного столба утром превышает высоту вечером на 1,5–2 см. [286]. В течение жизни содержание воды в МПД уменьшается преимущественно за счет снижения пропорции протеогликанов к волокнам коллагена. Дегенерация МПД сопровождается снижением образования протеогликанов, уменьшением гидростатического давления и потерей упругости пульпозного ядра. Так возникает компрессионная перегрузка элементов МПД и происходит повреждение волокон фиброзного кольца. В последующем ткани МПД фиброзируются, значительно препятствуя осуществлению правильной биомеханики [172].

Разрушение матрикса МПД происходит при воздействии специальных ферментов, таких как: агреканызы, матриксные металлопротеиназы (ММР) и другие энзимы. Так, ММР-3, или стромелизин, способствует деструкции коллагена III, IX и X типов, протеогликанов, фибронектина, ММР-2 или желатиназа, разрушают коллаген IV типа. Другие деструкционные ферменты относятся к семейству ADAMTS (адамализины с тромбоспондиновым модулем) [48, 293].

Поступление питательных веществ в МПД осуществляется диффузионно из рядом расположенных сосудов: передней и задней продольных связок, лакун костного мозга со специальными каналами в замыкательных пластинках. Указанные каналы располагаются по всей площади пластинок, но максимальная концентрация присутствует в проекции пульпозного ядра. В центральной области МПД количество питательных веществ минимально при максимальном числе продуктов метаболизма – это благоприятно воздействует на градиент диффузии по концентрации [73].

Исследование Зайдман с соавт. [30], посвященное микроциркуляции МПД, показало наличие канальцев в фиброзном кольце, соединенных с одноименными структурами пульпозного ядра. Это обстоятельство указывает на единый путь транспорта веществ в МПД. Также верифицировано объединение канальцев наружных отделов МПД с замыкательными пластинками тел позвонков, посредством которых происходит транспорт продуктов метаболизма и синтеза коллагена, протеогликанов и других белков. Аналогичным путем осуществляется лимфоотток в сосуды фиброзного кольца из структурных элементов МПД.

Главная причина оптимального функционирования МПД – обеспечение диффузии веществ между центральными и периферическими отделами диска. Изменение градиента веществ оказывают влияние на нормальную функцию клеточного состава МПД. Доминирующую нитриционную функцию для МПД выполняет межклеточный матрикс. Кроме того, важным в питании тканей диска является морфологическая состоятельность замыкательных пластинок [72]. При воздействии различных повреждающих факторов происходит изменение проницаемости замыкательных пластинок, что сопровождается снижением потока веществ и ускорением дегенеративных процессов в МПД.

Отростки позвонков, формирующих межпозвонковые суставы, начинаются в области дужки и имеют на своей поверхности гиалиновый хрящ. В пояснично-крестцовом переходе позвоночника ДС ориентированы в коронарной проекции. Указанная ориентация межпозвонковых суставов способствует большему диапазону движений в сагиттальной плоскости, но при этом ограничивает

подвижность при наклонах и торсионных движениях [75].

Многими исследованиями подтверждается высокая биомеханическая роль ДС (*articulatio zygoarophysealis*) [125, 171]. Эти анатомические структуры входят в состав заднего опорного комплекса и представляют динамические сочленения. Они формируются при помощи суставных отростков смежных позвонков, окружены капсулой, плотность и эластичность которой различна по окружности ДС. Наибольшей толщины капсула достигает в заднебоковой части сустава – до 2 мм. Исследования биомеханики показали, что капсула ДС является одним из основных факторов, определяющих физиологичность движений при сгибании и разгибании. ДС – это истинный сустав, то есть выстланный синовиальной оболочкой и содержит суставную жидкость, объем которой может варьироваться и обычно не превышает 1–2 мл. Размеры ДС в пояснично-крестцовом отделе позвоночника составляют 15–19 мм в высоту и 12–16 мм в ширину при средней площади сечения около 600–605 мм². К основным внутрисуставным структурам ДС относят окаймляющую соединительную ткань, жировую подушку, фиброзно-жировые менискоиды. Жировая ткань верхнего заворота ДС соединяется с жировой тканью, окружающей спинномозговые нервы. Суставная капсула в передней части ДС состоит из минимального количества фиброподобной ткани и фактически представлена желтой связкой, покрывающей синовиальную оболочку. В капсулярной структуре ДС находится большое количество ноцицептивных рецепторов, являющихся источником болевой импульсации в поясничных сегментах. Биомеханически ДС вместе со своей капсулой обеспечивают стабильность позвоночного столба при флекссионных движениях. Кроме того, ДС противодействуют поперечным и ротационным силам, что препятствует повреждению ткани МПД поясничного отдела позвоночника [261]. Позвоночный столб существует как кинематическая система, так как ДС смежных тел позвонков являются комбинированными соединениями. Помимо статической функции ДС в виде поддержания положения тела в пространстве, ДС обеспечивают контроль за движениями поясничных сегментов, способствуя лимитированному смещению в ПДС [159].

Необходимый баланс и положение позвоночника в пространстве обеспечивают межпозвоночные связки, которые способны в ответ на нагрузку препятствовать чрезмерному растяжению, но трансформируются при воздействии компрессионных сил.

Передняя продольная связка (*lig. longitudinale anterius*) плотно фиксируется к передним отделам МПД и надкостнице тел позвонков.

Задняя продольная связка (*lig. longitudinale posterius*) является менее массивной, чем передняя. Волокна указанной связки плотно прикрепляются по периферии задних отделов фиброзного кольца МПД, при этом в центральной области МПД фиксация отсутствует.

Желтая связка (*lig. flavum*) является высокоэластичной структурой и переплетается своими волокнами между дужками смежных позвонков, удерживая последние.

Межпоперечные (*lig. intertransversarium*), межостистые (*lig. interspinale*) и надостные связки (*lig. supraspinale*) создают дополнительную фиксацию между позвонками. Указанные связки носят название одноименных анатомических структур, соединяющих смежные позвонки: межостистые связки соединяют остистые отростки, межпоперечные связки – поперечные отростки позвонков, надостные связки расположены над верхушками остистых отростков.

Подвздошно-поясничные (*lig. ilio-lumbale*) связки обеспечивают соединение поперечных отростков L_V позвонка и подвздошных костей. Указанная структура ограничивает сгибание в поясничном отделе [60].

Движение в каждом ПДС активно контролируется мышечным аппаратом [275]. В поясничном отделе располагаются: мышца, выпрямляющая позвоночник, мышцы живота и поясничные мышцы. Данные мышцы обеспечивают стабильность позвоночного столба в вертикальном положении, а также при значимых осевых компрессионных нагрузках.

Позвоночный столб обеспечивает поддержание динамического равновесия тела человека, при этом осевая нагрузка способствует повышению вертикальных компрессионных сил, которые передаются в направлении к пояснично-

крестцовому переходу. При этом направление сил концентрируется в телах V поясничного и I крестцового позвонков, затем через крестцовые связки передается к поясу нижних конечностей [274]. В случае наличия пояснично-крестцовых аномалий нагрузка передается через поперечные отростки V поясничного позвонка через подвздошно-поясничные связки [140].

Аномалии пояснично-крестцового перехода являются врожденной патологией соединения данной области и определяются в виде люмбализации I крестцового позвонка (отсутствие сращения между I и II крестцовыми позвонками) и сакрализации V поясничного позвонка (наличие сращения между V поясничным и I крестцовым позвонками), при этом сращение может быть полным и неполным. Такие аномалии способствуют неправильной идентификации ниже-поясничных сегментов, что может привести к ошибке уровнем проводимого вмешательства [211].

McCulloch и Waddell установили, что пятый поясничный спинно-мозговой корешок всегда формируется в области последнего мобильного сегмента [251]. Hughes и Saifuddin отмечают отсутствие в 70 % подвздошно-поясничных связок при аномалии пояснично-крестцового перехода, что подтверждает нарушение нормальной биомеханики [185].

Частота встречаемости данной патологии колеблется в пределах от 4 % до 36 % (в среднем 12,3 %) [108].

По данным ряда авторов наличие переходных позвонков способствует ускоренной дегенерации ПДС в данной области, но при этом клиническая симптоматика зачастую не имеет различий с клиническими проявлениями пациентов, имеющими нормальную анатомию пояснично-крестцового перехода позвоночника [141, 143]. Кроме того, неравномерная осевая нагрузка в области аномального пояснично-крестцового перехода способствует повышению биомеханического стресса вышележащего сегмента с его значимой дегенерацией [83, 270].

Выяснено, что на протяжении жизни изменяется общее количество ПДС, это способствует трансформации сагиттального профиля и значимым

биомеханическим изменениям всей кинематической системы позвоночника [58]. Осевые силы взаимодействуют с параметрами позвоночно-тазового баланса, который сосредоточен в области центра тяжести, расположенного сзади от условной линии между тазобедренными суставами [90]. Вертебрологи акцентируют свое внимание на сагиттальном позвоночно-тазовом балансе, учитывая стабильность ниже-поясничного отдела позвоночника и таза во фронтальной плоскости. Установлено влияние индивидуальных параметров сагиттального позвоночно-тазового баланса на развитие дегенерации МПД и прогрессирование изменений в смежных сегментах после ригидной стабилизации [219].

Известно, что интенсификация дегенеративных изменений в МПД возникает при чрезмерных физических нагрузках, травматизации и нефизиологических упражнениях, а также у лиц с избыточной массой тела [50, 172]. Особое внимание уделяют генетическим факторам, составляющим 31–61 % от всех причин [90], к менее значимым относятся длительные интоксикации [80], патология артериальных сосудов [201], продолжительное положение сидя [231] и вибрация [361].

Ведущими причинами генетически обусловленных факторов являются повреждение коллагена IX типа [192], коллагена XI типа, интерлейкина-1, рецепторов витамина D, MMP-3 [194].

Другими причинами дегенеративной трансформации ткани МПД являются понижение количества протеогликанов и агрекана [110]. В целом дегенеративный процесс сопряжен с преобладанием анаболических процессов перед катаболическими. Многие биологически активные вещества оказывают влияние на обменные процессы МПД: инсулиноподобный фактор роста-1 (IGF-1) [22], трансформирующий факторы роста β (TGF- β), костные морфогенетические белки (BMPs) [93]. Процессы катаболизма регулируются в основном деградирующими ферментами – матриксными металлопротеиназами (MMPs) и адамализинами с тромбоспондиновым модулем (ADAMTS) [4].

Трансформация межклеточной структуры МПД зависит от её клеточной

активности. Уменьшение клеточного состава МПД провоцирует развитие дегенеративного каскада межклеточного матрикса [93]. Снижение концентрации протеогликанов сопровождается дегидратацией пульпозного ядра, что уменьшает противодействие осевым статическим нагрузкам [257]. Таким образом, выявляется следующая закономерность: неадекватность поглощения нагрузки пульпозным ядром способствует повреждению структуры фиброзного кольца, что сопровождается формированием субхондрального склероза, гипертрофией связочного аппарата и развитием костных остеофитов [347].

1.2 Клинико-диагностические методы исследования дегенеративных заболеваний пояснично-крестцового отдела позвоночника

Учитывая тот факт, что между позвоночником и сосудисто-нервными образованиями имеются сложные анатомо-физиологические взаимоотношения, клинические проявления дегенерации пояснично-крестцового отдела позвоночника разнообразны. Симптомы заболевания во многом зависят от особенностей патогенеза и стадии дегенеративного заболевания позвоночного столба [47, 61, 68].

На ранних стадиях дегенерации, когда нарушается амортизационная функция МПД, повышается нагрузка на периферические отделы фиброзного кольца, которые богато иннервируемы. Возникает очаг болевой афферентации, который воспринимается пациентом как боль в нижней части поясницы или люмбалгия. Также могут возникать отраженные боли и другие рефлекторные синдромы.

Разрушение фиброзного кольца и его разрыв может приводить к формированию протрузий и грыж МПД, которые сдавливают близлежащие сосудисто-нервные образования. Если грыжевое выпячивание МПД направлено в сторону позвоночного канала, то оно может компремировать спинной мозг, его корешки и сосуды (a. spinalis anterior, a. radiculomedullaris), вызывая явления дискогенной миелопатии или миелорадикулопатии. При смещении структур МПД

в сторону межпозвонкового отверстия развивается компрессия спинномозгового корешка и проходящих с ним одноименных артерий и вен. До сих пор дискуссионным вопросом остается возможность развития рефлекторного синдрома при грыже МПД.

При длительно текущем дегенеративном поражении позвоночника формирующиеся оссифицированные разрастания способны сдавливать образования позвоночного канала и вызывать специфические клинко-неврологические проявления. Более того, артроз ДС может служить дополнительным компрессионным фактором.

Клинические симптомы артроза ДС проявляются двусторонней паравертебральной болью со склеротомным характером локализации. Зачастую боли локализуются в поясничном отделе с иррадиацией в ягодицу и бедро до подколенной ямки. Болевой «фасет-синдром» имеет монотонный постоянный характер, усиливающийся при изменении положения тела. Также «фасет-синдром» может имитировать корешковую симптоматику (псевдорадикалярный болевой синдром). Характерна утренняя боль со снижением интенсивности при начале движения и нарастанием симптоматики к вечеру.

Хроническое сдавление окружающих органов и тканей грыжей (протрузией) МПД или костными разрастаниями сопровождается рубцовой трансформацией периваскулярных тканей, рубцово-спаечным эпидуритом и арахноидитом. Рубцово-спаечные изменения в спинальном канале и в околопозвоночных тканях могут развиваться и вследствие аутоиммунного поражения пульпозного ядра при микроразрывах фиброзного кольца [47, 68].

При развитии компрессии невральных структур на поясничном уровне формируется поясничный спинальный стеноз, клинические проявления которого многообразны и зависят от его вида. Центральный спинальный стеноз сопровождается болью в спине, а также болью и слабостью в нижних конечностях. Клиническая симптоматика развивается в вертикальном положении и при движении, в покое и при наклоне вперед – исчезает. Это в первую очередь связано с компенсаторным увеличением размера позвоночного канала.

Вышеперечисленные жалобы объединяются в симптомокомплекс нейрогенной перемежающейся хромоты или псевдоклаудикации.

Сужение фораминального отверстия сопряжено с корешковой компрессионной симптоматикой – сенсорными и моторными нарушениями в зоне соответствующей иннервации.

Также возможной причиной клинических проявлений является компрессия сосудов, развивающаяся при этом ишемия спинно-мозговых корешков сопровождается болью и слабостью в нижних конечностях.

Основная клиническая симптоматика поясничного спинального стеноза – двухсторонняя псевдоклаудикация, а также боли в бедре и голени в одной и обеих нижних конечностях. Указанные симптомы усиливаются в вертикальном положении и при разгибании в поясничном отделе позвоночника, уменьшаются в горизонтальном положении и при сгибании в поясничном отделе позвоночника. Также возможны неприятные ощущения в нижних конечностях в виде парестезии. При этом корешковые боли имеют стойкий характер и сопровождаются снижением чувствительности и парезами отдельных групп мышц, усиливающимися при физической нагрузке. У большинства пациентов симптоматика носит многофакторный характер. Наиболее часто выявляются рефлекторный мышечно-тонический и миофасциальный болевой синдромы [14, 17].

У пациентов старшей возрастной группы часто верифицируется сочетание поясничного спинального стеноза с остеоартрозом крупных суставов нижних конечностей – тазобедренных и коленных. При этом боли вследствие остеоартроза могут маскировать вертеброгенный болевой синдром. Биомеханические изменения при дегенеративных заболеваниях позвоночного столба компенсируются сутулостью спины и некоторым сгибанием в крупных суставах.

Инструментальные методы диагностики

Диагностические мероприятия при наличии поясничных компрессионных

синдромов описаны в многочисленных литературных источниках [52, 55]. В то же время концептуальный подход и дифференцированный лечебно-диагностический алгоритм у пациентов с дегенеративными заболеваниями поясничных ПДС остаются недостаточно изученными [302].

Обязательным диагностическим исследованием при патологии МПД пояснично-крестцового отдела позвоночника является обзорная спондилография, выполняемая в двух проекциях [175]. На ней выявляются косвенные данные о патологической подвижности: деформация позвоночника (гиперлордоз, кифоз или сколиоз), дефекты дужки и ДС, передние тракционные костные экзостозы [44]. Детальную информацию о динамической функции поясничного отдела позволяет получить функциональная спондилография. Данное исследование выполняется в крайних положениях амплитуды сгибания и разгибания позвоночника. Указанная методика способствует определению величины амплитуды движений смежных позвонков между собой.

В настоящее время в спинальной нейрохирургии активно используются методы нейровизуализации – МСКТ и МРТ. МСКТ используется для получения максимально информативного изображения позвонков, преимущественно оссификатов в проекции МПД. Дегенеративный процесс в МПД по МСКТ определяется как «вакуум-феномен». При снижении объема ткани МПД по отношению к высоте межтелового промежутка пустое пространство замещается газами (кислород, азот), с формированием внутридисковых скоплений. МСКТ позволяет выявить грыжевое выпячивание МПД. Это менее дорогой метод нейровизуализации по сравнению с МРТ. Но в ряде случаев (например, при поясничном спинальном стенозе) для получения полноценной информации о состоянии позвоночного канала и степени компрессии невральных структур, находящихся в нем, необходимо МСКТ дополнять субарахноидальным введением контрастного вещества [40, 122]. Тем не менее стоит отметить, что наиболее информативным методом исследования дегенеративных изменений в МПД является МРТ.

МСКТ не является обязательным методом обследования дегенеративных

заболеваний. Это связано с тем, что при данной методике хорошо визуализируются костные структуры (в отличие от мягкотканых), поэтому информации о интраканальном секвестре, структуре МПД и спинно-мозговых корешков будет недостаточно. При этом по МСКТ возможно выявление оссификации МПД, связочного аппарата, интраканальных остеофитов. При сочетании МСКТ с миелографией визуализируются нервные структуры (дуральный мешок, спинно-мозговые корешки) и верифицируется степень их компрессии [40].

Как уже было отмечено, МРТ имеет ряд преимуществ перед МСКТ для исследования дегенерации поясничных МПД: отсутствие лучевой нагрузки и потребности в ведении контрастирующих веществ [220, 222].

МРТ – методика исследования позвоночника, которая проводится в стандартном горизонтальном положении. В последнее время становится активным использование функциональной МР-диагностики с применением вертикального сканера [189, 210, 215]. Это связано с возможностью исследования физиологических изменений в МПД под воздействием силы тяжести и положения тела в пространстве – истинных параметров: высоты МПД, размеров позвоночного канала и межпозвонкового отверстия, величины пролабирования дискового материала и наличия смещения позвонков относительно друг друга [181]. Основным преимуществом МРТ является не только изучение степени сдавления невральных структур, но и детальная информация о морфологических изменениях в структуре поясничных сегментов – МПД и ДС, например: изменение интенсивности сигнала от МПД и тел смежных позвонков [256].

Но при этом данные стандартные режимы МРТ не способны исследовать начальные дегенеративные изменения в тканях МПД [346]. Поиск технологических решений, направленных на изучение количественной оценки дегенерации МПД, привел к разработке ДВ МРТ для исследования движения свободных молекул воды в клетках. Введенный параметр ИКД определяет степень диффузии молекул воды в виде функциональной карты ДВИ, на которой возможно выявить минимальные изменения в исследуемой области [9, 202].

ИКД ДВ МРТ способствует определению зависимости между уменьшением питания МПД и выраженностью его дегенерации. По нашим данным [10], анализ значения ИКД от анатомического уровня МПД выявил слабую отрицательную корреляционную зависимость. Литературные данные немногочисленны и противоречивы. Так, в исследовании Niinimäki с соавт. [262] не обнаружено выраженной зависимости между уровнями МПД и значением ИКД. С другой стороны, в работе Kerttula с соавт. [203] была наглядно продемонстрирована зависимость между уровнем МПД и величиной его ИКД. При этом ИКД МПД краниальной локализации имели более высокие значения по сравнению с каудальными МПД.

Стоит отметить, что методика ДВ МРТ имеет определенные ограничения. Во-первых, ДВ МРТ крайне чувствительна к движениям, особенно к моторике желудочно-кишечного тракта и дыхательным движениям, что приводит к образованию артефактов на МРТ-изображениях и картах ДВИ. С целью нивелирования влияния движений на качество изображений пациента просят поддерживать спокойное дыхание и фиксируют живот поясом. Во-вторых, артефакты могут образовываться и от циркуляции спинномозговой жидкости, что в значительной степени может повлиять на итоговое значение ИКД МПД. В данной ситуации рекомендуется выбирать область интереса в середине полученных изображений и переносить их на карты ДВИ [10].

Говоря о лучевой диагностике дегенеративного поражения ДС, стоит упомянуть классификацию Fujiwara [159], который в своем исследовании выполнил МРТ трех нижне-поясничных уровней 138 больным с болью в спине и/или ноге. При этом изменения в ДС оценивали по 4-балльной системе: 1 – отсутствие изменений; 2 – легкие изменения (сужение суставной щели, нерезко выраженные остеофиты); 3 – умеренно выраженные изменения, 4 – грубые изменения. У больных молодого возраста преобладали дегенеративные изменения МПД, изменения ДС обычно оценивали до 1–2-х баллов. В пожилом возрасте наряду с изменениями МПД отмечены патологические изменения в ДС преимущественно до 2–4-х баллов. Корреляции изменений с полом пациентов не

отмечено, авторы высказали мнение о различных патогенетических механизмах, дегенерации МПД и ДС.

Таким образом, дегенеративный процесс в МПД сопровождается сдавлением структур позвоночного канала, раздражением болевых рецепторов, ослаблением фиксирующих свойств мышечно-связочного аппарата с формированием патологической подвижности ПДС [350]. При этом не всегда отмечается сочетание рентгенологических признаков патологической подвижности позвонков с клиническими проявлениями, и, наоборот, при наличии поясничной боли при динамических нагрузках возможно отсутствие патологических изменений в поясничных сегментах [256], в связи с чем для принятия правильной тактики у пациентов с дегенеративными заболеваниями поясничных ПДС необходимо оценивать комплекс клинических проявлений и изменения по нейровизуализационным данным [79].

Установлено, что количество дегенерированных ПДС не коррелирует с выраженностью неврологической симптоматики [42]. Так как у подавляющего числа пациентов имеется полисегментарный процесс дегенерации, может выявляться сложная многокомпонентная клиника, оказывающая влияние на хирургическую тактику [46]. Но при этом многие авторы указывают на то, что при асимптомном течении многоуровневой дегенерации оперативные вмешательства даже при значимых изменениях в ПДС нецелесообразны [52, 66, 260].

1.3 Хирургические вмешательства при дегенеративных заболеваниях пояснично-крестцового отдела позвоночника

1.3.1 Виды хирургических вмешательств и обоснование преимуществ динамической фиксации

В течение последнего столетия основным способом хирургического лечения дискогенного болевого синдрома являлась декомпрессия позвоночного канала и дискэктомия. Первое удаление МПД в поясничном отделе осуществлено в 1934

году Mixer и Barr [13, 14, 62, 255]. Выполнение субтотальной дискэктомии способствовало клиническому улучшению более чем у 40 % оперированных лиц [25, 123, 184]. Но при этом в ряде случаев в послеоперационном периоде развивалась СН, особенно в случае исходной патологической подвижности [119]. Первые сведения о ригидной стабилизации принадлежат Albee для лечения болезни Потта [77] и Hibbs для коррекции деформации позвоночника [178].

Некоторые исследователи указывают на преимущество декомпрессивно-стабилизирующих вмешательств над декомпрессивными [19, 106, 317]. Основным показанием к ригидной стабилизации является клинически значимая дегенерация МПД, сопровождающаяся грыжевым выпячиванием, спондилолистезом, гипертрофией ДС и спинальным стенозом [378]. Установлено, что межтеловой спондилодез способствует клиническому улучшению при лечении пациентов с заболеваниями поясничных сегментов дегенеративного характера [134], но при этом не всегда происходит формирование костного блока и ограничение объема патологической подвижности [17, 81]. Дополнительная инструментальная фиксация (крючковая, трансфасеточная, транспедикулярная) позволила увеличить эффективность стабилизации оперированного сегмента позвоночника и снизить частоту развития псевдоартроза [18, 21, 173, 239, 309].

Ригидная стабилизация и межтеловой спондилодез является самым распространенным видом оперативного вмешательства в спинальной хирургии в последние три десятилетия. Накопленный опыт декомпрессивно-стабилизирующих вмешательств показал высокую частоту формирования костного блока (до 100 %), но при этом успешные клинические результаты не сопоставимы с рентгенологическими [162, 259]. Установлено, что хороший клинический исход варьирует в пределах от 15 до 90 % (в среднем 70 %) [345]. Ригидная стабилизация способствует биомеханической перегрузке смежных сегментов с ускоренной их дегенерацией, а также имеет риски несостоятельности костного блока, инфекционных осложнений, послеоперационного болевого синдрома, поломки фиксирующих элементов и резорбции костной ткани вокруг погружных металлоконструкций [64, 157, 271, 323]. Установлено, что частота

развития дегенеративных заболеваний в смежных со спондилодезированными сегментами составляет от 5,2 % до 100 % [174, 180, 366]. Считается, что наиболее сложными для восстановления пространственных взаимоотношений являются вмешательства на переходных зонах (торако-любарном и люмбо-сакральном переходах), в связи с большим биомеханическим стрессом смежных сегментов [180, 280].

Поиск альтернативных решений для снижения неудовлетворительных результатов ригидной стабилизации направлен на защиту смежных сегментов от биомеханического стресса, снижения рисков поломки фиксирующей конструкции, устранения патологической подвижности с сохранением физиологического объема движений в оперированном сегменте [332, 367]. Общеизвестно, что в физиологических условиях МПД имеет изотропную структуру с упругими физическими свойствами и выполняет амортизирующую функцию, но при его дегенерации развивается изменение передачи осевой нагрузки и нарушение сегментарной биомеханики [14, 254, 263]. При этом болевой синдром, связанный с дегенеративным заболеванием МПД, возникает преимущественно при нагрузках [102, 321]. Установлено, что полуригидная стабилизация позволяет восстановить физиологический объем движений в поясничном отделе позвоночника и снизить дегенерацию смежного сегмента [102, 200]. В настоящее время выделяют 2 группы динамической стабилизации – переднюю и заднюю, в каждой из которых имеются различные по структурно-функциональным характеристикам устройства [100, 164, 198, 206]. В современных специализированных литературных источниках имеются сведения о высоких клинических послеоперационных результатах, но при этом биомеханические эффекты использования различных стабилизирующих конструкций являются противоречивыми [200, 265, 271, 272]. Тем не менее до сих пор нет убедительных данных о преимуществах динамической и ригидной хирургических методик [130].

1.3.2 Показания к использованию динамической фиксации

Общепринятые основные показания для полуригидной задней стабилизации: симптоматичный спинальный стеноз; длительная неврологическая симптоматика дискогенного происхождения или вследствие фасет-синдрома; начальные дегенеративные изменения и СН прилежащего сегмента; предотвращение развития послеоперационной СН после декомпрессионного этапа; снижение дегенеративных изменений МПД и ДС смежных и оперированных сегментов; формирование полноценного спондилодеза после дополнительной стабилизации передней опорной колонны [199, 206, 337].

Показаниями к динамической межкостистой стабилизации являются центральный стеноз позвоночного канала с клиникой псевдоклаудикации, симптоматичное фораминальное стенозирование, фасет-синдром [17, 193, 356].

По мнению ряда авторов, установлено, что выполнение передней динамической стабилизации (использование искусственных МПД) возможно при симптоматичной дегенерации МПД без значимых структурных изменений ДС, сохранении высоты межтелового промежутка, некомпрессионных синдромах поясничного остеохондроза [1, 7, 8, 331].

Таким образом, проведение динамической стабилизации направлено на восстановление пространственных взаимоотношений и биомеханики в оперированных сегментах позвоночника, при условии отсутствия значимых морфоструктурных изменений его опорных элементов, в связи с чем необходимо детальное предоперационное обследование пациентов с учетом современных нейровизуализационных методов обследования [15, 91, 117, 213, 370].

1.3.3 Передние хирургические вмешательства с использованием динамических устройств

- 1) *Тотальная артропластика МПД (total disc replacement)*

Клинически значимая дегенерация поясничных МПД является основным показанием к проведению тотальной артропластики (ТА). По предоперационном клинико-инструментальном обследовании перед ТА у пациентов определяют дискогенный характер симптоматики или СН, при этом необходимо исключить спондилоартроз методиками функциональной спондилографии, магнитно-резонансной томографии (МРТ) и провокационной дискографии.

Первая артропластика была осуществлена Paul Harmon, который с 1959 по 1961 использовал шарообразные имплантаты из сплава хрома и кобальта, устанавливаемые в полость МПД из переднего доступа [253]. В дальнейшем Ulf Fernstrom в период с 1962 по 1972 гг. применял артропластику стальными сферическими конструкциями из заднего доступа и первым опубликовал результаты хирургических вмешательств в 1966 году [152, 253]. В дальнейшем ряд специалистов также использовали стальные шарообразные имплантаты, но в связи с малой площадью контактной поверхности часто верифицировались осложнения, сопровождающиеся рецидивом болевого синдрома: проседание и миграция конструкции, снижение высоты межтелового промежутка, ограничение движений в оперированном сегменте [152, 252, 301]. Buttner-Janzen с коллегами в 1984 сконструировали и имплантировали качественно новый эндопротез МПД – Charite (Medtronic, USA) (Рисунок 1а), который представляет из себя полимерное вращающееся ядро между двумя вогнутыми площадками [114]. Наличие осевой миграции способствовало увеличению площади контактной поверхности и созданию протеза Charite II [230]. Учитывая высокую степень проседания имплантата в 2004 году был разработан Charite III с кобальт-хромо-молибденовыми концевыми пластинами [160].

Первый искусственный МПД ProDisc (Synthes, USA) (Рисунок 1б), состоящий из двух металлических пластин и немобильного полиэтиленового вкладыша, был имплантирован Rousseau с соавт. в 1990 году [308]. В последующем разработан ProDisc II, в котором так же, как и в Charite III, концевые пластины были заменены кобальт-хромо-молибденовым материалом [376].

Первый полуподвижный протез Maverik (Medtronic, USA) (Рисунок 1в), разработанный в 2002 году, обеспечил оптимальный задний центр ротации [245].

Более совершенный протез МПД М-6 L (Spinal Kinetics, USA) (Рисунок 1г), введенный в эксплуатацию 2009 году, имеет искусственное пульпозное ядро, которое обеспечивает физиологический объем движений в шести разнонаправленных проекциях, и фиброзное кольцо волокнистой структуры, противодействующее осевому сжатию [1, 307].

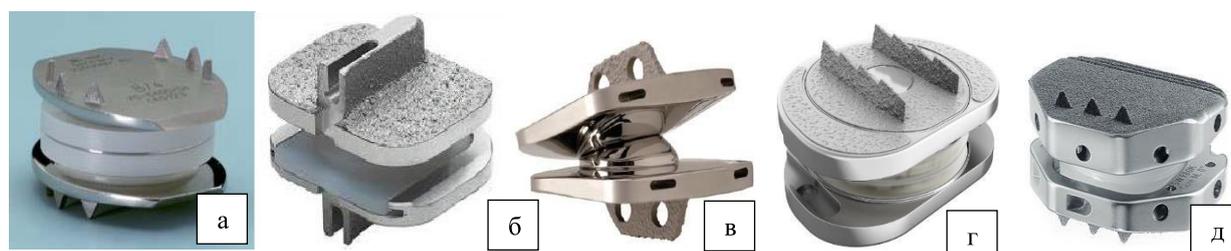


Рисунок 1 – Искусственные протезы МПД: а – Charite; б – ProDisc; в – Maverik; г – М-6 Lumbar; д – activL® Artificial Disc

В настоящее время существуют различные конструкции искусственных МПД, имплантация которых сопряжена с высоким числом положительных клинических результатов при соблюдении тщательного предоперационного отбора пациентов [1, 7, 8, 118, 266, 313]. Так, выделяют 3 группы имплантатов: 1) подвижный, который не имеет специфических ограничений движения; 2) полуподвижный с ограничением движения с возможностью частичной трансляции и 3) полуподвижный с ограничением движения без возможности частичной трансляции [279]. Причем чем меньше конструктивная стабильность имплантата, тем больше осевая нагрузка на задние опорные элементы [354].

Биомеханический анализ Daftari с соавт. показал, что после моно- или полисегментарной имплантации искусственных дисков, а также в случае гибридной фиксации с ригидной конструкцией значительно не изменялась кинематика смежного ПДС, в то время как двухуровневый спондилодез значительно повышал мобильность смежного сегмента, ускоряя его дегенерацию

[139]. Erkan с соавт. на кадаверном материале установили, что гибридная установка искусственного МПД в сегменте $L_{IV}-L_V$ и ригидная стабилизация L_V-S_I при сравнении с двухуровневым спондилодезом $L_{IV}-L_V-S_I$ имеет меньшую редукцию диапазона движения в смежном ПДС [145]. Клиническое исследование Hoff с соавт. выявило лучшее биомеханическое восстановление и меньшую выраженность болевых ощущений в 37-месячном катамнезе после гибридной двухуровневой фиксации, что делает перспективным её использование при многоуровневых поражениях МПД [182]. Мультиуровневое эндопротезирование МПД поясничного отдела показало хорошие результаты при наличии спондилезных изменений поясничных сегментов без значимых поражений ДС [98], но авторы указывают на необходимость дальнейших рандомизированных исследований для подтверждения полученных результатов. Berg с соавт., проанализировав 2 группы пациентов после трехуровневой ($n=30$) и артропластики в 1–2-х сегментах ($n=700$), не выявили статистически значимых различий по клинической эффективности: верифицировано уменьшение боли в спине с 61 ± 21 мм до 31 ± 31 мм в первой группе и с 60 ± 20 мм до 22 ± 6 мм во второй, уменьшение выраженности боли в ногах с 32 ± 26 мм до 16 ± 25 мм в первой группе и с 34 ± 28 мм до 15 ± 23 мм во второй группе, улучшение функционального состояния по ODI с 43 ± 12 % до 23 ± 22 % в первой группе и с 40 ± 13 % до 17 ± 17 % во второй [96]. В исследовании, проведенном Pablo с соавт., между пациентами с одно- и двухуровневой установкой искусственного диска установлено отсутствие межгрупповых различий по ВАШ и ODI, в катамнезе выявлено значимое клиническое улучшение в виде минимальных функциональных нарушений и остаточной боли в спине [133]. При этом Siere с соавт. указывает на выявление меньшего числа неблагоприятных последствий у пациентов с одноуровневой ТА (11,0 %) при сравнении с двухуровневой (27,6 %) [329].

Многие клинические исследования подтвердили значительную эффективность ТА, имеющих различные конструктивные особенности. Lemaire с соавт. после имплантации искусственного диска Charite у 105 пациентов

установили, что в 79 % случаев получены хорошие клинико-рентгенологические результаты в 51-месячном катамнезе и у 87 % оперированных лиц была восстановлена трудоспособность [227]. В течение 8,7 лет после имплантации диска ProDisc-L у 40 из 55 пациентов полностью отсутствовала дооперационная симптоматика, успешность вмешательства расценена в 74 % случаев, при этом основные осложнения, зарегистрированные в исследовании, были связаны непосредственно с хирургическим доступом [344]. Park с соавт. провели одноцентровое исследование у 30 пациентов после установки имплантата ProDisc-L, оцененное через 2 и 5 лет [277, 278]. При двухлетнем наблюдении отмечено снижение уровня боли с 7,2 см до 1,2 см и функциональное восстановление по ODI с 18,3 % до 4,1 %, диапазон сегментарных движений составил в среднем $4,78^{\circ}$ [278]. При оценке клинико-рентгенологических результатов через 5 лет получены клинические параметры, идентичные тем, которые были получены при двухлетнем наблюдении. Кроме того, установлена постепенная потеря общего диапазона движений в поясничном отделе позвоночника: $37,94^{\circ}$ через 1 год после операции, $29,03^{\circ}$ через 2 года, $17,01^{\circ}$ через 5 лет, при дооперационном значении в $24,3^{\circ}$. Также отмечено уменьшение высоты межтелового промежутка после артропластики с 17,2 мм до 13,8 мм [277]. Дегенерация ДС на уровне вмешательства и смежном ПДС через 2 года после вмешательства составила 29,3 % и 6,4 % соответственно и через 5 лет – 30,3 % и 14,1 % соответственно. Таким образом, прогрессирование морфоструктурных изменений заднего опорного комплекса зарегистрировано преимущественно в смежном ПДС.

Абакиров с соавт., анализируя результаты применения искусственного диска M-6-L, установили уменьшение интенсивности боли по ВАШ с 5,5 см до 3,4 см и улучшение по ODI с 56 % до 27 %, средняя сегментарная подвижность составила $9,2 \pm 2,8^{\circ}$ [1]. По данным Бывальцева с соавт., при мультицентровом изучении послеоперационных исходов 156 пациентов с имплантацией M-6 установлено: изменение значений по ODI с $40,2 \pm 6,9$ % до $12,3 \pm 6,1$ %; снижение выраженности боли по ВАШ с $6,9 \pm 1,6$ см до $1,3 \pm 1,2$ см; динамика сегментарной подвижности с $36,8 \pm 2,6^{\circ}$ до $41,2 \pm 2,9^{\circ}$ [7]. Подобные клинико-рентгенологические

данные получены Ritter с соавт. в течение 3 лет наблюдения [307].

Исследования, посвященные сравнительному анализу артропластики и ригидного спондилодеза, ведутся с 80-х годов прошлого столетия. Так, при сравнении одноуровневой имплантации диска Charite и односегментарного переднего межтелового спондилодеза в проспективном рандомизированном исследовании с пятилетним периодом наблюдения выявлены статистически значимые преимущества искусственных МПД: по клинической эффективности – 57,8 % и 51,2 % соответственно, по степени восстановления – 65,6 % и 46,5 % соответственно, по длительности нетрудоспособности – 8,0 % и 20,9 % соответственно [169]. В то же время Zigler с соавт. при проведении рандомизированного проспективного мультицентрового исследования односегментарной артропластики ProDisc и одноуровневого межтелового спондилодеза в пятилетнем катамнезе не получили статистически значимых различий по клиническим параметрам между группами [374]. В то же время в современных литературных источниках имеются данные различных групп авторов, указывающих на то, что пятилетние результаты поясничной артропластики сопоставимы с исходами после ригидной стабилизации [278, 329, 344]. Установлено, что преимущество имплантации искусственных дисков над ригидной стабилизацией возможно при соблюдении условий одноуровневой дискогенной симптоматики у молодых пациентов [329, 344]. Тем не менее наличие заинтересованности в исследовании и отсутствие мультицентровой рандомизации не позволяет однозначно расценивать полученные результаты [137, 188, 349, 354]. Но при этом мета-анализ Wei с соавт., посвященный сравнению отдаленных результатов ТА и межтелового спондилодеза, показал, что динамическая фиксация ассоциируется с лучшим функциональным исходом по ВАШ и ODI, меньшим количеством послеоперационных осложнений и сохранением физиологического диапазона движений в двухлетнем периоде наблюдения. Но при этом по показателям объема кровопотери, длительности хирургического вмешательства и частоте повторных операций различий не выявлено [357]. По данным Mattei с соавт., в течение 1 года наблюдения

клиническая эффективность (уровень боли по ВАШ, значения ODI, восстановление трудоспособности) ТА протезом Charite была статистически ниже в сравнении с передним межтеловым спондилодезом [246].

При оценке состояния смежных ПДС после различных видов стабилизации важно учитывать исходное состояние смежного МПД, биомеханический стресс после ригидного спондилодеза и анатомические изменения, возникающие при операции [177]. В проспективном мультицентровом исследовании Zigler с соавт. при анализе рентгенологических исходов, оцененных через 5 лет после операции, установлена статистически значимо большая частота прогрессирования дегенерации в смежном ПДС после ригидного спондилодеза по сравнению с ТА – 23,8 % и 6,7 % соответственно ($p=0,008$), но необходимость в повторных хирургических вмешательствах была сопоставимой – 4,0 % и 1,9 % соответственно [375].

В рандомизированных контролируемых исследованиях, посвященных артропластике, частота осложнений и реопераций составляет от 7,3 % до 29,1 % и от 3,7 % до 11,4 % соответственно [349]. Основными осложнениями, связанными непосредственно с имплантатами, являются нестабильность конструкции и её миграция, дегенерация смежного сегмента, остеолит и гетеротопическая оссификация. Эти неблагоприятные последствия значительно ухудшают клинические и функциональные исходы у пациентов, с разной частотой встречаемости касаются любых конструктивно различающихся имплантатов: Charite [218]; ProDisc-L [353]; M-6-L [1,7].

В последнее время актуальным является оценка отдаленных исходов ТА поясничных МПД для анализа клинических результатов и биомеханических эффектов устанавливаемых конструкций.

Plais с соавт. при исследовании 87 пациентов после имплантации системы Maverik в 10-летнем катамнезе проанализировали результаты хирургического лечения 61 человека: зарегистрировано улучшение функционального состояния по ODI с 43,8 % до 22,7 %; снижение болевых ощущений по ВАШ с 7,2 см до 3,45 см, при этом значимой динамики болевого синдрома в нижних конечностях не

выявлено – 3,2 см до операции и 3,1 см в 10-летнем катамнезе. Через 10 лет после операции 62,9 % оперированных лиц сохранили профессиональную деятельность, 24,1 % – вышли на пенсию, 13 % – были нетрудоспособны. При анализе рентгенологических данных установлено: сохранение мобильности сегмента в 75,6 % случаев, общий объем движений в катамнезе составил для уровня L_{IV}-L_V 9,8⁰, для L_V-S_I – 8,3⁰ [292].

Laugesen с соавт. изучили клинические результаты использования конструкции ProDisc в течение 10,6 (8,1–2,6) лет у 57 пациентов преимущественно на одном (36,63 %) и двух (20,35 %) уровнях: установлено значимое уменьшение болевого синдрома с 6,8 см до 3,2 см по ВАШ и восстановление качества жизни по Dallas Pain Questionnaire с 63,2 % до 45,6 %; в 19 случаях (33 %) выполнены ревизионные вмешательства; 52,6 % пациентов заявили о возможном выборе аналогичного способа лечения при необходимости; 12,3 % пациентов определенно не выбрали бы данный вид оперативного вмешательства снова [221]. По данным Siere с соавт., в исследование включен 181 пациент, средний период наблюдения составил 7,4 (5,0–10,8) лет после имплантации искусственного диска ProDisc, установлено статистически значимое клиническое улучшение по ВАШ и ODI, в 86 % случаев получены хорошие исходы, у 14,4 % зарегистрированы послеоперационные осложнения, в 16 % случаев выполнены ревизионные вмешательства [329]. Park с соавт. при изучении 10-летнего катамнеза после артропластики системой ProDisc установили: клиническое улучшение достигнуто у 66,7 % оперированных лиц, при этом субъективная удовлетворенность составила 72,9 % [283].

Lu с соавт., исследовав результаты хирургического лечения 32 пациентов после имплантации конструкции Charite в среднем катамнезе 11,8 лет, установили клиническое улучшение и функциональное восстановление у 87,5 % и восстановление трудоспособности в 75,9 % случаев. Но при этом гетеротопическая оссификация диагностирована у 71,4 % пациентов, проседание протеза у 9,4 % [233]. По данным Guyer с соавт., при анализе пятилетних результатов лечения пациентов после артропластики Charite (n=190) и Kineflex-L

(n=204) отмечено значительное снижение дооперационного болевого синдрома по ВАШ и улучшение функционального состояния по ODI; при анализе рентгенологических данных установлено, что в течение первых трех месяцев диапазон движений уменьшался, затем увеличивался в течение 24 месяцев и в дальнейшем не изменялся; частота повторных хирургических вмешательств составила в пределах 11 % для каждой из исследуемых групп [168].

В 2016 году Yue с соав. сообщили о сравнительном анализе использования нового протеза МПД – activL® Artificial Disc (Aesculap Implant Systems, USA) (n=218) и общеизвестных ProDisc и Charite (n=106). Новая конструкция состоит из двух кобальт-хромовых пластин и сверхпрочного полиэтиленового вкладыша (рисунок 1г), применение позволило получить статистически лучшие исходы через 2 года после операции по улучшению функционального состояния и регрессу неврологической симптоматики, восстановлению диапазона движений в оперированном сегменте, наличию осложнений и необходимости в повторных хирургических вмешательствах (p=0,02) [372].

Также в настоящее время ведутся исследования возможности артропластики из бокового доступа через поясничную мышцу: полученные результаты в период 27,5 (18–48) месяцев указывают на снижение болевого синдрома в спине на 74 %, в нижних конечностях – на 50 %; восстановление функционального состояния по ODI на 69 %; диапазон движений составил 7,5° через 12 месяцев послеоперационного периода; в двух случаях диагностирована дислокация имплантата [241].

Таким образом, в настоящее время существует необходимость проведения долгосрочных рандомизированных исследований, направленных на сравнительный анализ различных типов протезов МПД [70, 142, 153, 310].

2) Замена пульпозного ядра (*nucleus replacement*)

Первый протез пульпозного ядра (Prosthetic disc nucleus – PDN) – (PDN-Raymedica, USA) (рисунок 2а) был впервые имплантирован в 1996 году [115]. Это устройство состояло из полимерного гидрогелевого ядра, окруженного

полиэтиленовой оболочкой высокой прочности для сохранения межтелового пространства и физиологической сегментарной подвижности. Последней разработанной формой PDN является система HydraFlex (Raymedica, USA) (рисунок 2б), но клинические исследования не подтвердили её эффективность [290, 312]. Selviaridis с соавт. получены данные, подтверждающие эффективность использования PDN: у 10 пациентов с 96-месячным периодом наблюдения зарегистрировано снижение уровня болевого синдрома с $6,6 \pm 1,6$ см до $1,6 \pm 1,5$ см; улучшение качества жизни по ODI с $51,4 \pm 15,7$ % до $6,2 \pm 10,4$ %. При этом отмечено статистически значимое увеличение высоты межтелового промежутка $7,9 \pm 1,4$ мм до $11,3 \pm 2,7$ мм, а динамика диапазона движений в оперированном сегменте составила с $28,2 \pm 25,7^0$ до $20,2 \pm 11,8^0$ [319]. Zhang с соавт. свидетельствуют о клиническом улучшении пациентов по ODI с 52 % (42 % – 55 %) до 13,5 % (10,5 % – 20 %), 87,9 % пациентов отметили значимое улучшение после операции, в 5 % случаев рецидив симптоматики был связан с миграцией конструкции. По данным МРТ в 67,2 % случаев диагностировано повреждение замыкательных пластинок, определено снижение высоты межтелового промежутка с 8,5 мм до 7,1 мм, средний диапазон движений в отдаленном послеоперационном периоде составил $13,5^0$ [379].

Более совершенным устройством для замены пульпозного ядра является система NUBAC, Disc Arthroplasty System (Invibio, USA) (Рисунок 2в), разработанная для поддержания высоты и механической функции МПД. Проведенное Alpízar-Aguirre с соавт. исследование подтвердило сохранение высоты межтелового промежутка, но двигательная функция оперированного сегмента не восстановилась [78]. Brown с соавт. проведено исследование данной конструкции In vitro, которое показало большую устойчивость к нагрузкам по сравнению с другими материалами, используемыми для артропластики [109]. Клинические результаты Вао с соавт. свидетельствуют о снижении выраженности боли по ВАШ в среднем с 76 мм до 11 мм, улучшение функционального состояния по ODI в среднем с 51 % до 31 % через 24 месяца после операции [87].

Другая система – DASCOR, Disc Arthroplasty System (Disc dynamics, USA)

(Рисунок 2г) представляет собой устройство, заполняемое полиуретановым полимером под давлением [327]. Проспективное нерандомизированное мультицентровое исследование показало безопасность данной конструкции и подтвердило эффективность её применения при дегенеративных заболеваниях МПД: отмечено снижение уровня боли по ВАШ в среднем с 7,6 см до 3,3 см, восстановление качества жизни по ODI в среднем с 57,5 % до 23,2 % в течение двухлетнего послеоперационного периода. Также установлено отсутствие признаков формирования спондилодеза, разрушения замыкательных пластинок и проседания имплантата, при этом диапазон движений в оперированном сегменте соответствовал нормальным физиологическим значениям [76].

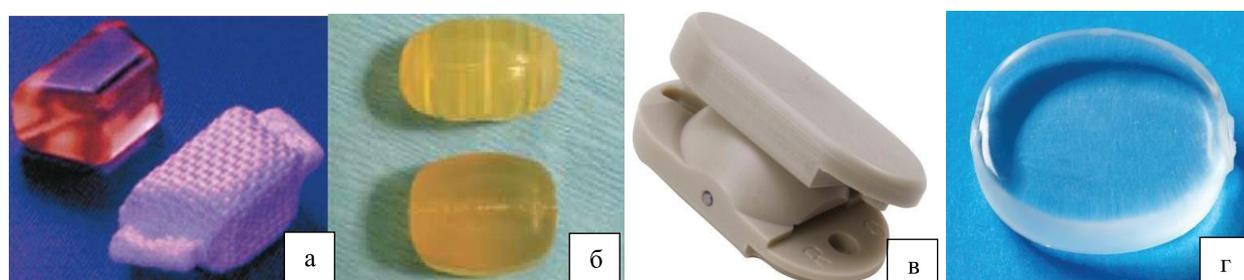


Рисунок 2 – Внешний вид имплантатов для замены пульпозного ядра: а – PDN- Raymedica; б – HydraFlex; в – NUBAC; г – DASCOR

1.3.4 Задние хирургические вмешательства с использованием динамических устройств

1) Динамические балки (dynamic rods)

Первое динамическое устройство, установленное из заднего доступа, спроектировано Henry Graf. Одноименный имплантат (Montrouze, France) (Рисунок 3) представляет собой плетеные ленты из полиэстера, фиксирующиеся вокруг винтовой конструкции. Данная стабилизирующая система обеспечивает контролируемое ограничение патологической подвижности, сохраняя разгибание в оперированном отделе позвоночника, что по биомеханическим преимуществам противопоставляет её технологии ригидной стабилизации [195, 267]. Но при этом отмечены и отрицательные её свойства – растяжения искусственных связок и ослабление стабилизации, сужение

фораминальных отверстий и уплощение поясничного лордоза [84, 305].

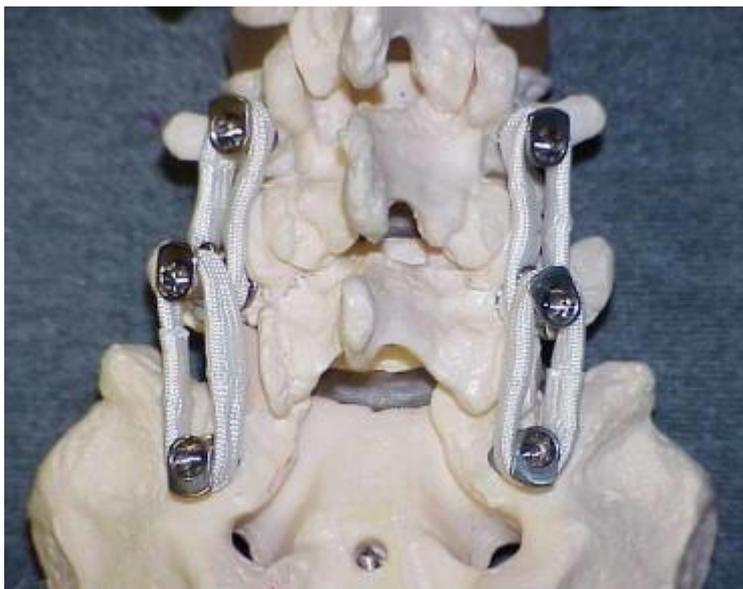


Рисунок 3 – Система лигаментарной фиксации Graf

Капуама с соавт. проведено клинико-рентгенологическое исследование 56 пациентов с 10-летним катамнезом наблюдения после задней динамической стабилизации системой Graf [195]. Установлена клиническая эффективность использования фиксирующей конструкции у пациентов с дегенеративным спондилолистезом и сгибательной нестабильностью, но при этом получены неудовлетворительные результаты при наличии дегенеративного сколиоза и латеролистеза. Nadlow с соавт. установили высокую частоту реопераций после лигаментопластики за счет увеличения дегенерации ДС [170] и перегрузки задних отделов МПД [321].

При ретроспективном исследовании 43 пациентов с поясничным стенозом Choi с соавт. [129] выявлено, что использование искусственной лигаментарной фиксации Graf не позволяет полностью избежать формирования патологической СН на оперированном уровне, в смежном вышележащем и нижележащем сегментах в 28 %, 42 % и 30 % соответственно.

Клиническое исследование Grevitt с соавт. показало, что в послеоперационном периоде у 50 пациентов улучшение качества жизни составило с ODI 59 % до 31 %, но при этом в 12 случаях сохранялись клинические

проявления радикулопатии [166]. Markwalder с соавт. сообщили о полном регрессе болевого синдрома у 66 % пациентов, у 25,7 % произошло значительное снижение уровня боли и у 7,7 % – незначимое [242].

В 1994 году разработана система Dynesys (Zimmer, USA) (Рисунок 4), состоящая из транспедикулярных винтов, в которые помещались эластичные балки из полиэтилентерефталата, окруженные поликарбонат-уретановой оболочкой [115, 318]. Благодаря конструктивной особенности имплантата и физическим свойствам используемого материала, осуществляется контролируемое осевое сжатие и дистракция в оперированном сегменте, что позволяет предотвратить фораминальное стенозирование, уменьшение поясничного лордоза и биомеханическую перегрузку смежных сегментов [121, 216, 348].



Рисунок 4 – Система динамической стабилизации Dynesys

Отдаленная эффективность использования системы задней динамической стабилизации Dynesys подтверждена рядом исследований. Так, Stoll с соавт. [336] установили улучшение качества жизни по ODI с 55,4 % до 22,9 % ($p < 0,01$); Grob et al. [167] сообщили о снижении болевого синдрома в спине у 67 % и 64 % в нижних конечностях; по данным Schaeren с соавт. [314], клиническая эффективность проведенной операции составила более 95 %; Cienciala с соавт. указывают на статистически значимое улучшение функционального состояния в

послеоперационном периоде, сохраняющиеся в трехлетнем катамнезе [132].

Кроме того, Putzier с соавт. указывают на снижение дегенеративных изменений в МПД после задней декомпрессии и динамической стабилизации оперированных сегментов [296], что также подтверждено другими исследователями [121, 336].

В некоторых случаях динамическая стабилизация не позволяет улучшить биомеханику в оперированном отделе позвоночника. Так, при сравнительном анализе односегментарной ригидной стабилизации (РС) и комбинированной односегментарной ригидной с динамической фиксацией системой (КРДС) Dynesys у пациентов с асимптоматичным дегенерированным смежным сегментом установлены сопоставимые клинические результаты по ВАШ и ODI, но при этом определена меньшая степень дегенерации смежного сегмента в группе КРДС при большем числе несостоятельности динамической стабилизации [295]. Биомеханическое кадаверное исследование сходных групп стабилизации подтвердило неправильное перераспределение нагрузки в смежных сегментах, что сопровождалось развитием патологической подвижности в группе комбинированной фиксации [338].

Широкое распространение для задней стабилизации получило использование динамических штанг: Isobar TLL Dynamic Rod (Scient'x, USA) (Рисунок 5а), NFlex dynamic stabilization system (N spine, Inc., USA) (Рисунок 5б), CD Horizon legacy peek rod (Medtronic, Safamor Danek, USA) (Рисунок 5в)



Рисунок 5 – Внешний вид динамической балки: а – Isobar TLL; б – NFlex; в –

CD Horizon legacy

Выполненное Zhang с соавт. биомеханическое исследование системы задней динамической стабилизации Isobar TLL Dynamic Rod (Scient'x, USA) на 38 пациентах указывает на эффективное формирование межтелового костного блока в области фиксации и снижение дегенерации смежного сегмента в среднем через 27,8 месяцев [377], но при этом кадаверное исследование Sangiorgio с соавт. свидетельствует о преимущественной стабилизации передней опорной колонны [311]. Perrin с соавт. при ретроспективном исследовании 22 пациентов, оперированных указанной конструкцией с PEEK-кейджами по поводу спондилолистеза, указывают на наличие незначительного болевого синдрома в спине у 72 % и в нижних конечностях у 68,2 % оперированных лиц в восьмилетнем катамнезе [285]. Также хорошие клинические и биомеханические результаты использования динамической системы стабилизации Isobar TLL получены другими группами авторов [89, 229, 298, 369]. По данным сравнительного анализа ADC-карт диффузионно-взвешенных изображений МРТ после ригидной стабилизации и использования системы Isobar TL, проведенного Gao с соавт., установлено, что динамическая стабилизация позволяет статистически значимо снизить дегенерацию МПД по сравнению с жесткой стабилизацией [161].

NFlex dynamic stabilization system (N spine, Inc., USA) представляет собой ригидную транспедикулярную винтовую систему и поликарбонатный уретановый стержень [115]. Мультицентровой анализ использования данной конструкции у 72 пациентов с дегенеративными заболеваниями поясничного отдела позвоночника в катамнезе 25,6 месяцев показал высокую клинико-биомеханическую эффективность при низком количестве осложнений [135].

Исследования применения конструкции CD Horizon legacy peek rod (Medtronic, Safamor Danek, USA) указывают на сопоставимую стабильность фиксированного отдела позвоночника по сравнению с титановым стержнем [165], при меньшем количестве повторных оперативных вмешательств на смежном

уровне [268]. Кадаверное биомеханическое исследование Abode-Iyama с соавт., основанное на сравнительном анализе титановых и РЕЕК-стержней, подтвердило большую гибкость РЕЕК-материала, что позволяет эффективно снизить скорость дегенерации смежных сегментов за счет поддержания меньшего внутрисклового давления в них [71].

Клинические исследования других систем динамических штанг показали их высокую эффективность в 83 % случаев [303].

Кадаверное биомеханическое исследование, выполненное Obid с соавт., проведенное на 18 образцах поясничных сегментов позвоночника человека при использовании трех различных методик задней стабилизации: траспедикулярной фиксации с поликарбонатным уретановым стержнем Elaspine system (Spinelab AG, Switzerland), Dynesys system (Zimmer Biomet, USA) и крючковой ламинарной фиксации, – показало значимое ограничение диапазона движений в оперированном отделе позвоночника по сравнению с интактными сегментами, но при этом значимых межгрупповых различий при функциональных исследованиях (акт сгибание-разгибание) и изменений в смежных сегментах не выявлено [264].

Другим способом динамической задней стабилизации является использование стержней из различных сплавов: титана, молибдена, кобальта, тантала, нержавеющей стали [340]. Проведенные исследования по изучению механических свойств различных сплавов указывают на сопоставимую износостойкость нитинола с кобальхромом и превышающую в десятки раз по сравнению с титаном [236, 237, 299, 368].

Наибольшую популярность приобрели динамические балки из нитинола (55 % никеля, 45 % титана) [35]. Благодаря специфическим физико-механическим свойствам (память формы, высокая эластичность, коррозионная стойкость) указанный материал имеет сродство с характеристиками костно-хрящевой ткани человека [26].

Биомеханические исследования показали высокий уровень стабильности фиксации стержнями из нитинола при сохранении минимального объема сегментарных движений в послеоперационном периоде [31, 37].

Клинико-рентгенологическое исследование Колесова с соавт. выявило высокую эффективность использования транспедикулярной стабилизации в сочетании со стержнями из титанола: восстановление качества жизни с 64,6 % до 17,8 %; по данным SF-36 физический компонент здоровья изменился с 37,2 до 66,5, а психическое здоровье – с 41,5 до 74,3. При этом отмечено сохранение подвижности в оперированных сегментах в пределах $5,0^0 \pm 1,2^0$ [36].

Основными недостатками указанной конструкции являются технологические сложности изготовления сплава, а также не до конца изученная степень токсичности материала на организм человека [236, 237, 299, 368].

2) *Динамические транспедикулярные винты (dynamic transpedicular screw)*

Другой способ задней динамической фиксации связан с использованием динамических транспедикулярных винтов и жестких стержней и является полужесткой стабилизирующей конструкцией, которую впервые внедрил в 1999 году Stempel [265]. Конструктивная особенность предложенной системы состоит в использовании динамического винта, имеющего шарнирный узел между головкой винта и его корпусом, например, Cosmic (Ulrich, Germany) (Рисунок 6а) или Safinas dynamic screw (Medikon, Turkey) (Рисунок 6б) [316, 337]. Шарнирный механизм обеспечивает малоамплитудные флексивно-экстензионные движения в сагиттальной плоскости, что способствует уменьшению биомеханического стресса на костно-связочный аппарат [198, 316, 337]. Биомеханические исследования установили, что стабильность фиксации полуригидной и ригидной систем и восстановление сагиттального профиля являются сопоставимыми [105], при этом осуществляется не только ограничение актов сгибания и разгибания, но и ротационные движения и сегментарная трансляция [196, 316, 367]. Клинические исследования также не выявили значимых различий по уровню болевого синдрома и уровню качества жизни между ригидной и полуригидной стабилизацией [197, 272]. Stoffel с соавт. подтвердили статистически значимую

высокую эффективность конструкции Cosmic (Ulrich, Germany) у 193 пациентов в катамнезе $15 \pm 0,6$ месяцев: отмечено снижение уровня болевого синдрома по ВАШ с 65 ± 1 мм до 21 ± 2 мм, улучшение качества жизни по ODI с $51 \pm 1\%$ до $21 \pm 1\%$, удовлетворенность проведенной операцией составила 91 % [334].



Рисунок 6 – Внешний вид динамического транспедикулярного винта: а – Cosmic; б – Safinas

3) Сочетание динамических транспедикулярных винтовых систем и динамических балок (*dynamic rods with dynamic screws*)

Разработка динамических балок направлена на создание контролируемого напряжения задней опорной колонны позвоночника, но биомеханические исследования установили сопоставимость стабилизирующих эффектов с ригидной стабилизацией [144]. При этом ряд авторов подтверждает биомеханические преимущества сочетания динамических транспедикулярных винтовых систем и динамических балок в сравнении с жесткой фиксацией оперированного отдела позвоночника по степени дегенерации смежного сегмента [273, 369].

Клиническое исследование Kaner с соавт. показало статистически значимое улучшение клинических параметров в течение 12 месяцев послеоперационного периода по ВАШ в среднем с 6,93 см до 1 см; по ODI в среднем с 65,86 % до 8,26

% [200]. Ozer с соавт. в течение двухлетнего катамнеза выявлено снижение уровня болевого синдрома по ВАШ с 7,2 см до 1,9 см; улучшение функционального состояния по ODI с 66,4 % до 12,8 % [273].

4) *Системы, улучшающие функцию фасеточных суставов (systems represent facet functions)*

Имплантат Stabilimax NZ (Applied Spine Technologies, USA) (Рисунок 7а) разработан с целью коррекции патологических нарушений в нейтральной зоне по Panjabi и эффективно используется при лечении поясничного стеноза и дискогенного болевого синдрома [276, 371]. Конструкция состоит из стержня, в котором находятся две концентрические пружины, благодаря которым оперированный сегмент позвоночника удерживается в нейтральном положении при динамических нагрузках. В настоящее время проводятся рандомизированные контролируемые клинические исследования использования указанной конструкции, но их результаты пока не опубликованы.

Система динамической стабилизации (DSS) (dynamic stabilization system) (Рисунок 7б) разработана Sengupta как мягкая стабилизирующая система в хирургическом лечении дегенеративных заболеваний поясничного отдела позвоночника [322]. В 2006 году Sengupta с соавт. сообщили о положительных клинических результатах с 24-месячным периодом наблюдения: снижении интенсивности болевого синдрома по ВАШ в среднем с 7,3 см до 3,7 см, восстановлении качества жизни по ODI с 65 % до 27 % [324].



Рисунок 7 – Внешний вид систем, улучшающих функцию фасеточных суставов: а – Stabilimax NZ; б – DSS

5) Тотальное замещение фасеточных суставов (*total facet replacement*)

Системы тотального замещения ДС, предназначены для полного функционального восстановления биомеханики заднего опорного комплекса и могут быть использованы как изолированно при патологии ДС, так и в сочетании с дегенерацией МПД, а также после ятрогенной фасетэктомии [115, 206]. Основными имплантатами являются: система тотальной фасеточной артропластики (TFAS) (total facet arthroplasty system) (Рисунок 8а), система тотальной задней артропластики (TOPS) (total posterior arthroplasty system) (Рисунок 8б), система анатомической замены ДС (AFRS) (anatomic facet replacement system) (Рисунок 8в) [100, 115, 199, 206].



Рисунок 8 – Внешний системы тотального замещения ДС: а – TFAS; б – TOPS; в – AFRS

Имплантация конструкций для тотального замещения фасеточных суставов

осуществляется при значимой их дегенерации и сопутствующем стенозе позвоночного канала и сопряжена с ламинэктомией и билатеральной фасетэктомией [100, 206]. Биомеханические исследования свидетельствуют об эффективном восстановлении физиологического объема движений и нейтральной зоны, оптимальном распределении осевой нагрузки как в оперированном, так и в смежном сегментах [205].

Кадаверное исследование конструкций типа TOPS на 6 образцах: 1 – интактный; 2 – после двухсторонней фасетэктомии; 3 – после установки имплантата показало высокую эффективность в сохранении физиологического диапазона движения при боковых наклонах и осевой ротации [362]. Исследование клинических параметров McAfee с соавт. у 29 пациентов со стенозом позвоночного канала на уровне L_{IV}-L_V в течение 2-х лет показало уменьшение показателя ODI в среднем на 41 %, снижение уровня болевого синдрома по ВАШ в среднем на 76 мм [250]. Anekstein с соавт. сообщил о семилетнем катамнезе наблюдения после имплантации системы TOPS у 10 пациентов и указал на снижение болевого синдрома по ВАШ в ногах с 83,5 мм до 8,8 мм; в спине с 56,2 мм до 19 мм; улучшение функционального состояния по ODI с 49,1 % до 7,8 %, при этом на контрольных МРТ-граммах в отдаленном периоде не зарегистрировано признаков стенозирования в области хирургического вмешательства и на смежном с операцией уровне [82].

Phillips с соавт. на кадаверном материале (9 человеческих образцов) с использованием конструкции TFAS установили, что применение данного имплантата позволяет восстановить физиологический диапазон движений подобно неизмененному позвоночнику, а также снизить биомеханическую нагрузку на смежные сегменты [288], что подтверждено в эксперименте [355] и в сравнении с ригидной стабилизацией [330].

Изучение биомеханических характеристик конструкции AFRS на кадаверном материале Goel с соавт. показало полную идентичность естественной кинематике поясничного отдела позвоночника, доказанную методом конечных элементов [163].

Клинические исследования, посвященные оценке систем TFAS и AFRS, в базе данных Pubmed в настоящее время отсутствуют.

б) Задние межкостистые стабилизаторы (posterior interspinous spacers)

Межкостистые имплантаты широко используются при лечении пациентов с дегенеративными заболеваниями поясничных сегментов: центральный спинальный стеноз с псевдоклаудикацией, фораминальный стеноз, фасет-синдром, динамическое грыжевое выпячивание [17, 199, 291, 325].

Kabir с соавт. произвели систематический обзор клинических и биомеханических эффектов межкостистых стабилизаторов и пришли к выводу, что указанные имплантаты благоприятно восстанавливают кинематику поясничных ПДС при правильном дооперационном планировании [193].

Первая конструкция для межкостистой фиксации Wallis (Abbott Spine, USA) (рисунок 9а), разработанная в 1986 году, представляла титановое дистракционное устройство, которое впоследствии модифицировали в РЕЕК имплантат с полиэфирными лентами. Установлено, что клиническая эффективность по ВАШ и ODI конструкции из титана и РЕЕК являлась сопоставимой [243]. Senegas с соавт. сообщили о 13-летнем среднем катамнезе наблюдения и хороших отдаленных клинических исходах в 80 % случаев [320]. Биомеханическая стабильность, сохранение высоты межтелового промежутка на оперированном уровне и снижение дегенерации смежных МПД в периоде минимум 5 лет были подтверждены Jiang с соавт. [191].

В настоящее время разработаны различные конструкции для межкостистой стабилизации: X-Stop (Kyphon, USA) (Рисунок 9б) – титановое дистракционное межкостистое устройство; DIAM (Medtronic, USA) (Рисунок 9в) – состоит из силикона, покрытого оболочкой из лавсана с крепежными лентами; Coflex (Paradigm Spine, USA) (Рисунок 9г) – U-образная титановая пружина с двумя парами крепежных элементов на концевых отделах имплантата [17, 59, 199, 325].

Wan с соавт. на основании биомеханического исследования устройства X-

Stop (Kyphon, USA) (Рисунок 9д) установили эффективную distraction межостистого промежутка на оперированном уровне без значимых изменений в смежных сегментах [356]. Zucherman с соавт., проведя мультицентровое рандомизированное исследование системы X-Stop, подтвердили высокую эффективность данного имплантата при лечении пациентов со стенозом позвоночного канала на поясничном уровне, а также установили преимущества послеоперационных результатов в сравнении с консервативным лечением и декомпрессивными хирургическими вмешательствами [380]. Но при этом Verhoof с соавт. сообщил о высокой частоте несостоятельности фиксации при лечении пациентов со стенозом позвоночного канала, обусловленным дегенеративным спондилолистезом [351]. По данным Puzilli с соавт., при сравнительном анализе консервативного лечения и имплантации конструкции X-STOP установлено статистически значимо лучшие показатели по ВАШ, которые сохранялись в течение семилетнего катамнеза, при этом интраоперационные осложнения зарегистрированы в 4,9 % случаев, послеоперационные – в 11,1 % [297]. При сравнении результатов лечения после минимально-инвазивной декомпрессии и межостистой фиксации X-STOP выявлено сопоставимое улучшение функционального состояния по ODI [323], но при этом число повторных хирургических вмешательств зарегистрировано больше в группе пациентов с использованием межостистого спейсера [351].

Долгосрочные исследования системы DIAM показали, что большинство пациентов в течение 48-месячного периода сохраняли низкий уровень болевого синдрома по ВАШ и хорошие показатели качества жизни по опроснику Роланда – Морриса [111]. По данным Lu с соавт., у 31 пациента (91 %) отмечено стойкое клиническое улучшение в течение трехлетнего катамнеза: уровень болевого синдрома по ВАШ в среднем снизился с $7,8 \pm 1,5$ см до $1,3 \pm 2,2$ см; функциональное состояние по ODI восстановилось в среднем с $24,6 \pm 3,5$ % до $6,3 \pm 7,6$ % [234]. При сравнительном анализе пациентов после герниэктомии и в сочетании декомпрессии со стабилизацией DIAM получены схожие клинические результаты по ВАШ и ODI в течение 24 месяцев после операции, но при этом

снижение потребности в анальгетиках составило 47,9 % и 56,7 % соответственно; восстановление трудоспособности – 38,0 % и 45,7 % соответственно [214]. Кроме этого, имплантация данного устройства в смежный со спондилодезирванным сегмент позволяет значительно снизить дегенерацию МПД и статистически значимо улучшить клинические показатели по ВАШ и ODI в сравнении с группой изолированного ригидного спондилодеза [235].

Имплантат Coflex является устройством нового поколения, которое эффективно стабилизирует смежные позвонки, ограничивая амплитуду сгибания и разгибания [17, 291]. Клинические результаты применения системы Coflex показали высокую эффективность, подтвержденную рядом исследований: Park с соавт. у 61 пациента в период 40,4 (27–51) месяцев отметили снижение уровня болевого синдрома по ВАШ в спине с $4,7 \pm 2,0$ см до $2,4 \pm 1,7$ см; в ногах с $6,9 \pm 1,7$ см до $2,4 \pm 2,0$ см и улучшение функционального состояния по ODI с $23,0 \pm 8,5$ % до $11,3 \pm 9,4$ % [284]; Errico с соавт. у 126 пациентов со средним катамнезом 6,3 лет отметили снижение боли в спине в среднем с 6,4 см до 1,8 см; в ногах в среднем с 6,6 см до 0,8 см [146]. При сравнительном анализе задне-бокового спондилодеза и межостистой стабилизации Coflex не зарегистрировано различий по частоте ревизионных оперативных вмешательств [85]. Kumar с соавт. установили лучшие клинические показатели по ВАШ и ODI по сравнению с ригидным спондилодезом в течение 48 месяцев наблюдения [217]. При этом низкое количество послеоперационных осложнений при восстановлении физиологического диапазона движений способствует продолжению активного использования данного имплантата [224]. Исследование, проведенное Kim с соавт. в 60-месячном катамнезе после имплантации Coflex (n=18) и DIAM (n=7), установило низкое число хороших и отличных результатов – 50 % и 42,9 % соответственно; значительную потерю коррекции высоты заднего межтелового промежутка и высокую частоту ревизионных вмешательств – 16,7 % и 28,6 % соответственно; что указывает на необходимость проведения мультицентровых исследований на большем количестве респондентов [207].

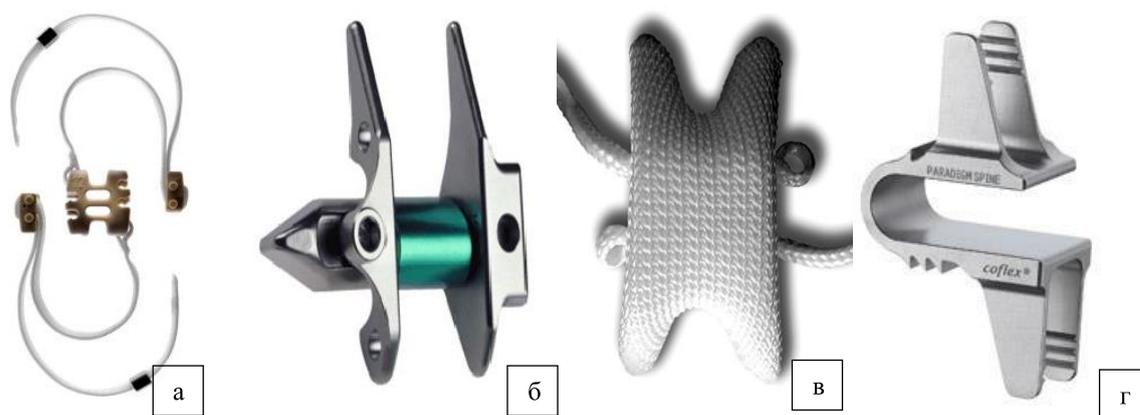


Рисунок 9 – Внешний системы задней межкостистой стабилизации: а – Wallis; б – X-Stop; в – DIAM; г – Coflex

Резюме: Основные причины боли в нижней части спины связаны с дегенерацией МПД и ДС. Наиболее частой локализацией, подверженной дегенеративным изменениям, являются переходные зоны позвоночника, в частности пояснично-крестцовый переход.

На сегодняшний день при дегенеративных заболеваниях позвоночника широко используются различные декомпрессивные и декомпрессивно-стабилизирующие хирургические методики, результаты применения которых подтверждают сохранение высокого процента неудовлетворительных исходов.

Выбор способа хирургического вмешательства напрямую зависит от степени выраженности дегенеративных изменений ПДС, но при этом в настоящее время отсутствуют объективные клинико-инструментальные подтверждения оптимальной методики оперативного лечения.

В современной литературе имеются сведения о клинических и биомеханических результатах, свидетельствующих о преимуществах динамической фиксации перед ригидной стабилизацией. Это указывает на функциональную приоритетность сохранения естественной биомеханики оперированного отдела позвоночника.

Разработаны различные системы и конструкции для передней и задней динамической фиксации пояснично-крестцового отдела позвоночника, но показания к их установке являются неопределенными.

Гетерогенность динамических устройств обуславливает значимые различия

в биомеханических эффектах их использования. Наиболее перспективным с позиций полноценного сохранения физиологического объема движений является применение искусственных протезов МПД. Это связано с возможностью тотального удаления патоморфологического субстрата и с конструктивными особенностями имплантата, имитирующими структуру и функцию нормального МПД.

Таким образом, в настоящее время актуальным является исследование возможности дифференцированного определения хирургической тактики с учетом индивидуальных анатомо-морфологических и биомеханических особенностей оперированного сегмента и максимального сохранения функциональности пояснично-крестцового отдела позвоночника.

ГЛАВА 2 СТРУКТУРА, МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Выполнено нерандомизированное клиническое контролируемое мультицентровое проспективное исследование у пациентов с заболеваниями люмбо-сакрального перехода позвоночника дегенеративного генеза, у которых имелись клинические показания к проведению хирургических манипуляций по плану НИР ФГБОУ ВО «Иркутский государственный медицинский университет» Минздрава России, кафедры нейрохирургии, согласно государственной программе ФГБНУ «Иркутский научный центр хирургии и травматологии» «Совершенствование методов диагностики, профилактики и лечения дегенеративно-дистрофических заболеваний позвоночника и таза на основе управления патофизиологическими механизмами в формировании патологии» (шифр 065, № гос. регистрации 01200951064, сроки выполнения 2013–2020 гг.); задача № 2 «Разработка новых способов и технологий хирургического лечения стенозирующих процессов позвоночного канала. Совершенствование малоинвазивных хирургических технологий лечения больных с дегенеративно-дистрофическими заболеваниями позвоночника на поясничном и шейном отделах, осложненными нестабильностью и стенозами позвоночного канала и направленных на улучшение анатомических и функциональных результатов лечения и профилактики рецидивов нестабильности в позвоночно-двигательных сегментах)), а также гранта Российского научного фонда № 15–15–30037 в составе научного коллектива. Получено одобрение этических комитетов ИГМУ (протокол № 1 от 15.12.2017 года) и ИНЦХТ (протокол № 10 от 31.10.2015 года).

2.1 Общая характеристика исследуемых пациентов

Ретроспективный анализ. В период с февраля 2007 по февраль 2012 года в центре нейрохирургии НУЗ «ДКБ на ст. Иркутск-Пассажирский ОАО «РЖД» в 1342 случаях произведены хирургические манипуляции при наличии

дегенеративных заболеваний поясничных дисков. Исследованы данные 619 пациентов, которым после совокупного клинического и инструментального исследования проведены хирургические вмешательства на люмбо-сакральном сегменте позвоночника. В 352 случаях выполнялась поясничная микродискэктомия (I группа), в 83 – дискэктомия из переднего внебрюшинного доступа с установкой искусственных протезов дисков (II группа), в 184 – дискэктомия и межтеловой трансфораминальный спондилодез с четырехвинтовой транспедикулярной стабилизацией (III группа).

Оперативные вмешательства выполнялись при наличии неврологических признаков диско-радикулярного конфликта и возможным его сочетанием с рефлекторными болевыми синдромами, обусловленного грыжами МПД, гипертрофией желтой связки и артрозом ДС; при неэффективности консервативного лечения в течение 8 недель или раньше при быстро прогрессирующем развитии неврологического дефицита.

Изучались антропометрические данные и гендерные характеристики (пол, возраст, индекс массы тела), исходная клиническая симптоматика, длительность заболевания, интраоперационные параметры хирургических вмешательств и особенности послеоперационного периода (длительность вмешательства, величина кровопотери, сроки вертикализации, сроки нахождения в стационаре), наличие осложнений. Изучены отдаленные результаты эффективности оперативных вмешательств пациентов в катамнезе трех лет.

Перспективное исследование. Учитывая высокую частоту рисков формирования неблагоприятных последствий операций в области люмбо-сакрального сегмента позвоночника, а также необходимости в обоснованной лечебной тактике при выполнении тотальной артропластики заболеваний МПД дегенеративного генеза, исследовано 103 пациента с одноуровневой дегенерацией люмбо-сакрального перехода, прооперированных на основе алгоритма лечебно-диагностической тактики с учетом дифференцированного предоперационного клинико-инструментального подхода на базах нейрохирургических подразделений КГБУЗ «Краевая клиническая больница» г. Красноярск, НУЗ

«Дорожная клиническая больница на ст. Иркутск-Пассажирский ОАО «РЖД», ФГКУ «1477 Военно-морской клинический госпиталь» МО РФ г. Владивостока в течение 2013–2016 гг.

Разработаны и использованы критерии соответствия исследованию, характеризующие показания и противопоказания к выполнению операции.

Критерии включения в исследование:

- возраст от 25 до 50 лет (минимальный и максимальный возраст оперированных пациентов);
- неэффективность консервативной терапии (более 8–10 недель), наличие рецидивирующей болевой симптоматики, значимых неврологических проявлений;
- локализация дегенеративного процесса в области пояснично-крестцового перехода без аномалий данной области (люмбализация, сакрализация);
- умеренная степень дегенеративных изменений МПД (дискорадикулярный конфликт) без стеноза позвоночного канала (Pfirmann I–II ст. степень);
- минимальные дегенеративные изменения ДС (Fujiwara I–II ст. степень);
- отсутствие сегментарной нестабильности (линейное смещение в поясничных сегментах не более 4 мм, сагиттальная ангуляция не более 10);
- подписанное пациентом информированное согласие на участие в исследовании.

Критерии исключения:

- возраст до 25 и старше 50 лет;
- дегенеративные заболевания L_I-L_{IV} локализации;
- асимптомная дегенерация поясничных сегментов, в том числе люмбо-

сакрального перехода;

- сегментарная нестабильность и спондилолистез;
- спондилоартроз с компенсаторными изменениями фасеточных суставов и ограничением объема движений;
- диско-васкулярный конфликт;
- демиелинизирующие процессы некомпрессионной природы, выявляемые по нейрофизиологическим методам обследования;
- выполненные ранее хирургические вмешательства на ПДС, органах брюшной полости и в забрюшинном пространстве;
- любая сопутствующая соматическая или другая патология в стадии декомпенсации;
- необходимость коррекции сагиттального баланса;
- другая патология позвоночного столба и крупных суставов конечностей, включая врожденный спинальный стеноз, остеопороз, посттравматические изменения, опухолевые и воспалительные патологические процессы позвоночного столба и др.

У 156 из 5924 оперированных на поясничном отделе позвоночника по поводу заболеваний дегенеративного генеза в нейро-вертебрологических подразделениях г. Красноярска, г. Иркутска и г. Владивостока в течение 2013–2016 гг. проводилась односегментарная дискэктомия из переднего ретроперитонеального доступа с установкой искусственного протеза МПД. У

103 пациентов из 156 операции проводились в области люмбо-сакрального перехода позвоночника. У этих пациентов применялся разработанный «Способ профилактики инфекционных осложнений при оперативных вмешательствах на позвоночнике в раннем послеоперационном периоде» – протокол «СПИНА» (приоритетная справка № 2018105422/14(008306), Российская Федерация / В.А. Бывальцев, А.А. Калинин, Е.Г. Белых, И.А. Степанов, В.В. Шепелев, В.Ю. Голобородько, В.Э. Борисов, А.О. Асанцев, А.К. Оконешникова, Ю.Я. Пестряков; заявитель ФГБОУ ВО «ИГМУ» Минздрава России. – заявл. 13.02.2018.).

2.2 Комплексная клиническая оценка исходов оперативного лечения

В изучаемых группах использовался комплекс дополнительных методов обследования с детальным анализом неврологических проявлений: выраженность болевых ощущений по визуально-аналоговой шкале боли (ВАШ) в поясничном отделе и нижних конечностях (*Wewers M.*, 1990), функциональный статус по индексу ODI (*Fairbank J.*, 1980), субъективные послеоперационные результаты по шкале Macnab (*Macnab I.*, 1971) и периоперационные осложнения [11, 12].

В ретроспективной группе указанные параметры исследовались до проведения хирургических манипуляций и в отдаленном периоде. В проспективном мультицентровом исследовании динамическую оценку проводили при поступлении в стационар, при выписке, через 3, 6, 12, 24, 36 месяцев после хирургического лечения.

Также осуществляли детальный неврологический осмотр – исследовалась двигательная, чувствительная и рефлекторная сферы, изучалась функция тазовых органов. Оценивалось наличие симптоматики натяжения (*Ласега, Вассермана, Неру*). Детализировали анамнестические данные о провоцирующих и усиливающих клинические проявления факторах – динамические и статические нагрузки, взаимосвязь с соматическими заболеваниями [6, 14].

Анализировался ортопедический статус – положение пациента и его двигательная активность, общий вид (форма, конфигурация) поясничного отдела позвоночника, симметричность нижних конечностей, выраженность ограничения движений и состояние паравертебральных поясничных и экстравертебральных мышц, наличие болезненности в проекции остистых отростков и межпозвонковых суставов при пальпации [17, 28, 49].

Для объективной оценки имеющихся клинических проявлений с учетом данных неврологического обследования произведена оценка имеющейся некомпрессионной симптоматики поясничного отдела:

- болевые локальные симптомы;

- отраженная некомпрессионная симптоматика;
- миодистонические некомпрессионные, рефлекторно-компрессионные или туннельные синдромы;
- некомпрессионные миосклеротомные или дистрофические синдромы.

Для изучения вертебральных и экстравертебральных синдромов использовался набор функциональных проб и тестов: пробы с компрессией и диагностические блокады для верификации компрессионных периферических синдромов, нагрузочные тесты для анализа изменений неврологических симптомов, медикаментозные блокады.

Комплексный анализ был направлен на:

- определение всех компрессионных и некомпрессионных синдромов.
- верификацию клинико-инструментального и структурно-морфологического соответствия, имеющейся у исследуемых пациентов симптоматики.

Таким образом, абсолютными проявлениями вертебрального синдрома являлись:

- 1) общее вынужденное положение и/ или нижних конечностей;
- 2) трансформация мышц поясничного отдела миодистрофического генеза;
- 3) уменьшение амплитуды движений в поясничных сегментах позвоночника;
- 4) наличие болевых триггерных зон в паравертебральной области;
- 5) положительные симптомы натяжения, возникающие при изменении положения пациента и/ или нижних конечностей;
- б) снижение степени клинических проявлений при изменении позы и отсутствии осевых и динамических нагрузок.

Особый акцент придавался изучению степени болевых ощущений как ведущего симптома при дегенеративных заболеваниях позвоночника. Для его количественного анализа применяли ВАШ, которую отмечали участники

исследования до и после оперативных вмешательств. Участники исследования отмечали степень болевых ощущений по горизонтальной разметке в сантиметрах от 0 (боли нет) до 10 (критичная боль), которую определяли подсчетом величины её длины (Рисунок 10).

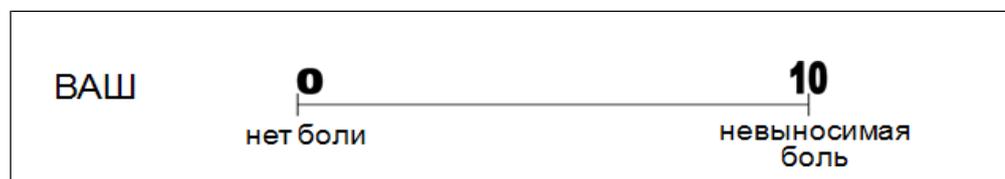


Рисунок 10 – Визуально-аналоговая шкала (ВАШ)

Изучение степени болевой симптоматики производили в утреннее время, отдельно анализировалась выраженность боли в поясничном отделе и нижних конечностях. Указанные параметры характеризовали динамику обратного развития клинической симптоматики.

Во всех случаях применялись различные лабораторные анализы, включающие в себя: общий анализ крови – с целью выявления воспалительных изменений (акцент делался на значение содержания лейкоцитов и показатель реакции скорости оседания эритроцитов); биохимический анализ проводился для исключения соматической патологии (уровень гликемии, печеночные трансаминазы – АЛАТ, АСАТ, острофазовые показатели – АСЛО, ревматоидный фактор, С-реактивный белок); исследовались антитела к ВИЧ и вирусам гепатита В, С; при необходимости производилось изучение иных физиологических жидкостей (моча, ликвор); также осуществляли консультации смежных специалистов (уролога, гинеколога, ортопеда).

Для анализа функционального статуса в катамнезе оценивали по опроснику Освестри Oswestry Disability Index версии 2.1a (ODI), созданный в 1965 г. *Jeremy C.T. Fairbank*, в транслитерации на русский язык (<http://www.orthosurg.org.uk/odi/>). Исследовались параметры: выраженность боли, самообслуживание, поднятие предметов, ходьба, положение сидя, стоя, сон, сексуальная жизнь, досуг, поездки.

Оценка опросника представлена: для каждого раздела наибольший балл – 5

(от 0 до 5). В случае отметки респондентом всех 10 разделов индекс ODI высчитывается так: сложение полученных баллов / предельно возможное количество баллов x 100, например, $16 / 50 \times 100 = 32$. В случае отсутствия заполнения одной из рубрик, индекс ODI рассчитывается так: сложение полученных баллов / предельно возможное количество баллов x 100, например, $16 / 45 \times 100 = 35,5$.

Изучение послеоперационных исходов в катамнезе осуществлялось по субъективной шкале Macnab (Macnab I., 1971) («отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно»).

Необходимой длительностью послеоперационного периода для эффективного наблюдения за респондентами считался наименьший период в течение трех лет. Этапные осмотры, согласно утвержденному протоколу исследования, способствовали верификации незначительных изменений клинических проявлений и предотвращению прогрессирования формирующихся патологических состояний.

2.3 Инструментальные методы исследования

Совокупный набор инструментальных диагностических методик включал морфологическое и функциональное изучение поясничного отдела позвоночника и нижних конечностей: спондилографию, магнитно-резонансную томографию, мультиспиральную компьютерную томографию и электронейромиографию конечностей.

Рентгенологические методы исследования. Выполнение спондилографии осуществлялось на аппарате Duo Diagnost, Philips (Netherlands) по стандартной методике в двух проекциях (Рисунок 11), на которой выявлялись косвенные признаки наличия дегенеративных изменений: субхондральные уплотнения, спинальная деформация (гиперлордоз, кифоз, сколиоз и их комбинация), снижение высоты МПД, дефекты дужек и ДС позвонков, тракционные костные

шипы на передней поверхности тел позвонков. Также проводили функциональное рентгенологическое исследование поясничного отдела в максимальных положениях амплитуды сгибания и разгибания (Рисунок 12). Данная методика исследования способна выявить проявления нестабильности поясничных сегментов (патологическое повышение амплитуды сегментарных движений).

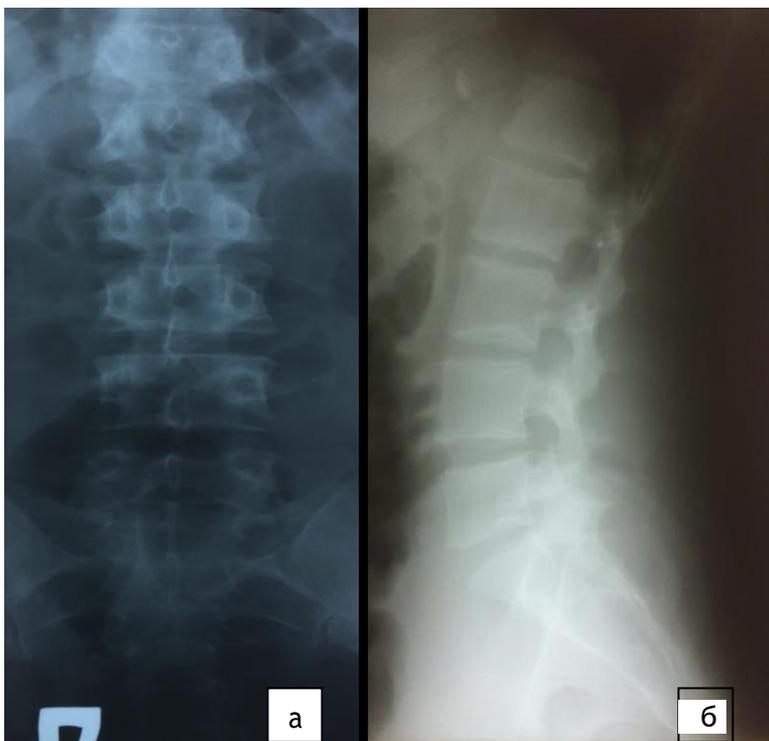


Рисунок 11 – Поясничная спондилография: а – прямая проекция;

б – латеральная проекция

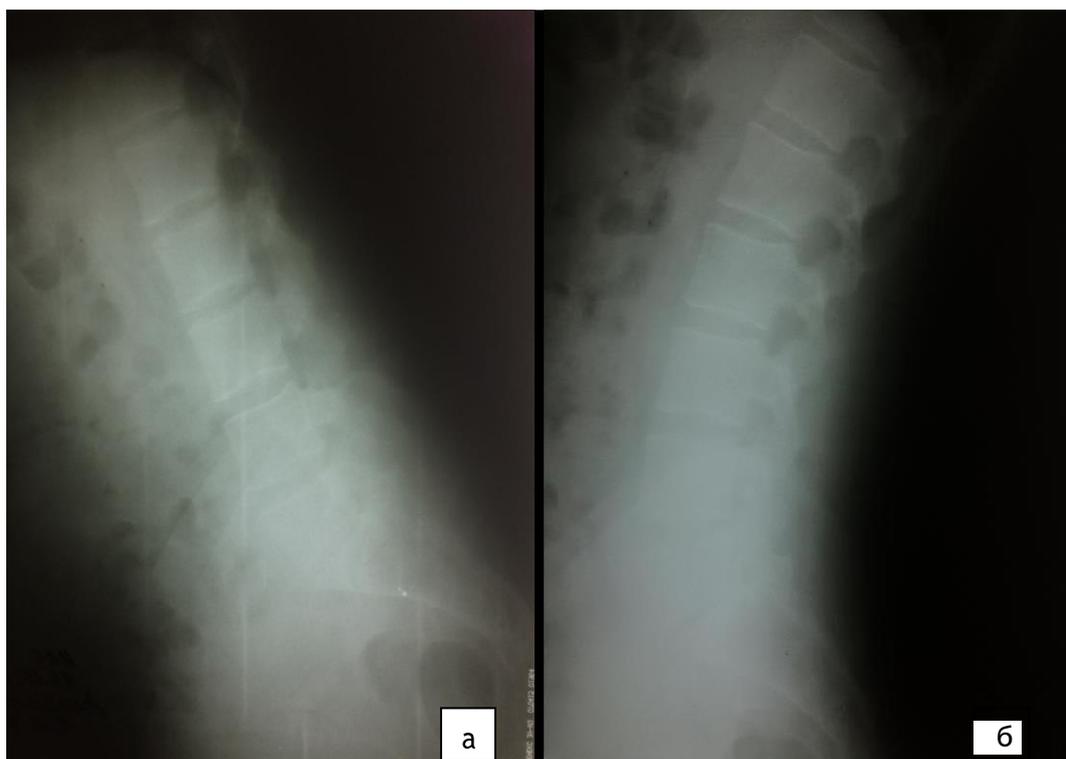


Рисунок 12 – Функциальная поясничная спондилография: а – максимальное сгибание; б – максимальное разгибание

Нейровизуализационные методы исследования. Мультиспиральная компьютерная томография (МСКТ) осуществлялась на аппарате Bright Speed Edge, General Electric (USA) (Рисунок 13). Учитывая меньшую информативность данного метода в визуализации изменений МПД, в основном его использование было необходимо для изучения выраженности дегенерации ДС и оссификатов в проекции МПД.

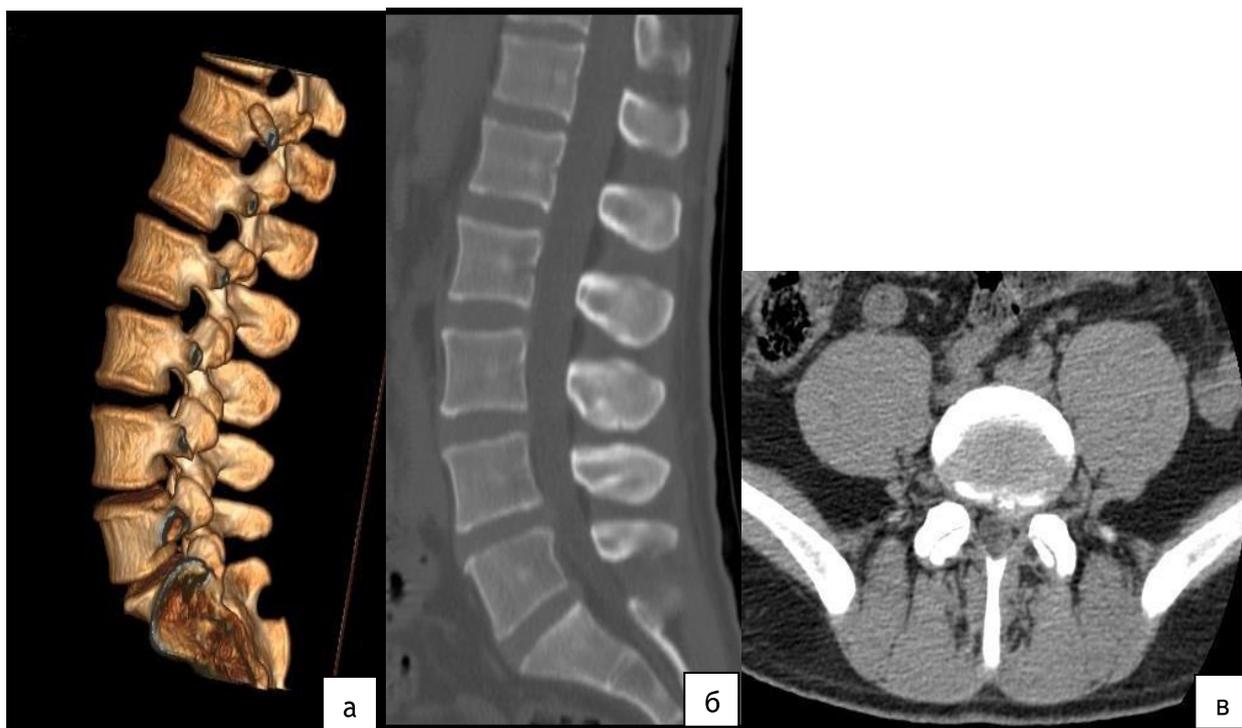


Рисунок 13 – Клинический пример пациента П., 36 лет, МСКТ поясничного отдела позвоночника: а – 3D-реконструкция без значимых компенсаторных изменений; б – сагиттальная МСКТ-грамма, позвоночный канал не изменен; в – аксиальная МСКТ-грамма в проекции L_4-S_1 , определяется левостороннее парамедианное грыжевое выпячивание

Магнитно-резонансная томография (МРТ) осуществлялась на аппарате Magnetom Essenzal (Siemens) 1,5 Т, в T1, T2, DWI взвешенных изображениях (Рисунок 14). Учитывая большую информативность при изучении дегенерации в МПД, МРТ было ведущим способом неинвазивной нейровизуализации. Изучение производилось по стандартной методике – в сагиттальной (визуализировалась протяженность дегенеративного процесса, его степень и степень спинального стеноза) и аксиальной (визуализировалась локализация грыжи МПД, состояние спинального канала, величина дегенерации ДС) проекциях.

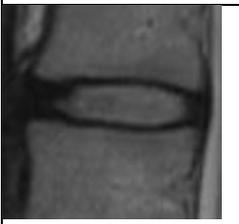
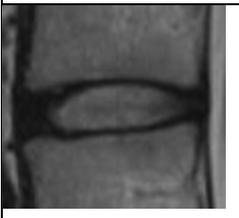
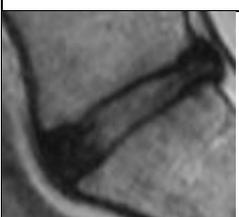


Рисунок 14 – Клинический пример пациента Л., 40 лет: а – сагиттальное Т2-взвешенное изображение (ВИ) пояснично-крестцового отдела позвоночника, определяется грыжевое выпячивание в проекции МПД L_5-S_1 ; б – сагиттальное диффузионно-взвешенное изображение (ВИ) пояснично-крестцового отдела позвоночника; в – аксиальное Т2-ВИ поясничного отдела позвоночника на уровне МПД L_5-S_1 , определяется левостороннее парамедианное грыжевое выпячивание

Для комплексного анализа дополнительных методов обследования дегенеративных патологических структурных изменений позвоночных сегментов использовались классификации:

1. Степени дегенерации МПД по МРТ (*Pfirmann C.*, 2001) [287], на основании анализа интенсивности сигнала по Т2-ВИ, визуализация разграничения пульпозного ядра и фиброзного кольца, вертикального размера МПД (Таблица 1).

Таблица 1 – Степень дегенерации МПД по С. Pfirrmann et al

Изображение	Степень	Структура МПД	Интенсивность сигнала	Разграничения пульпозного ядра и фиброзного кольца	Вертикальный размер МПД
	I	Однородная	Повышенная	Четкая	Не изменен
	II	Неоднородная	Повышенная	Четкая	Не изменен
	III	Неоднородная	Промежуточная	Нечеткая	Не изменен или незначительно снижен
	IV	Неоднородная	Промежуточная	Отсутствует	Не изменен или незначительно снижен
	V	Неоднородная	Пониженная	Отсутствует	Резко снижен

2. Для измерения степени диффузии молекул свободной воды в МПД использовались ДВИ-карты [15]. Для режима T1-ВИ применялись показатели: матрица 384×387 ; TR (длительность повтора) – 650; TE (время эхо) – 9,6; NEX (количество возбуждений) – 1, толщина среза – 4 мм, FOV (поле зрения) – 30×30 . В T2-ВИ: матрица 384×288 , TR – 4000, TE – 43, NEX – 1, толщина среза – 4 мм, FOV – 30×30 . Формирование ДВИ применяли следующие показатели ДВ МРТ с SE-эхо-планарным изображением (EPI): матрица 160×128 , TR – 7500, TE – 83,

NEX – 6, толщина среза – 4 мм, FOV – 30 × 30. Применялись следующие параметры b: b = 400 и 800 с/мм², длительность сканирования составила 6 минут 30 секунд. КД исчислялся на T2-ВИ (Рисунок 15а) с применением программного обеспечения OsiriX Lite и полученные параметры переносились на карты ДВИ (Рисунок 15б).

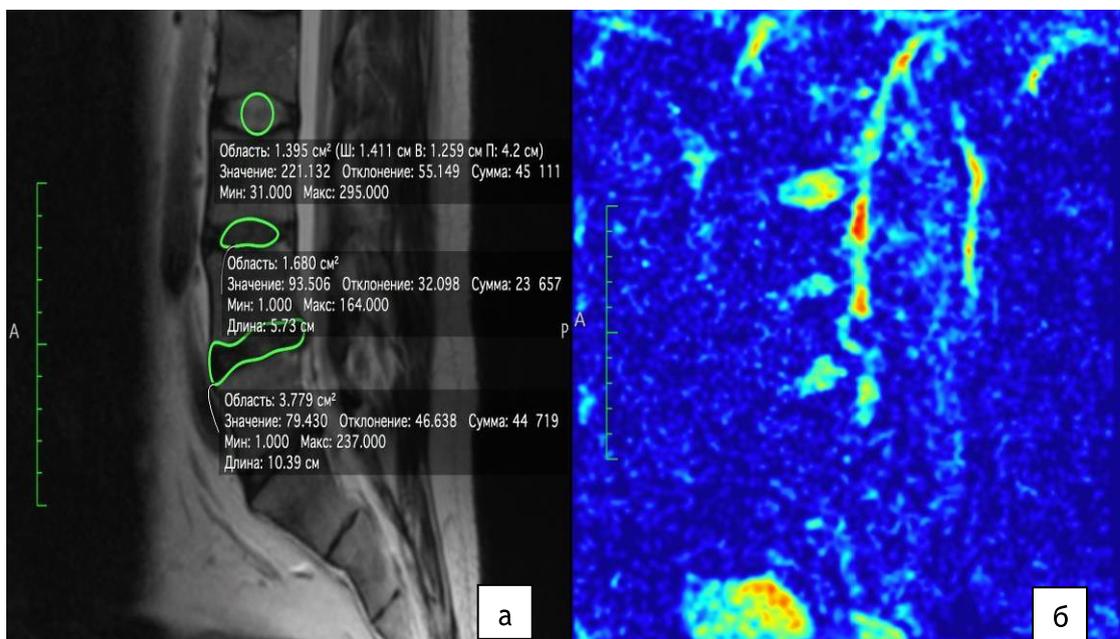
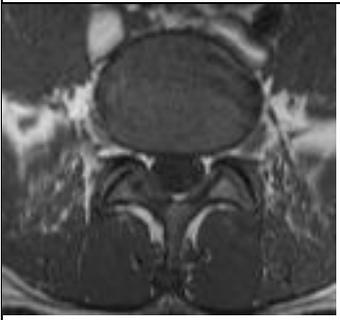
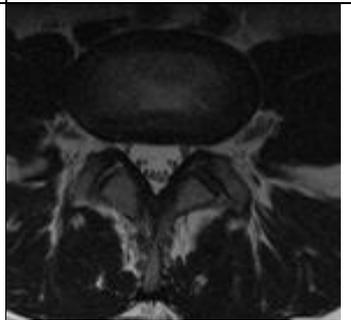
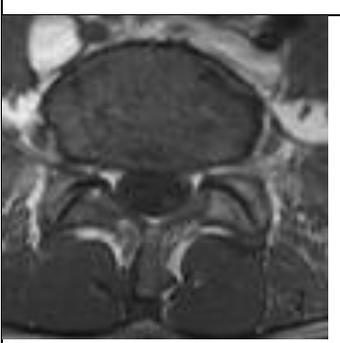
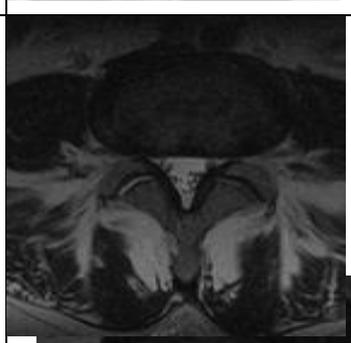
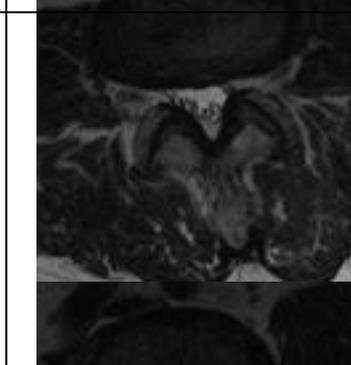
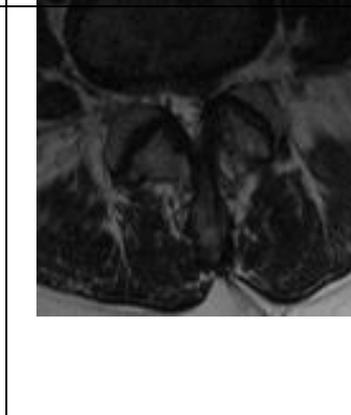


Рисунок 15 – Полученные МРТ-граммы поясничного отдела позвоночника: T2- ВИ в сагиттальной плоскости с расчетом КД в программе OsiriX Lite, сагиттальная плоскость (а), карта ДВИ (б)

3. Выраженности структурных поражений дугоотростчатых суставов (ДС) по данным МРТ (*Fujiwara A., 2000*) [159], основанная на оценке интенсивности сигнала по T2-ВИ (Таблица 2).

Таблица 2 – Классификация степени дегенерации ДС по А. Fujiwara et al.

T1-ВИ	T2-ВИ	Степень	Структура ДС	Интенсивность сигнала
		I	Гипертрофического увеличения ДС нет	Гипоинтенсивный сигнал на T1- и T2-ВИ
		II	Гипертрофического увеличения ДС нет	Гипоинтенсивный сигнал на T1- и гиперинтенсивный на T2-ВИ
		III	Гипертрофического увеличения ДС нет	Гиперинтенсивный сигнал на T1- и изо- или гиперинтенсивный на T2-ВИ
		IV	Определяется гипертрофический артроз ДС	Гиперинтенсивный сигнал на T1- и T2-ВИ

Морфоструктурный анализ. Материал, полученный при осуществлении операции у пациентов с дегенеративными заболеваниями пояснично-крестцового перехода позвоночника для морфоструктурного анализа, подвергался

стабилизации в 10-процентном нейтральном растворе формалина в автомате вакуумного типа VIP-E150F фирмы Sacura (Япония). Фиксирование образцов МПД проводилось автоматическим способом в парафине TEC-IV фирмы Sacura (Япония). Подготовка рабочих тканей толщиной 3 мкм производилась с применением роторных полуавтоматических микротомов CM-502 фирмы Microm (Германия) одноразовыми ножами. Пигментация рабочих тканевых образцов проводилась с использованием аппарата DRS-601A фирмы Sacura (Япония). Для расположения срезанных образцов на предметных стеклах применялся автомат Cover Tech фирмы Microm (Германия). Для изучения образцов тканей применялась компьютерная микроскопическая видеосистема Quantimet 550IW фирмы Leica (Великобритания) и Olympus (Япония) для цифрового клеточного и тканевого анализа операционного материала камерой высокого разрешения, способной осуществлять количественное исследование снимка по естественной цветовой гамме или оптическим характеристикам с разрешением 6000×4000 пикселей. Полученные образцы МПД подвергали окрашиванию гематоксилиновым и эозиновым красителями. При анализе степени дегенеративных изменений в структурах МПД, подвергаемых исследованию, оценивалось число хондроцитов, количество и вид некротических очагов, структура волокон коллагена и фиброзного кольца (Рисунок 16).

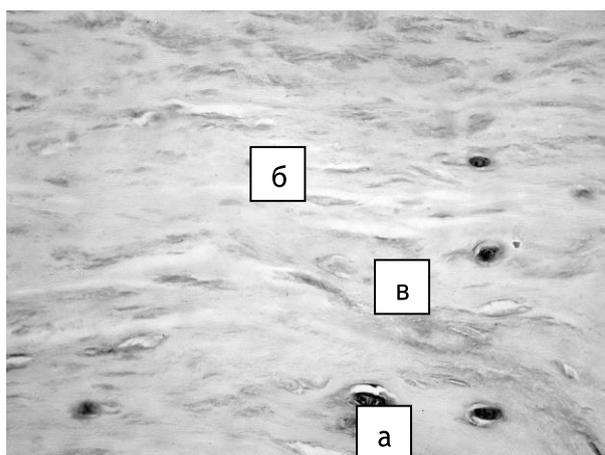


Рисунок 16 – Изменения ткани МПД: а – хондроциты пульпозного ядра; б – глыбчатый распад коллагеновых волокон в пульпозном ядре; в – изменения в фиброзном кольце, обеднение хондроцитами. Окраска

гематоксилином и эозином, ув. $\times 200$ (собственное наблюдение пациента грыже МПД L_v-S_I, микропрепарат О.А. Гольдберга)

При исследовании степени морфо-структурной трансформации МПД дегенеративного генеза применяли анализ полученных тканей по *Vernon-Roberts B.*, 1987 [352]: I степень – малочисленные хрящевые клетки (хондроциты), нечастые изменения в структуре фиброзного кольца с разрушением одного из слоев, отграниченные некротизированные участки; II степень – немногочисленное число хондроцитов, незначимые изменения в структуре фиброзного кольца с разрушением двух его слоев, изолированно-разлитые участки некротических изменений; III степень – большое количество число хондроцитов, выраженная деструкция фиброзного кольца с захватом трех его слоев, многочисленные мелкие участки некротических изменений; IV степень – значимое число хондроцитов, грубая деструкция фиброзного кольца с захватом четырех его слоев, многочисленные диффузные некротизированные участки.

Нейрофизиологическое исследование. С целью оценки нейрогенных и дистрофических изменений в мышечных волокнах производили электромиографическое исследование стандартной стимуляционной методикой (определение М-ответа, Н-рефлекса) на компьютерном комплексе «Нейро-ЭМГ-Микро», «Нейрософт» (Россия) [3]. Для уточнения уровня поражения использовали игольчатые и поверхностные электроды. Анализ данных осуществляли по методике Юсевич Ю.С. [69].

2.4 Типы проводимых хирургических манипуляций

Во всех случаях хирургические манипуляции осуществлялись с применением внутривенной анестезии и протезированием естественного дыхания, микроскопического контроля (Pentero 900, Германия; Olympus 5000, Япония) и специализированного инструментария (Aescular, Германия; Ulrich, Германия); электрической дрели (Anspach, США; KarlStorz, Германия); манипуляции,

связанные с установкой металлоконструкций, проводились с применением интраоперационной флюороскопии (Philips, США; Siemens, Нидерланды). Для нейромониторинга в течение операции использовался комплекс ISIS IOM System фирмы Inomed (Германия). Значительных изменений регистрируемых нейрофизиологических параметров (соматосенсорные вызванные потенциалы, транскраниальные моторные вызванные потенциалы, электромиография) во время выполнения оперативных вмешательств не выявлено [45]. Вид и величину имплантатов планировали в дооперационном периоде при проведении МСКТ с реконструкцией.

2.4.1 Поясничная микрохирургическая дискэктомия

При расположении пациента лицом вниз со сгибанием в поясничном отделе с использованием разгрузочных подушек под область плеч и бедер выполнялась подготовка области вмешательства антисептическими растворами (Рисунок 17), в дальнейшем выполнялось рассечение кожного покрова и подлежащей клетчатки длиной 2,0–3,0 см над остистыми отростками в области патологического процесса (Рисунок 18а). Грудно-поясничная фасция вскрывалась дугообразно, основанием разреза в сторону остистого отростка. Производилось одностороннее выделение дужек позвонков и остистых отростков. После установки ранорасширителя Caspar осуществлялось увеличение раневого канала до необходимых размеров (Рисунок 18б).



Рисунок 17 – Укладка пациента перед микрохирургической дискэктомией

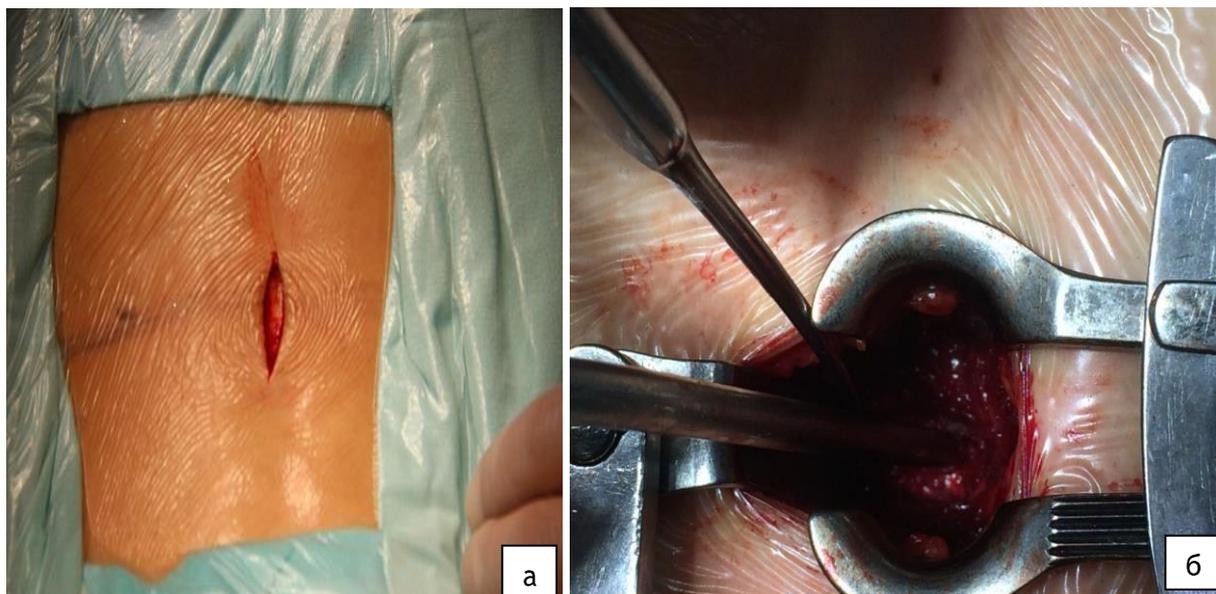


Рисунок 18 – Интраоперационные фотографии: а – кожный разрез; б – установленный ранорасширитель

Поясничная микрохирургическая дискэктомия производилась с применением 8–16-кратной оптики: осуществлялся классический интерламинарный доступ с парциальным удалением желтой связки и смежных дужек. Далее производили выделение нервного корешка из спаек, визуализировали выпячивание МПД (Рисунок 19а). Спинномозговой корешок мобилизовали невротомом в медиальную сторону. При выполнении менингорадикулолиза выполнялось вскрытие задней продольной связки и удаление дискового материала (Рисунок 19б). Во всех случаях для дополнительной мобилизации корешка производили фораминотомию. Впоследствии производился микрохирургический контроль вентральной области дурального мешка и коагуляция эпидуральных сосудов, в некоторых случаях осуществлялось дополнительное использование гемостатической губки и Surgicel (США).

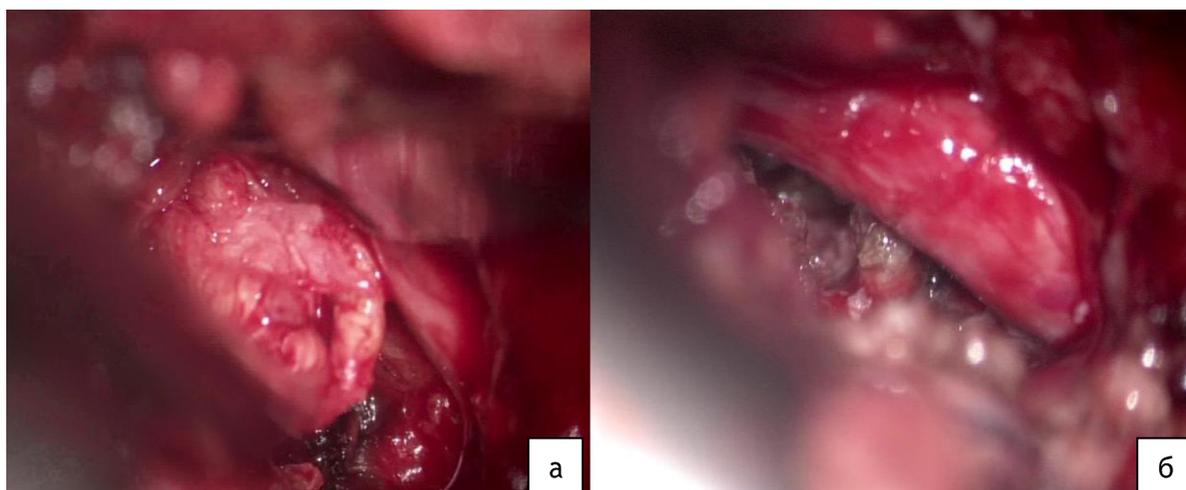


Рисунок 19 – Интраоперационные фотографии: а – междужковом промежутке визуализируется фрагментированная грыжа диска; б – вид междужкового промежутка после удаления фрагмента дискового материала

На рисунке 20 представлен клинический пример пациента данной группы исследования.

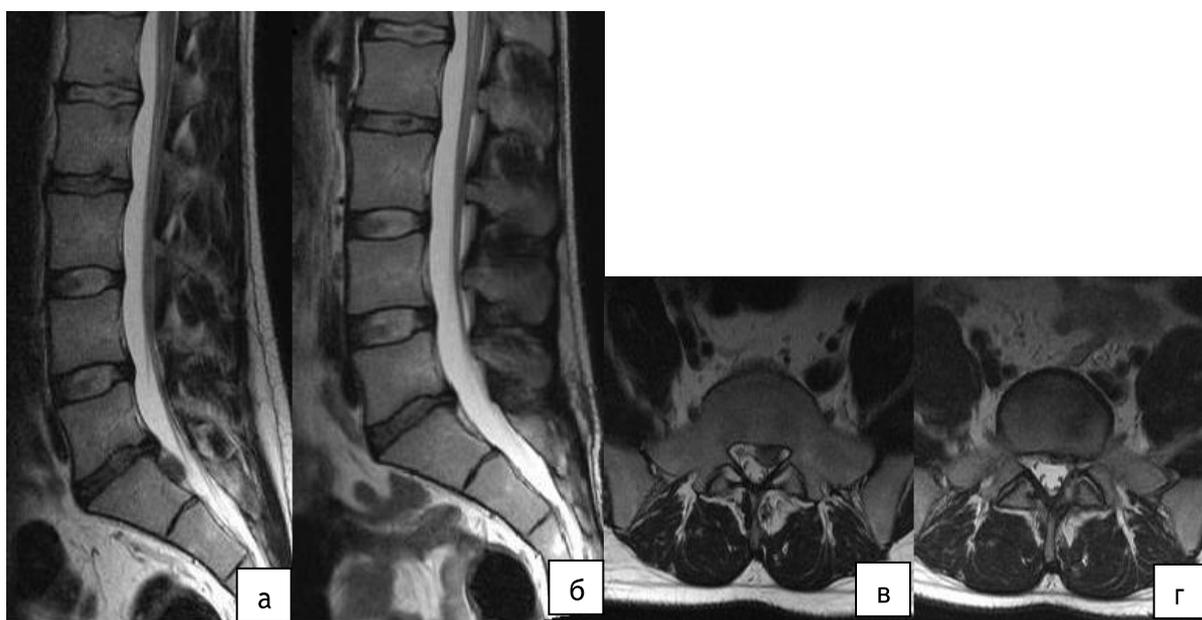


Рисунок 20 – Клинический пример пациента Е., 1984 г.р., МРТ поясничного отдела позвоночника (Т2-ВИ) перед операцией и после поясничной дискэктомии в сегменте L_V-S_I : а – сагиттальный срез до операции; б – сагиттальный срез через 17 месяцев после вмешательства; в – аксиальный срез поддискового пространства в сегменте L_V-S_I до операции; г – аксиальный срез поддискового пространства в

сегменте L_V–S_I через 17 месяцев после вмешательства

2.4.2 Дискэктомия из переднего внебрюшинного доступа с установкой динамического протеза диска

При проведении имплантации искусственных дисковых протезов использовалась общепринятая методика [279]. При расположении пациента лицом вверх и опусканием головного конца операционного стола вниз выполнялась подготовка области вмешательства антисептическими растворами (Рисунок 21а), осуществлялся традиционный параректальный проекционный левосторонний доступ (Рисунок 21б).

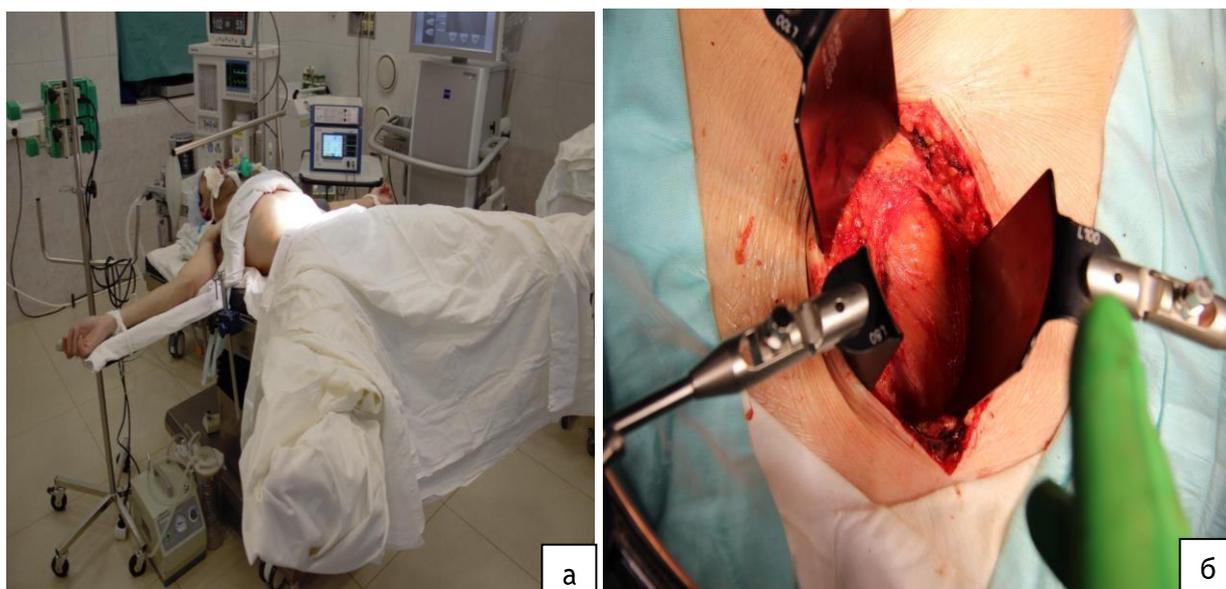


Рисунок 21 – Интраоперационные фотографии: а – укладка пациента перед дискэктомией из переднего внебрюшинного доступа с установкой динамического протеза МПД; б – проекционный доступ к МПД L_V–S_I

Осуществляли послойное рассечение кожного покрова, подлежащей клетчатки и фасции прямой мышцы живота. Ретроперитонеально «тупым» способом производили подход к вентральной области поясничных сегментов позвоночника. В дальнейшем мобилизовали подвздошные артерии и вены. Для

ограничения вышеописанных сосудов от интраоперационной травматизации в тела выше и ниже дегенеративно измененного МПД вводили металлические разграничители, фиксируемые в ранорасширитель Syn Frame (Synthes, Швейцария) (Рисунок 22а). При использовании оптического увеличения выполняли полное удаление МПД с расширением фораминальных отделов с двух сторон. Для формирования ложа эндопротеза применяли оригинальный инструментарий. Впоследствии погружали имплантат M6-L (Spinal Kinetics, Швейцария) (Рисунок 22б) и осуществляли интраоперационный флюороскопический контроль положения имплантата.

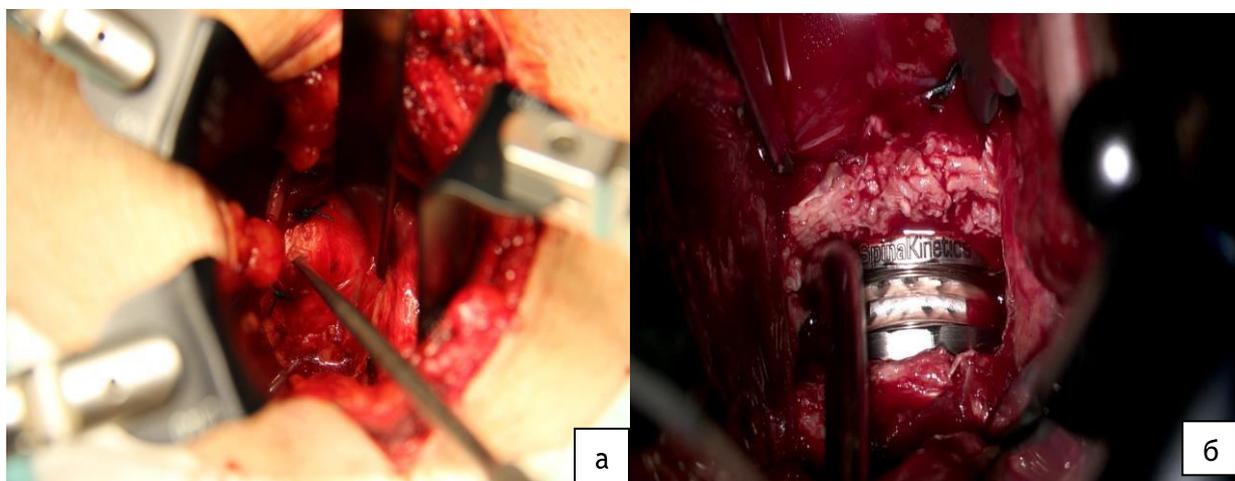


Рисунок 22 – Интраоперационные фотографии: а – установленный ранорасширитель с выделенными подвздошными сосудами и МПД; б – искусственный МПД в межтеловом промежутке L_V-S_I

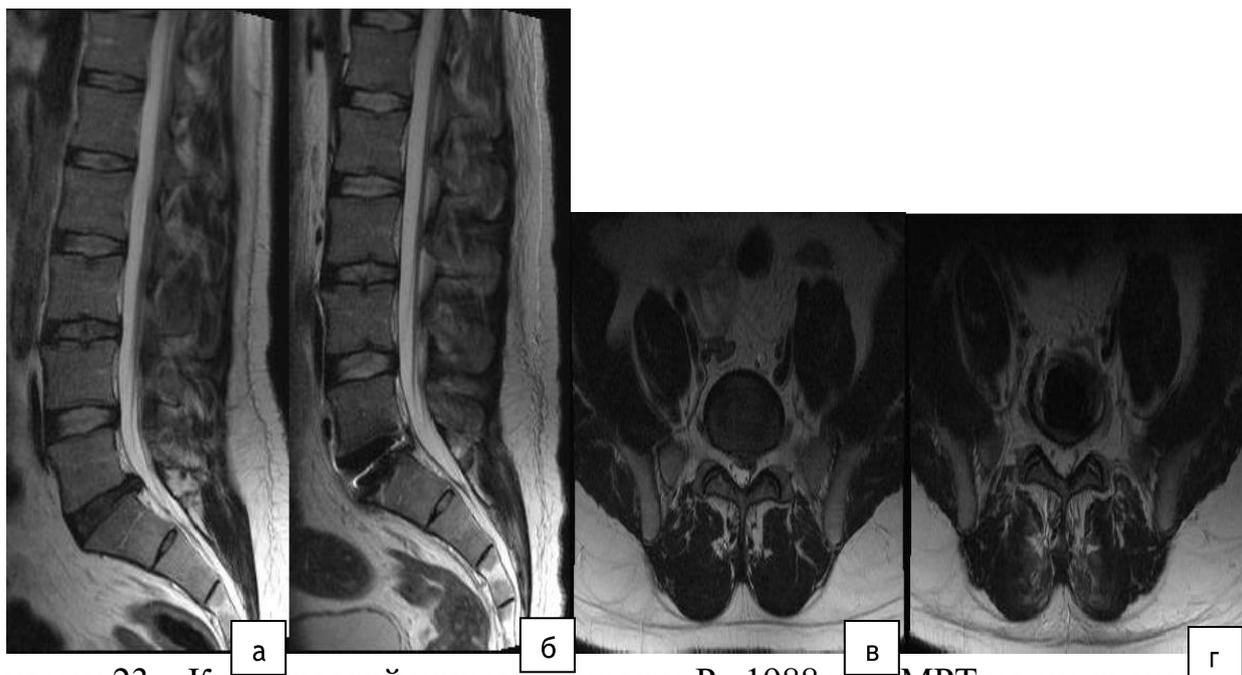


Рисунок 23 – Клинический пример пациента Р., 1988 г.р., МРТ поясничного отдела позвоночника (Т2-ВИ) перед операцией и после тотальной артропластики

искусственным МПД в сегменте L_V-S_I : а – сагиттальный срез до операции; б – сагиттальный срез через 24 месяца после операции; в – аксиальный срез дискового пространства в сегменте L_V-S_I до операции; г – аксиальный срез дискового пространства в сегменте L_V-S_I через 24 месяца после операции

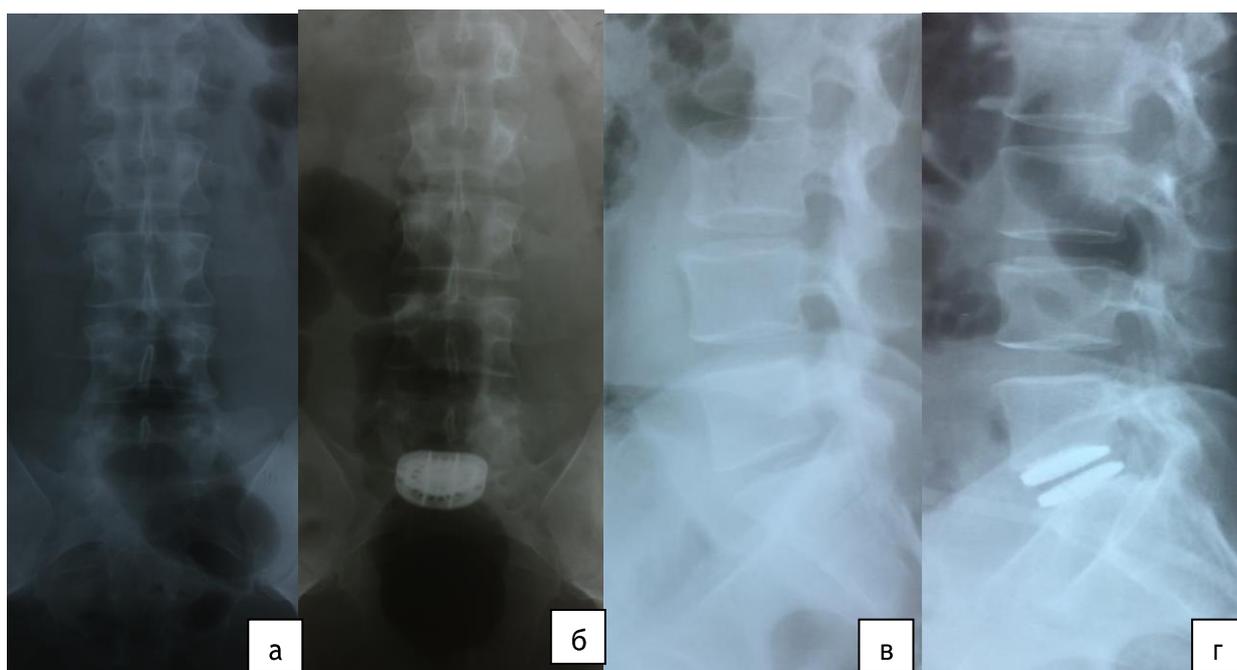


Рисунок 24 – Клинический пример пациента Р., 1988 г.р., рентгенография

поясничного отдела позвоночника до операции (а, в) и после тотальной артропластики протезом МПД в сегменте L_V–S_I (б, г)

2.4.3 Реконструкция позвоночного канала, межтеловой спондилодез с транспедикулярной стабилизацией

Оперативные вмешательства выполнялись в аналогичном положении, как и при микрохирургической дискэктомии (Рисунок 25). Реконструкция позвоночного канала выполнялась путем односторонней фасетэктомии из срединного (Рисунок 26) или парамедианного (Рисунок 27) доступов.

В первом случае при расположении пациента на животе с использованием разгрузочных подушек под область плеч и бедер выполнялась обработка операционного поля растворами антисептиков с последующим линейным срединным разрезом паравертебральных тканей с билатеральным скелетированием мышц. После выделения междужковых промежутков с двух сторон осуществляли унилатеральную фасетэктомию. После мобилизации спинномозгового корешка и дурального мешка производилось поэтапное удаление дегенерированной ткани диска, трансфораминальный межтеловой спондилодез и транспедикулярная установка винтов открытым способом по традиционной технике.

В случае парамедианного подхода использовался разрез мягких тканей по Wiltse [364] в области патологического процесса с тубулярным расширением мышц. Междужковое пространство выделялось унилатерально, производилась фасетэктомия. В дальнейшем над дуральным мешком резецировалась желтая связка и выполнялась фораминотомия по ходу контрлатерального спинномозгового корешка. После адекватной декомпрессии содержимого позвоночного канала и появлении отчетливой пульсации невральных структур производилось поэтапное удаление дегенерированной ткани диска, трансфораминальный межтеловой спондилодез с последующей минимально-инвазивной

ипсилатеральной и чрескожной контрлатеральной транспедикулярной установкой
ВИНТОВ.



Рисунок 25 – Укладка пациента перед реконструкцией спинального канала,
межтеловым спондилодезом с транспедикулярной стабилизацией

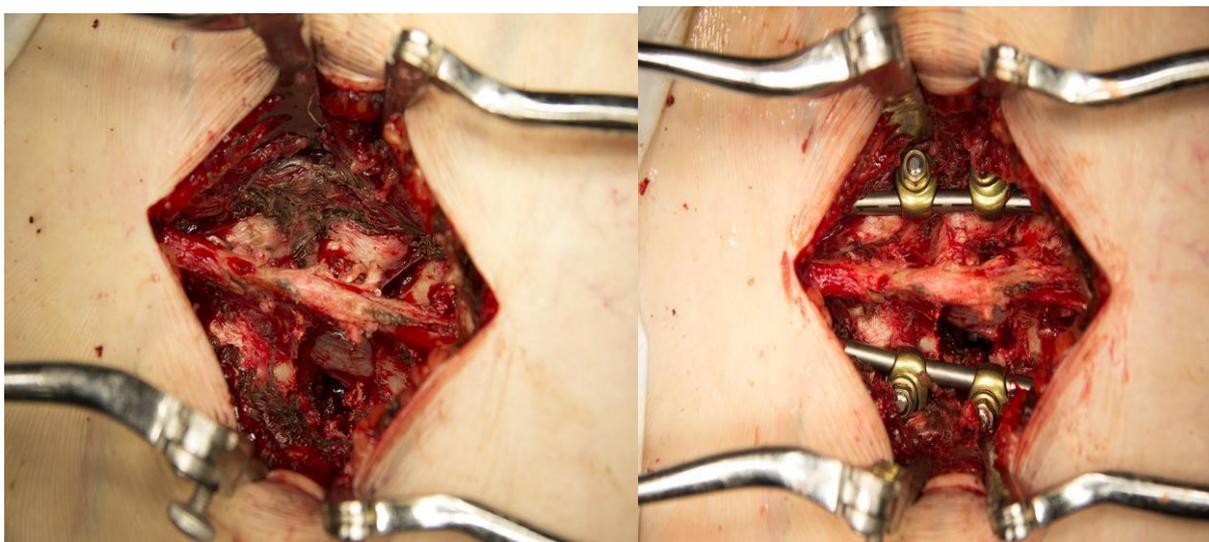


Рисунок 26 – Интраоперационные фотографии декомпрессии и
стабилизации из срединного доступа

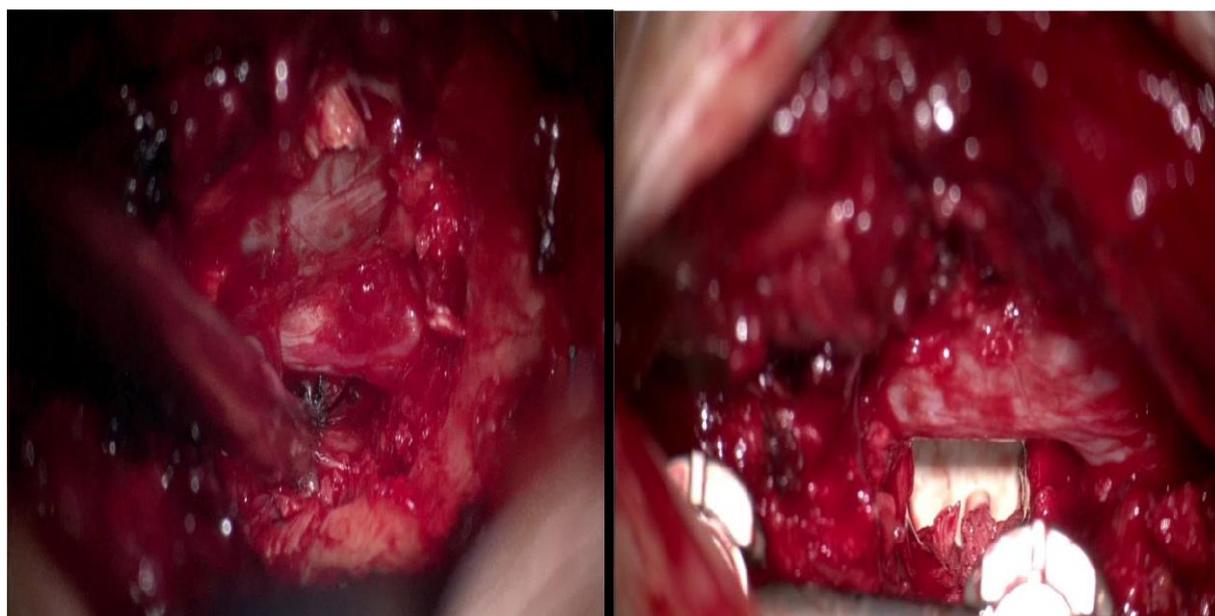


Рисунок 27 – Интраоперационные фотографии декомпрессии и стабилизации из парамедианного доступа

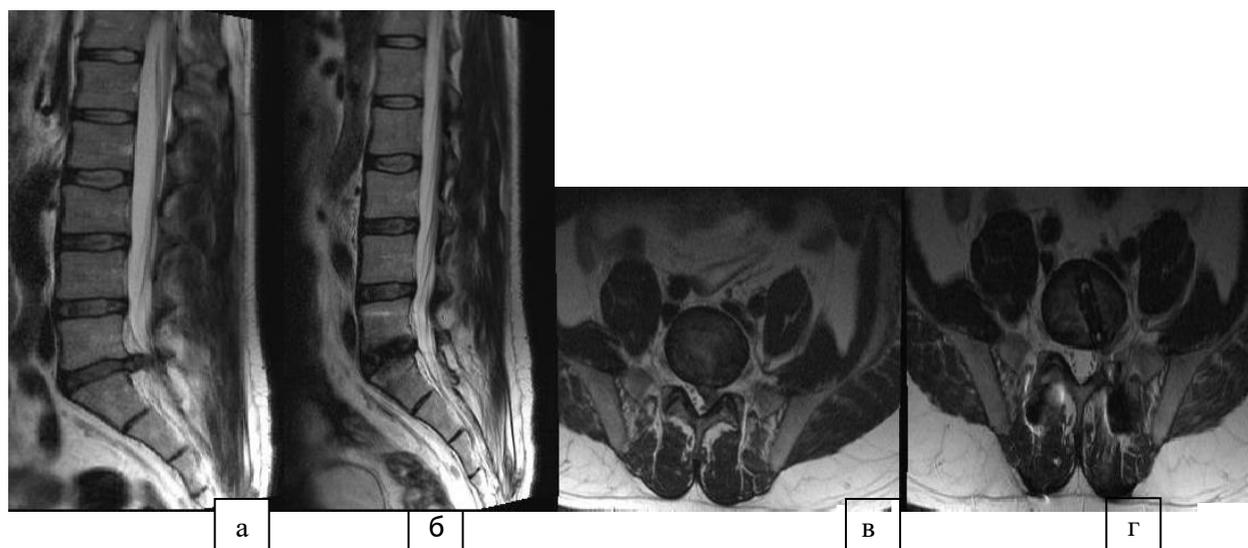


Рисунок 28 – Клинический пример пациента Л., 1976 г.р., МРТ поясничного отдела позвоночника (Т2-ВИ) перед операцией и после межтелового спондилодеза с четырехвинтовой транспедикулярной стабилизацией в сегменте L_V-S_I : а – сагиттальный срез до операции; б – сагиттальный срез через 19 месяцев после вмешательства; в – аксиальный срез дискового пространства в сегменте L_V-S_I до вмешательства; г – аксиальный срез дискового пространства в сегменте L_V-S_I через 19 месяцев после вмешательства

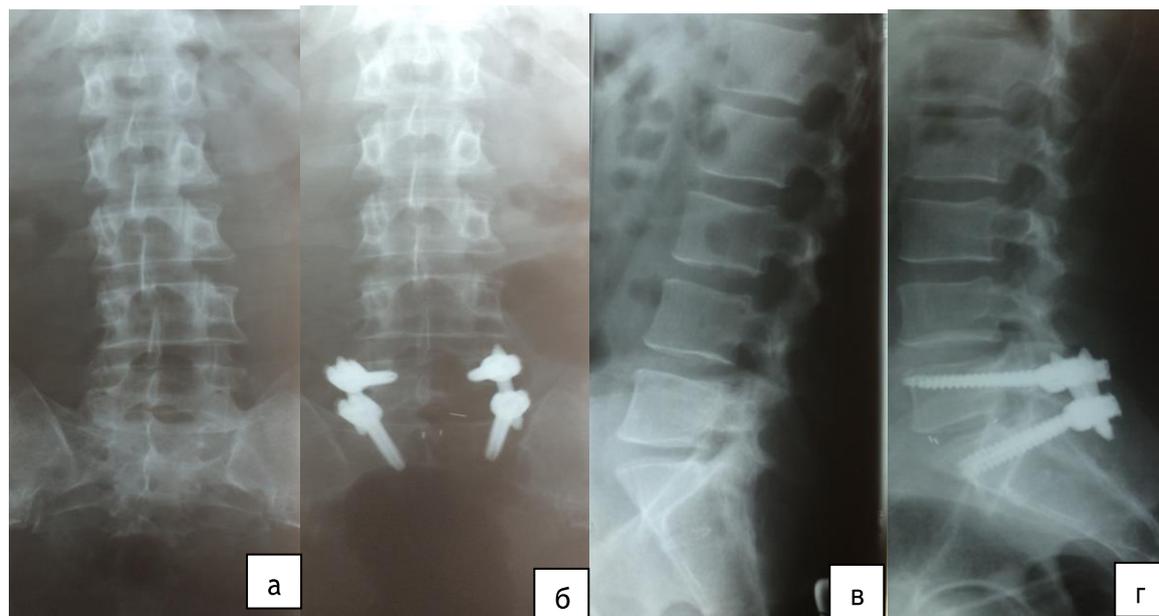


Рисунок 29 – Клинический пример пациента Л., 1976 г.р., рентгенография поясничного отдела позвоночника до операции (а, в) и после межтелового спондилодеза с четырехвинтовой транспедикулярной стабилизацией в сегменте L_v-S_I (б, г)

В работе изучались технические характеристики оперативных вмешательств (объем кровопотери (мл), длительность операции (мин)) и специфичность послеоперационного периода (время вертикализации, периоды между этапами хирургических вмешательств, срок госпитализации), вид и количество послеоперационных осложнений.

2.5 Методы статистического анализа полученных при исследовании данных

Статистическая обработка полученных при реализации научного проекта параметров осуществлялась на индивидуальном компьютере с применением пакета прикладных программ: Microsoft Excel 2010 (Microsoft, США) и Statistica for Windows 8.1 (Stat Soft Inc., США). Полученные сведения анализировались с

использованием способов изучения эмпирических распределений. Для оценки вида распределения применялись способы Колмогорова – Смирнова, Лилефорса и Шапиро – Уилка. Распределением, отличным от нормального, считали распределение с наличием значимых различий по вышеуказанным способам ($p < 0,05$). При соответствии нормальному распределению полученные данные описывали как $M \pm m$ (среднее значение со средней квадратичной ошибкой).

Для описания количественных параметров при ненормальном распределении применялись величины медианы Me и межквартильного размаха Me (25 %; 75 %).

Для оценки достоверности различий при повторных исследованиях применялась поправка Бонферрони ($p < 2,5$ %). Использовались непараметрические характеристики: Манна – Уитни (M–U) при межгрупповом сопоставлении; параметр Вилкоксона (W) для зависимых выборок; хи-квадрат (χ^2) для биномиальных параметров. Корреляционное исследование произведено с применением коэффициента корреляции Спирмена.

Сопоставление результатов исследования осуществляли между ретроспективной и проспективной группами. Ведущим параметром, характеризующим успешность выполненного хирургического вмешательства,

является функциональный статус по ODI. С целью выявления минимальных отличий по ODI в 10 баллов и стандартном отклонении в 15 для мощности исследования в 80 % и статистической значимости в 5 % необходимо минимальное количество исследуемых пациентов – 37 в каждой группе [269]. При использовании программного модуля *Power analysis* произведен расчет минимального количества респондентов для каждой группы (Рисунок 30).

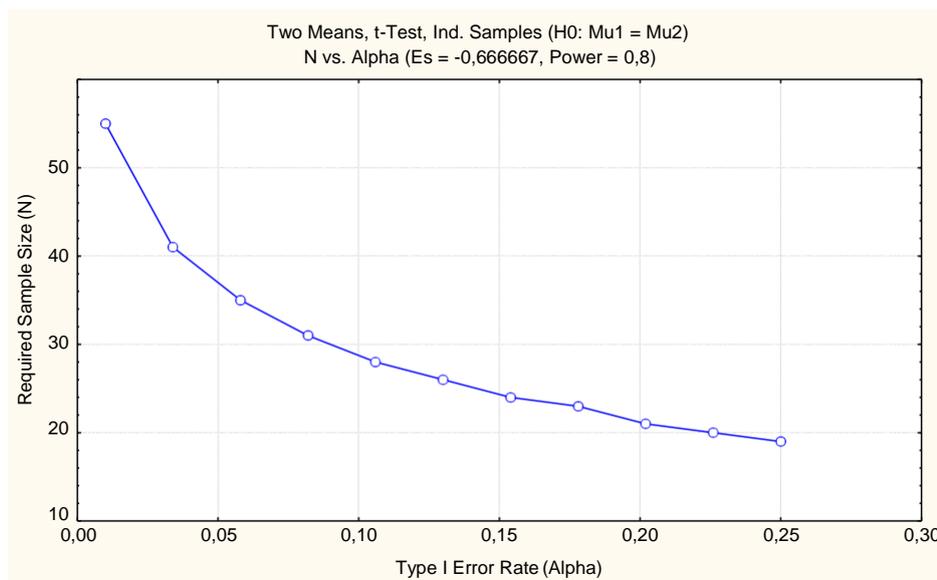


Рисунок 30 – Графическое представление взаимосвязи необходимого количества респондентов в группе от определенной степени значимости ошибки первого рода при мощности исследования 80 %, стандартном отклонении 15 и разнице эффектов 10

Таким образом, при выполнении научного исследования мощностью в 80 % и статистической значимостью $p < 0,05$ при минимальном уровне отличия в 10 баллов и стандартном отклонении, равном 15 баллов по ODI, необходимым условием является минимальное количество респондентов в группе, равное 37. Это является обязательным для реализации заявленной мощности исследования при максимальной степени его достоверности.

ГЛАВА 3 РЕЗУЛЬТАТЫ РЕТРОСПЕКТИВНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В центре нейрохирургии НУЗ «ДКБ на ст. Иркутск-Пассажирский ОАО «РЖД» за период с февраля 2007 по февраль 2012 года в 1342 случаях произведены оперативные вмешательства при наличии дегенеративных заболеваний поясничных сегментов. Проанализированы исходы операций при дегенеративной патологии люмбо-сакрального перехода 619 пациентов, которым проводился комплексный клинико-инструментальный подход. У всех оперированных лиц перечень диагностических мероприятий включал ортопедический и неврологический осмотры, поясничную рентгенографию, магнитно-резонансную и мультиспиральную компьютерную томографии.

Всем исследуемым пациентам, планируемыми к проведению хирургического лечения, осуществлялись классические терапевтические мероприятия без эффекта в течение 8–10 недель, кроме случаев острого неврологического дефицита или его быстрого прогрессирования, в связи с чем выполнялись хирургические вмешательства в срочном порядке. Консервативное лечение состояло из патогенетически обоснованных препаратов: нестероидных противовоспалительных («Диклофенак», «Вольтарен»), сосудистых («Трентал», «Мексидол»), ненаркотических анальгетиков («Кетонал»), витаминов группы «В» («Мильгамма», «Комбелипен», «Бенфолипен»), миорелаксантов центрального действия («Мидокалм», «Баклосан», «Сирдалуд»), венотоников («Детралекс», «Троксевазин») в соответствии с принятыми дозировками.

Оперативные вмешательства выполнялись при наличии неврологических признаков диско-радикулярного конфликта (и возможным сочетанием его с рефлекторными болевыми синдромами), обусловленного грыжами МПД, гипертрофией желтой связки и артрозом ДС.

В 352 случаях выполнялось микрохирургическое удаление грыжи МПД (I

группа), в 83 – дискэктомия из переднего внебрюшинного доступа с имплантацией искусственного протеза МПД (II группа), в 184 – дискэктомия и межтеловой трансфораминальный спондилодез с четырехвинтовой транспедикулярной стабилизацией (III группа).

3.1 Общие данные об исследуемых пациентах ретроспективной группы

Сведения о пациентах, включенных в исследование по полу, возрасту и антропометрическим особенностям, отражены в таблице 3. Анализ полученных результатов установил превалирование мужчин среднего возраста (25–50 лет).

Таблица 3 – Характеристика исследуемых пациентов по полу, возрасту и антропометрическим особенностям

Критерии	Группа I (n=352)	Группа II (n=83)	Группа III (n=184)
Возраст (годы)	30 (27;48)	29 (26;44)	32 (29;49)
Мужской пол (n, %)	214 (61 %)	52 (63 %)	119 (65 %)
Индекс массы тела (кг/м ²)	24,2 (22,3; 25,9)	23,8 (22,1; 26,2)	24,9 (23,3; 25,8)

Осуществлен ретроспективный анализ предоперационных неврологических данных при дегенеративных заболеваниях люмбо-сакрального перехода позвоночника (Таблица 4).

При анализе установлено, что во всех исследуемых группах верифицировалась корешковая симптоматика с неврологическим дефицитом различной степени.

Дооперационные рефлекторные синдромы поясничного отдела позвоночника у пациентов исследуемых групп представлены в таблице 5.

Таблица 4 – Клиническая симптоматика исследуемых пациентов

Симптом	Признак	Группа I (n=352)	Группа II (n=83)	Группа III (n=184)
Рефлекс с ахиллова сухожилия	Не изменен	39 (11 %)	23 (28 %)	18 (10 %)
	Снижен	224 (64 %)	49 (59 %)	97 (53 %)
	Отсутствует	89 (25 %)	11 (13 %)	69 (37 %)
Чувствительность	Не изменена	29 (8 %)	19 (23 %)	13 (7 %)
	Снижена	302 (86 %)	61 (73 %)	160 (87 %)
	Отсутствует	21 (6 %)	3 (4 %)	11 (6 %)
Симптоматика (корешковая)	Односторонняя	318 (90 %)	47 (57 %)	135 (73 %)
	Двухсторонняя	34 (10 %)	36 (43 %)	49 (27 %)
Сила в мышцах стопы	Не изменена	261 (74 %)	65 (78 %)	141 (77 %)
	Снижена	91 (26 %)	18 (22 %)	43 (23 %)
Синдром псевдоклаудикации		–	–	13 (7 %)
Газовые расстройства		18 (5 %)	–	23 (12,5 %)

Таблица 5 – Клиническая симптоматика рефлекторных болевых синдромов поясничного отдела позвоночника у исследуемых пациентов

Симптомы	Группа I (n=352)	Группа II (n=83)	Группа III (n=184)
Местные болевые	102 (29 %)	27 (32,5 %)	51 (28 %)
Отраженные болевые	42 (12 %)	13 (16 %)	39 (21 %)
Миодистонические	23 (6,5 %)	4 (5 %)	32 (17 %)
Миосклеротомные или дистрофические	15 (4 %)	1 (1,2 %)	27 (15 %)

Установлено, что у пациентов ретроспективной группы верифицировалась некомпрессионная симптоматика при заболеваниях люмбо-сакрального перехода

позвоночника с разной частотой выявления.

Исследование наличия аномалий пояснично-крестцового перехода по рентгенологическим данным у пациентов ретроспективной группы отражено в таблице 6. Выявлено отсутствие люмбо-сакральных стигм у большего числа респондентов во всех группах оперированных пациентов.

Таблица 6 – Наличие аномалий люмбо-сакрального перехода у пациентов ретроспективной группы исследования на основе инструментальных данных

Признак	Группа I (n=352)	Группа II (n=83)	Группа III (n=184)
Без патологии – истинный L _V -S _I переход	287 (81,5 %)	79 (95 %)	128 (69 %)
Люмбализация – L _{VI} -S _I переход	44 (12,5 %)	3 (3,5 %)	37 (20 %)
Сакрализация L _{IV} -S _I переход	21 (6 %)	1 (1,5 %)	19 (10 %)

Вид ведущего патоморфологического субстрата по результатам нейровизуализации при заболеваниях люмбо-сакрального перехода позвоночника в исследуемых группах отражен в таблице 7. Анализ выявил наличие у большинства оперированных пациентов (> 50 %) сочетанной патологии МПД и ДС.

Таблица 7 – Вид доминирующих дегенеративных морфоструктурных изменений

у пациентов ретроспективной группы исследования по МРТ

Вид патологии	Морфологический признак	Группа I (n=352)	Группа II (n=83)	Группа III (n=184)
Дегенерация МПД	Протрузия	34 (9,5 %)	49 (59 %)	31 (17 %)
	Экструзия	197 (56 %)	25 (30 %)	74 (40 %)
	Секвестрация	121 (34 %)	9 (11 %)	7 (4 %)

	Ретролистез	76 (22 %)	17 (20 %)	11 (6 %)
Дегенерация ДС	Спондилоартроз без стеноза позвоночного канала	162 (46 %)	47 (57 %)	35 (19 %)
	Спондилоартроз со стенозом позвоночного канала	24 (7 %)	–	84 (45 %)
	Спондилолистез I ст.	4 (1 %)	1 (1 %)	29 (16 %)

3.2 Анализ послеоперационных клинических результатов

Изучение динамики выраженности болевых ощущений по ВАШ в поясничном отделе позвоночника выявило значимое уменьшение его интенсивности: в I группе с 76 мм (64;80) до 18,5 мм (11;31) ($p=0,006$); во II группе с 76 мм (64;82) до 10,5 мм (6;14) ($p=0,004$); в III группе с 75 мм (62;82) до 22 мм (16;30) ($p=0,001$) (Рисунок 31).

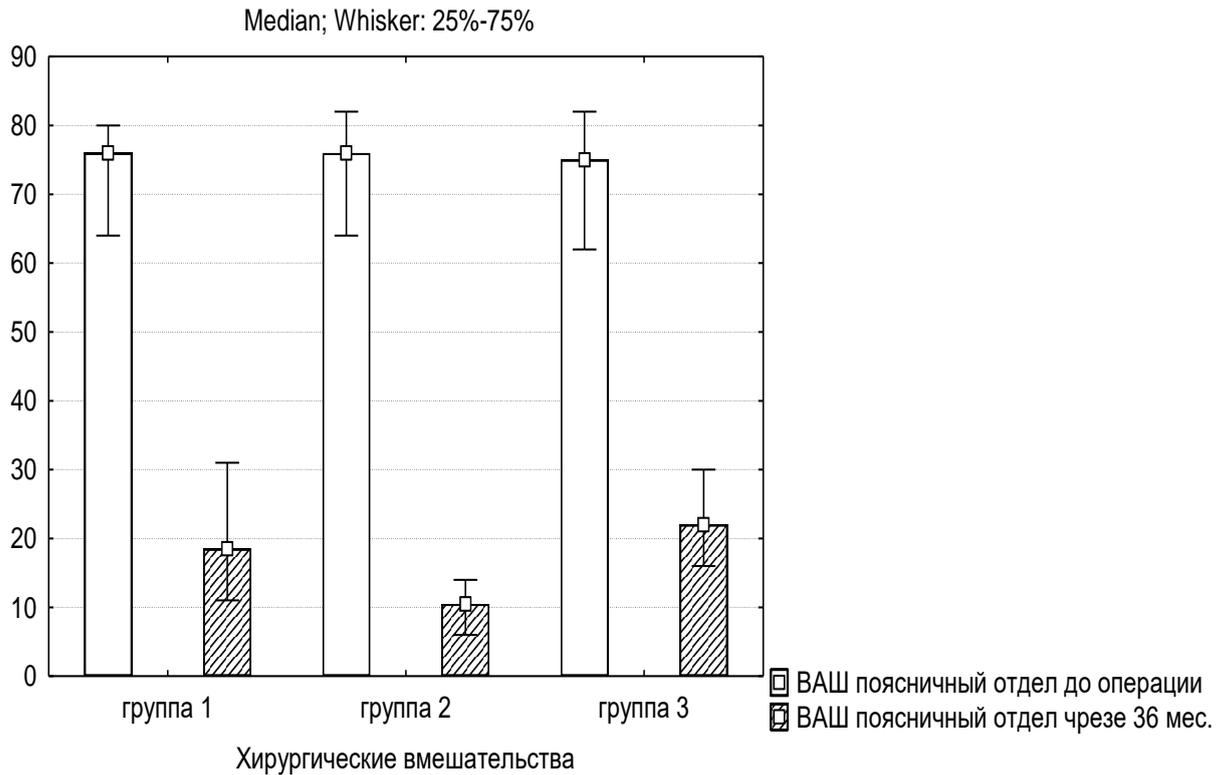


Рисунок 31 – Изменение уровня боли по ВАШ в поясничном отделе у исследуемых пациентов

Во всех случаях в исследуемых группах в нижних конечностях верифицировано значимое уменьшение выраженности болевой симптоматики соответственно: с 79 мм (67;83) до 14,5 мм (8;26) ($p=0,002$); с 79,5 мм (66;87) до 8мм (4;12) ($p=0,007$); с 84 мм (67;89) до 18 мм (12;25) ($p=0,004$) (Рисунок 32).

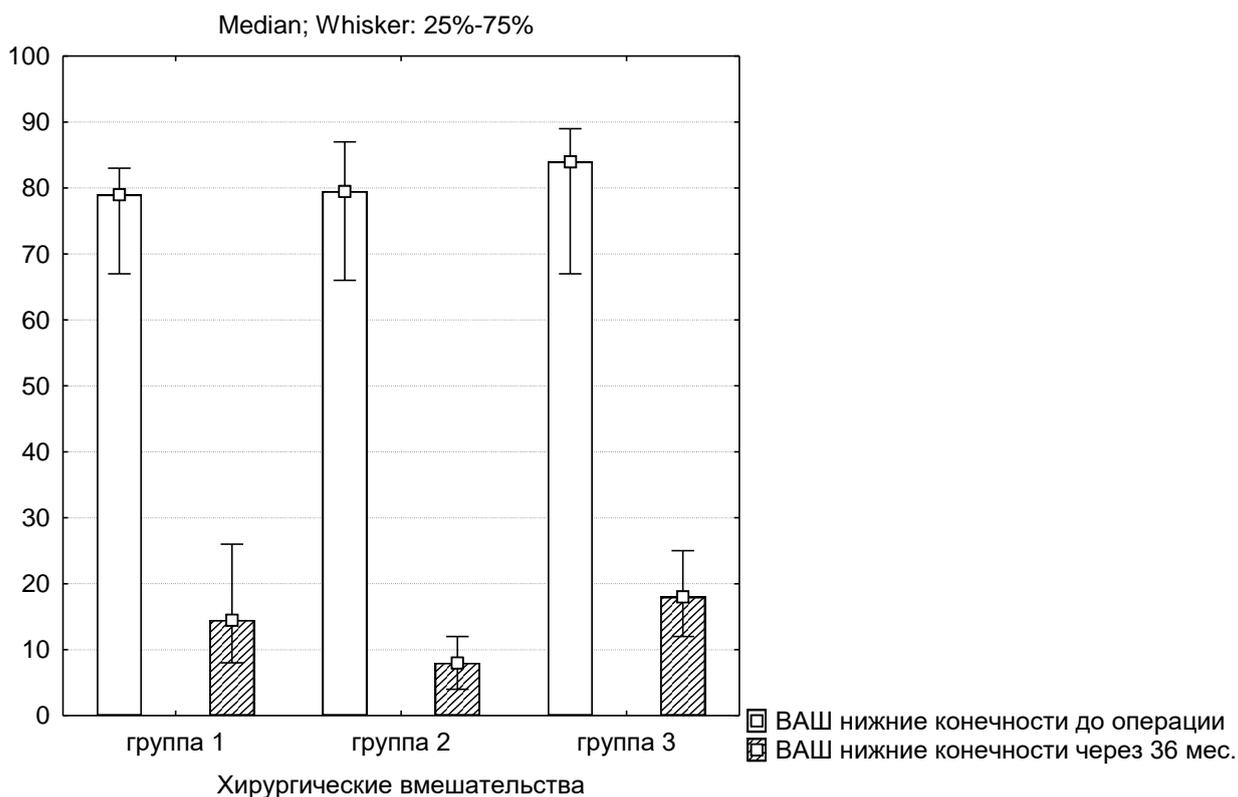


Рисунок 32 – Изменение уровня боли по ВАШ в нижних конечностях у исследуемых пациентов

Изучение показателей ODI у исследуемых пациентов позволило установить улучшение функционального статуса в динамике: в I группе с 76 (66;80) до 18,5 (14;22) ($p=0,006$); во II группе с 78 (66;82) до 10 ($p=0,009$); в III группе с 74 (60;80) до 17 (14;20) ($p=0,001$) (Рисунок 33).

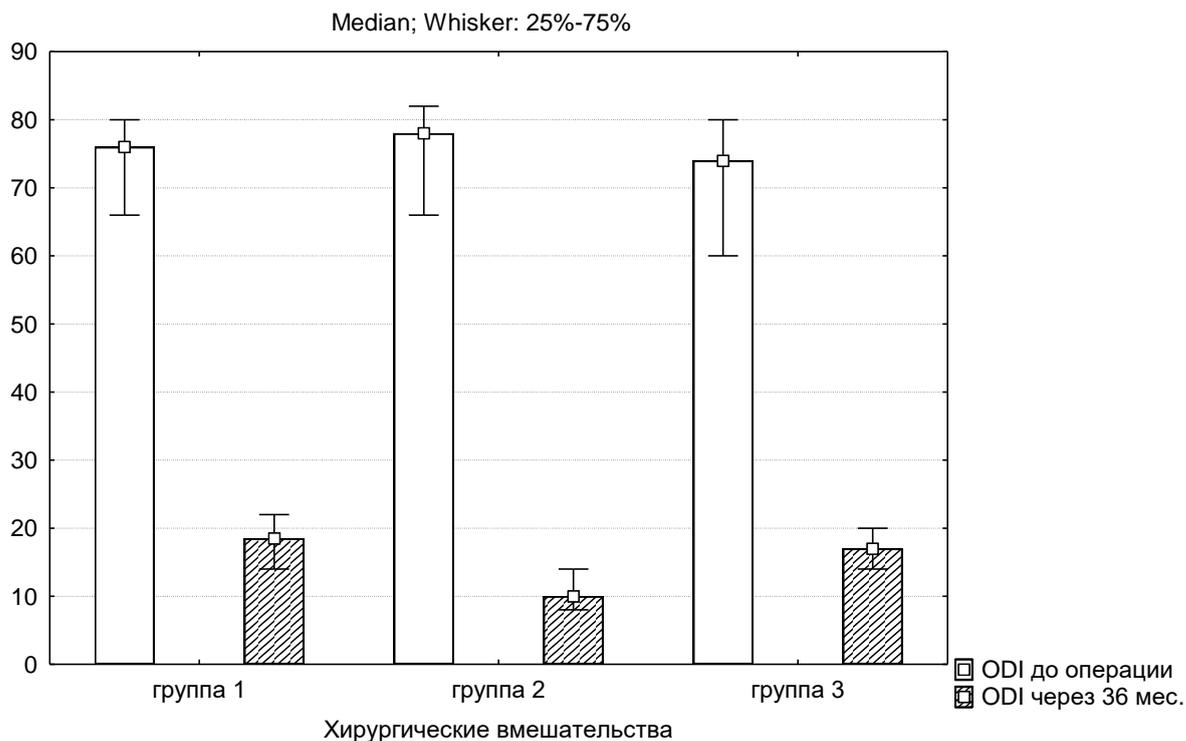


Рисунок 33 – Изменение функционального состояния пациентов по ODI у исследуемых пациентов

В катамнезе исследование удовлетворенности операцией по шкале Маснав количество хороших и отличных исходов зафиксировано: в группе I – 62 % (n=219); в группе II – 93 % (n=77); в группе III – 63 % (n=115) (Рисунок 34).

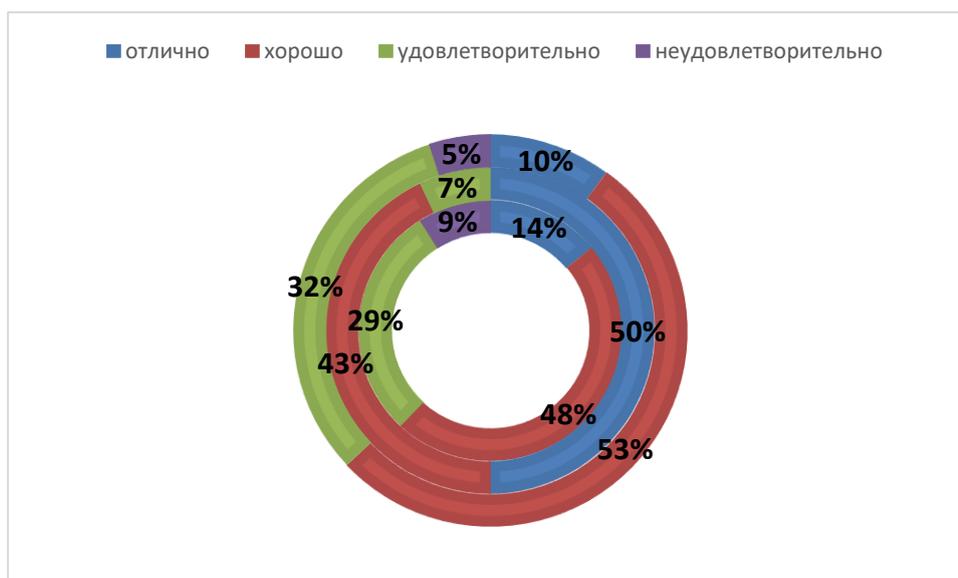


Рисунок 34 – Количественные характеристики отдаленной

удовлетворенности операцией исследуемых пациентов (по шкале Mas nab)

3.3 Исследование интраоперационных параметров вмешательств и специфичности послеоперационного периода

Общие характеристики длительности вмешательства, размера кровопотери, величины кожного разреза, сроков вертикализации и продолжительности госпитализации отражены в таблице 8.

Таблица 8 – Интраоперационные характеристики проведенных операций и особенности ведения пациентов после операций на люмбо-сакральном переходе позвоночника

Критерии	Группа I (n=352)	Группа II (n=83)	Группа III (n=184)
Длительность операции (мин)	65 (55;90)	135 (115;140)	145 (120;165)
Размер кровопотери (мл)	20 (15;35)	100 (85;135)	240 (210; 320)
Величина разреза (мм)	35 (30;45)	65 (60;80)	80 (70;95)
Сроки вертикализации (сут)	1 (1;2)	1 (1;2)	2 (2;3)
Продолжительность госпитализации (сут)	8 (7;9)	8 (8;10)	10 (9;13)

Анализ полученных данных показал, что изучаемые характеристики зависели от специфичности выбранной хирургической методики [18,151,182].

3.4 Исследование неблагоприятных послеоперационных исходов у

пациентов исследуемой группы

При ретроспективном анализе зарегистрированные неблагоприятные исходы подразделялись на осложнения: интраоперационные, общехирургические и специфичные, зависящие от дегенеративного заболевания и проведенного вмешательства. Описываемые характеристики отражены в таблице 9.

Таблица 9 – Общие сведения о верифицированных осложнениях у пациентов ретроспективной группы исследования

Признак	Группа I (n=352)	Группа II (n=83)	Группа III (n=184)
Интраоперационные, n, %	14 (3,97 %)	3 (3,6 %)	8 (4,3 %)
Травма твердой мозговой оболочки	3	–	3 (1,63 %)
Повреждение корешка	4	–	3 (1,63 %)
Поломка инструмента	2	–	2 (1,08 %)
Ошибка уровнем	2	–	–
Конверсия методики	3	–	–
Повреждение магистральных сосудов	–	3 (3,6 %)	–
Общехирургические, n, %	5 (1,42 %)	4 (4,81 %)	9 (4,89 %)
Формирование послеоперационной гематомы	3	1	5
Инфицирование послеоперационной раны	2	3	4
Венозные тромбозы, тромбоэмболия легочной артерии	–	–	–
Специфические, n, %	52 (14,77 %)	4 (4,81 %)	25 (13,6 %)

Спондилодисцит	1	–	–
Ухудшение неврологической симптоматики	15	2	8
Рецидив грыжи МПД	12	–	–
Развитие грыжи диска смежного с операцией уровня	3	–	9
Сегментарная нестабильность	21	–	–
Псевдоартроз	–	–	7
Нестабильность фиксирующей конструкции	–	–	1
Гетеротопическая оссификация	–	2	–

Произведена детализация осложнений в зависимости от выбора хирургической тактики. У всех исследуемых пациентов использовался протокол профилактики венозных осложнений (применение эластичного трикотажа, антикоагулянтные препараты), не верифицировано тромбозов и тромбоэмболии легочной артерии.

У исследуемых пациентов после применения методики микрохирургической дискэктомии зарегистрированы осложнения:

- Интраоперационно верифицировалось повреждение дурального мешка или спинно-мозгового корешка, при этом в случае ликвореи использовался фибриновый клей или микрохирургическая дурорафия; повреждение инструмента. Несмотря на рентгенографическое определение локализации уровня вмешательства, у 2 пациентов доступ был осуществлен к вышележащему промежутку с люмбо-сакральным уровнем. В 3 случаях интраоперационно было принято решение о конверсии методики с дополнительным использованием эндоскопической ассистенции без расширения хирургического доступа.

- Общехирургические: верифицировались признаки инфекции

операционной раны, формирование гематомы мягких тканей, успешно купируемые консервативным лечением.

- Специфические: у одного оперированного развился асептический спондилодисцит, после назначения антибактериальных препаратов воспалительный процесс был купирован. Пациенты с верифицированными рецидивами грыж дисков (связанных с ограниченным удалением дискового материала и его продолженной дегенерацией) и сегментарной нестабильностью (связанной со значимым удалением дискового материала) в различные сроки послеоперационного лечения были оперированы методикой ригидной стабилизации с положительным клинико-инструментальным эффектом. У 15 пациентов зарегистрировано прогрессирование неврологической симптоматики за счет формирования послеоперационного рубцово-спаечного фиброза. В этих случаях, как и у пациентов с прогрессированием дегенеративных изменений в сегментах смежных уровней ($n=3$), выполнялись консервативные мероприятия с полным регрессом болевой симптоматики.

У пациентов после применения методики динамической фиксации верифицированы осложнения:

- Из интраоперационных выявлено травмирование левой общей подвздошной вены ($n=3$) при мобилизации подвздошных сосудов. У всех пациентов выполнение сосудистого шва позволило герметизировать поврежденную сосудистую стенку. Не зарегистрировано неблагоприятных последствий, связанных с повреждением невральных структур.

- Из общехирургических превалировала инфекция мягких тканей операционной раны, что, вероятнее всего, связано с длинным рабочим каналом (глубина раны более 30 см) и необходимостью использования большого количества специализированного инструментария. В данных случаях, как и при формировании межмышечной гематомы, пролонгированный курс антибактериальной терапии, дренирование раны и физиотерапевтическое лечение способствовали купированию воспалительного процесса.

- Из специфических осложнений в двух случаях верифицировано ухудшение неврологического статуса, связанное с формированием ретроградной эякуляции за счет манипуляций со сплетением, расположенным в клетчатке в проекции люмбо-сакрального перехода. В период 36-месячного катамнеза диагностировано развитие гетеротопической оссификации без снижения функции установленного имплантата.

У пациентов после применения методики ригидной стабилизации выявлены осложнения:

- Интраоперационно выявлялись повреждения твердой мозговой оболочки невральных структур, в этих случаях применение микрохирургического ушивания дефекта способствовало предотвращению послеоперационной ликвореи. У двух пациентов зафиксирована поломка операционного инструментария, не сопровождавшаяся изменением хода операции и повреждениям содержимого позвоночного канала.

- В группе общехирургических неблагоприятных последствий выявлялись осложнения в виде поверхностной инфекции операционной раны в некоторых случаях с формирования гематомы мягких тканей. Во всех случаях произведено эффективное их устранение с применением консервативных мероприятий.

- В группе специфических последствий выявлено прогрессирование процессов дегенерации в вышележащих сегментах, неполноценное формирование костного блока и нестабильность фиксации, при этом проведение декомпрессивно-стабилизирующих вмешательств (дискэктомия, межтеловой спондилодез, продление ригидной стабилизации) способствовало клиническому улучшению. Выявленное у 8 пациентов прогрессирование неврологических проявлений в трех случаях было обусловлено

недостаточной декомпрессией, в пяти – развитием грубых рубцово-спаечных изменений внутри позвоночного канала.

В данном исследовании выявлены наиболее встречающиеся осложнения:

после микрохирургической дискэктомии – рецидивы грыж МПД и сегментарная нестабильность [124, 341]; после тотальной артропластики – повреждение магистральных сосудов и гетеротопическая оссификация [128, 223]; после ригидной стабилизации – дегенерация смежных сегментов, псевдоартроз и послеоперационный рубцовый процесс [18, 43, 176].

3.5 Анализ ретроспективных морфо-клинико-инструментальных данных

Для исследования ведущих морфоструктурных изменений люмбо-сакрального сегмента, находящихся в прямой взаимосвязи с клиническими проявлениями и инструментальными данными, с целью улучшения результатов оперативных вмешательств и снижения рисков развития неблагоприятных послеоперационных исходов у пациентов с патологией пояснично-крестцового перехода дегенеративного генеза осуществлен комплексный анализ полученных морфо-структурных данных. С этой целью использовались: 1) изменения выраженности дегенерации МПД по данным МРТ (*Pfirmann C.*, 2001) [287]; 2) количественная оценка степени дегенеративного поражения МПД с помощью карт диффузионно-взвешенных изображений – ИКД [15]; 3) изменения выраженности дегенерации ДС по данным МРТ (*Fujiwara A.*, 2000) [159]; 4) изменения выраженности дегенерации МПД при гистологическом анализе (*Vernon-Roberts B.*, 1987) [352]. Сводные данные изучаемых инструментальных и морфологических характеристик дегенеративных изменений люмбо-сакральных сегментов представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Морфологические и нейровизуализационные данные пациентов исследуемых групп

Критерии	Группа I (n=352)	Группа II (n=83)	Группа III (n=184)
----------	---------------------	---------------------	-----------------------

Pfirmann C., 2001	I ст.	13 (3,5 %)	12 (15 %)	-
	II ст.	137 (39 %)	32 (38 %)	-
	III ст.	169 (48 %)	30 (36 %)	64 (35 %)
	IV ст.	28 (8 %)	9 (11 %)	109 (59 %)
	V ст.	5 (1,5 %)	-	11 (6 %)
Fujiwara A., 2000	I ст.	165 (47 %)	29 (36 %)	-
	II ст.	187 (53 %)	37 (44 %)	47 (25,5 %)
	III ст.	-	17 (20 %)	118 (64 %)
	IV ст.	-	-	19 (10,5 %)
Vernon-Roberts B., 1987	I ст.	98 (28 %)	29 (35 %)	9 (5 %)
	II ст.	185 (52 %)	33 (39 %)	51 (28 %)
	III ст.	52 (15 %)	21 (26 %)	95 (51 %)
	IV ст.	17 (5 %)	-	29 (16 %)

При анализе установлено, что в группе I подавляющее большинство пациентов имело минимальную степень дегенеративных изменений МПД и ДС; в группе III диагностировались значительные дегенеративные изменения опорных элементов пояснично-крестцового перехода; в группе II выявлялись дегенеративные поражения элементов МПД и ДС различной степени выраженности.

Произведено погрупповое исследование взаимосвязи клинических, морфологических и инструментальных данных.

У исследуемых пациентов после применения методики микрохирургической дискэктомии осуществлялся анализ корреляционной взаимосвязи отдаленного функционального статуса по ODI с исследуемыми клиничко-морфо-инструментальными данными (Рисунок 35).

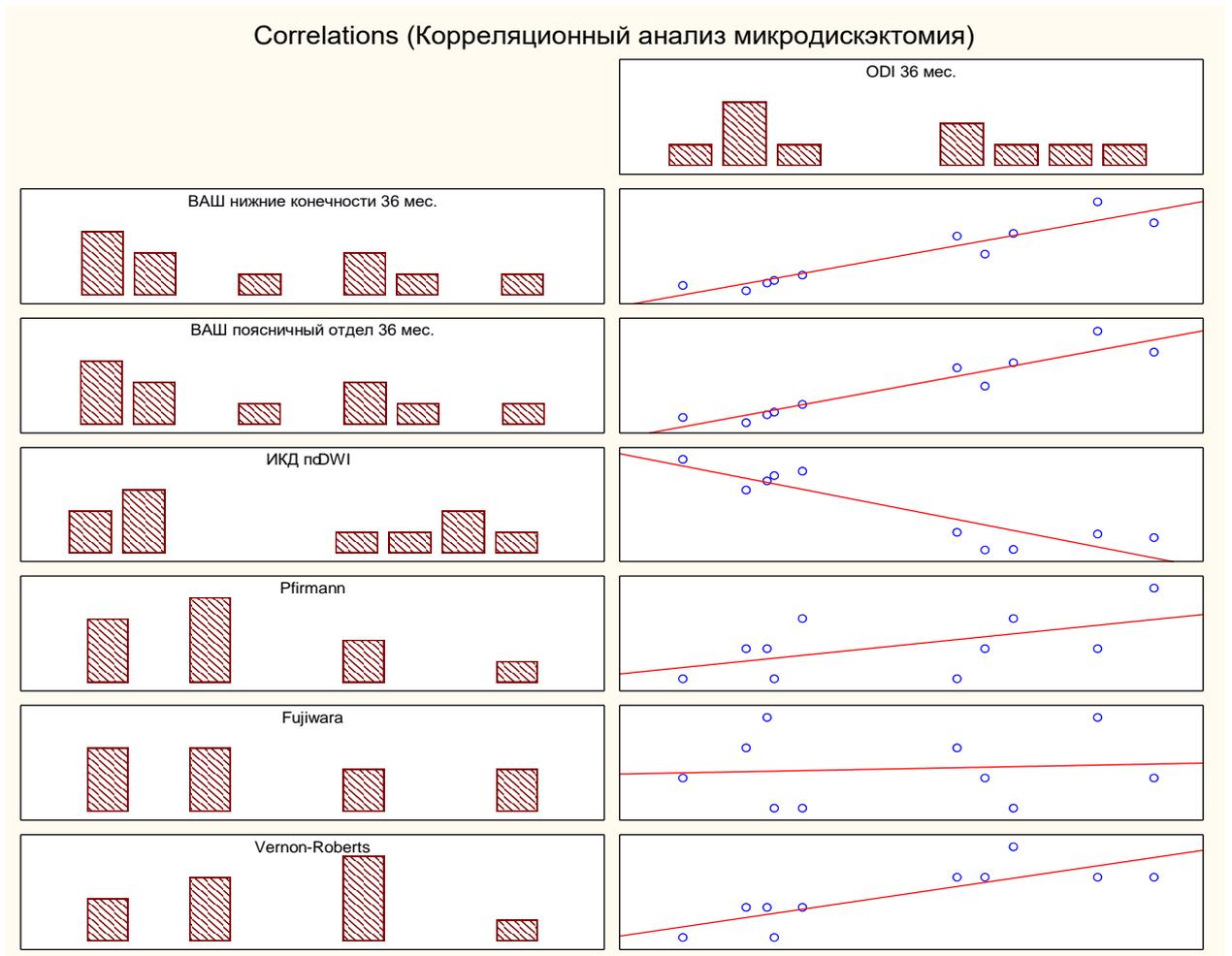


Рисунок 35 – Корреляция показателя функционального состояния по ODI с исследуемыми клиническими, инструментальными и морфологическими параметрами в группе пациентов после микрохирургического удаления грыжи МПД

Получена значимая обратная корреляционная зависимость с показателем измеряемого коэффициента диффузии, непараметрическая положительная значимая корреляция с уровнем болевых ощущений по ВАШ и выраженностью дегенерации по Vernon-Roberts B., при этом с показателями дегенерации ДС по Fujiwara A. и МПД по Pfirmann C. корреляции не выявлено (Таблица 11).

Таблица 11 – Корреляция показателя ODI в отдаленном периоде после

операции и выраженности дегенерации ДС по Fujiwara A., МПД по Pfirmann C.,
Vernon-Roberts B. и ИКД по DWI

Показатель	Группа I (n=352)	
	R	p
ВАШ поясничный отдел 36 мес.	0,95	< 0,05
ВАШ нижние конечности 36 мес.	0,94	< 0,05
Pfirmann C.	0,55	> 0,05
Fujiwara A.	0,09	> 0,05
Vernon-Roberts B.	0,82	< 0,05
ИКД	-0,89	< 0,05

Примечание: R – показатель корреляции;

p – уровень статистической значимости

У исследуемых пациентов после применения методики динамической фиксации осуществлялся анализ корреляционной взаимосвязи отдаленного функционального статуса по ODI с исследуемыми клинико-морфо-инструментальными данными (Рисунок 36).

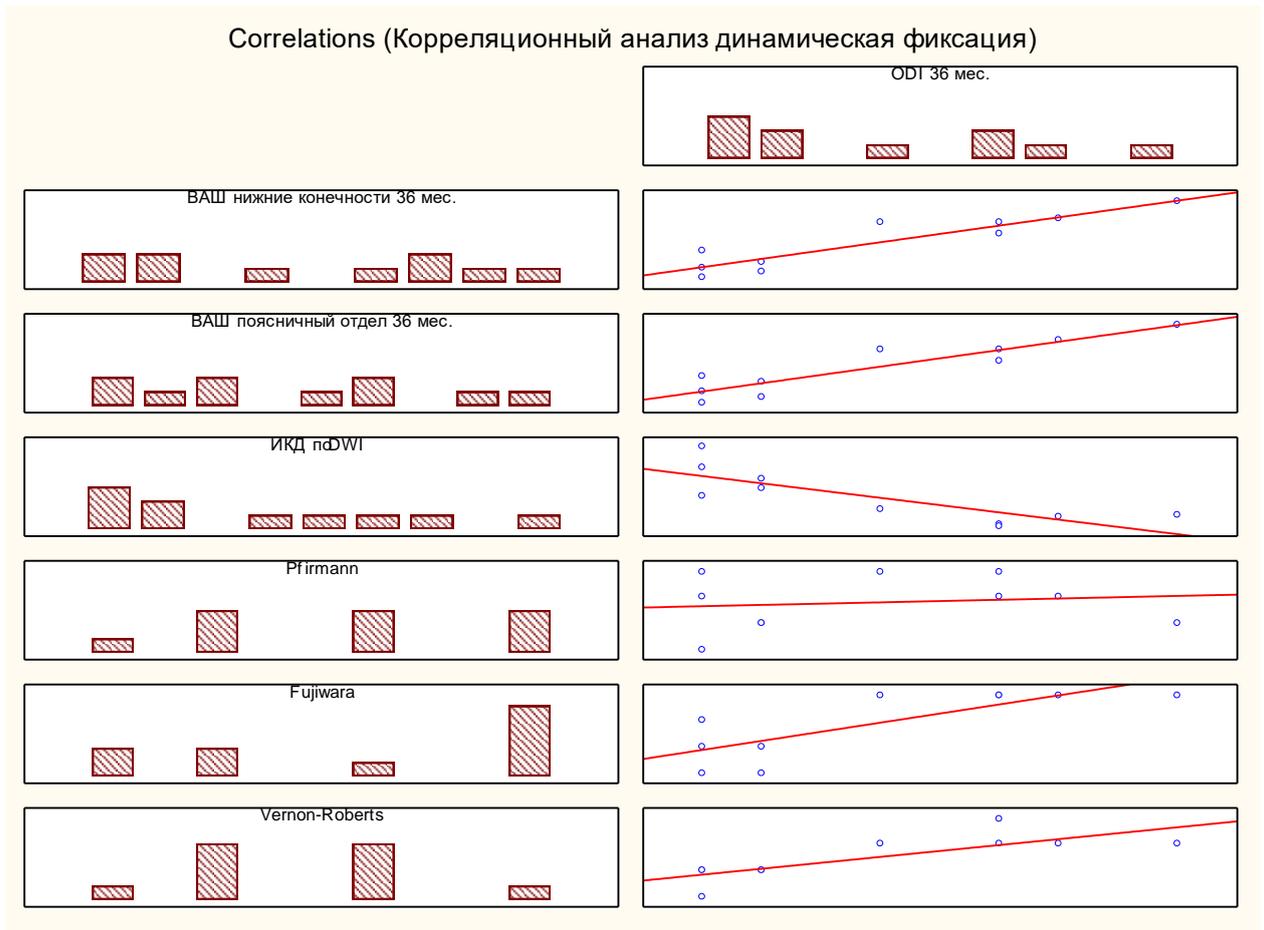


Рисунок 36 – Корреляция показателя функционального статуса по ODI с исследуемыми клиническими, инструментальными и морфологическими параметрами в группе пациентов после динамической фиксации

Получена значимая обратная корреляционная зависимость с параметрами измеряемого коэффициента диффузии, непараметрическая положительная значимая корреляция с уровнем болевых ощущений по ВАШ, выраженностью дегенерации по Vernon-Roberts В. и выраженностью дегенерации ДС по Fujiwara А., при этом с показателем дегенерации МПД по Pfirrmann С. корреляции не выявлено (Таблица 12).

Таблица 12 – Корреляция показателя ODI в отдаленном периоде после операции и степенью дегенерации ДС по Fujiwara А., МПД по Pfirrmann С., Vernon-Roberts В. и ИКД по DWI

Показатель	Группа II (n=83)	
	R	p
ВАШ поясничный отдел 36 мес.	0,95	< 0,05
ВАШ нижние конечности 36 мес.	0,92	< 0,05
Pfirmann C.	0,14	> 0,05
Fujiwara A.	0,79	< 0,05
Vernon-Roberts B.	0,78	< 0,05
ИКД	-0,80	< 0,05

Примечание: R – показатель корреляции;

p – уровень статистической значимости

В группе пациентов, оперированных по методике ригидной стабилизации осуществлено исследование корреляционной зависимости отдаленного функционального результата по ODI с исследуемыми клинικο-морфо-инструментальными данными (Рисунок 37).

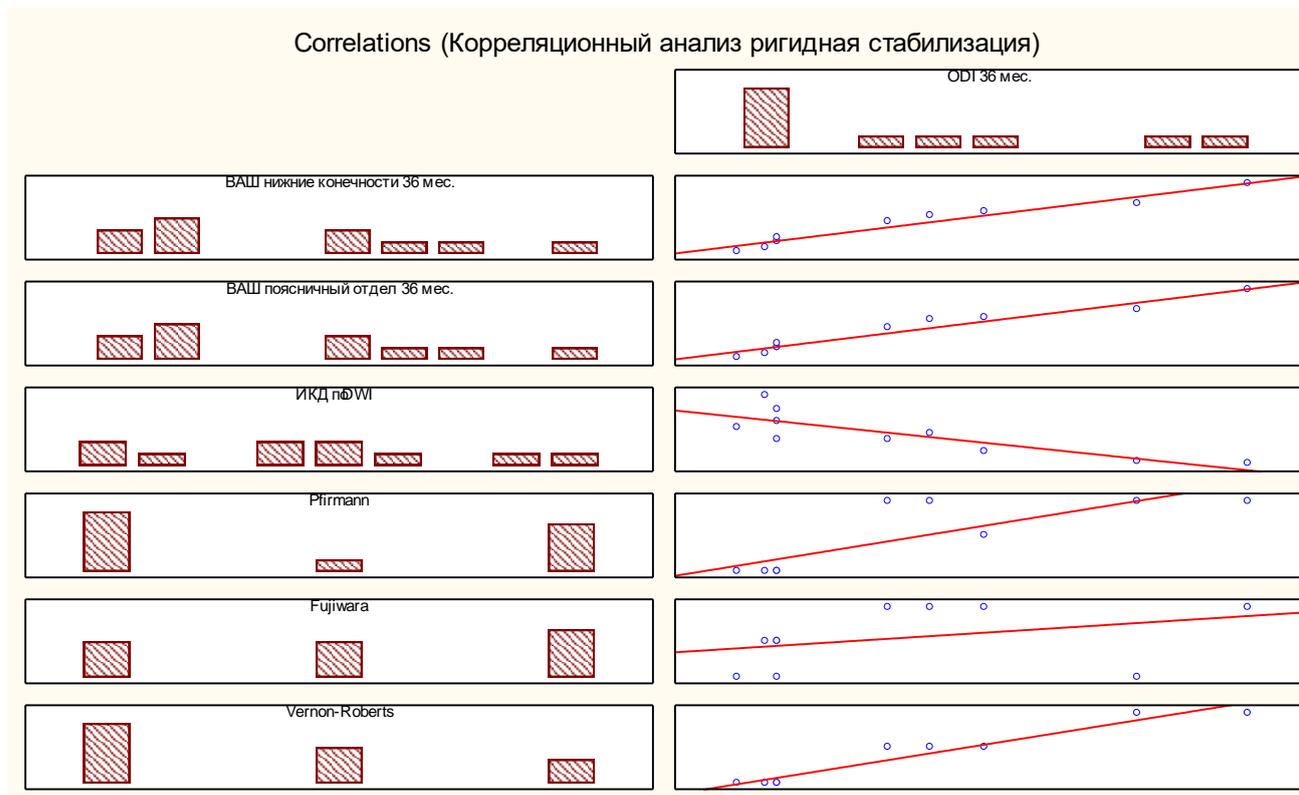


Рисунок 37 – Корреляция показателя функционального состояния по ODI с исследуемыми клиническими, инструментальными и морфологическими параметрами в группе пациентов после ригидной стабилизации

Получена значимая обратная корреляционная зависимость со степенью измеряемого коэффициента диффузии, непараметрическая положительная значимая корреляция с уровнем болевых ощущений по ВАШ, выраженностью дегенерации МПД по Vernon-Roberts В. и по Pfirmann С., при этом с уровнем дегенерации ДС по Fujiwara А. корреляции не выявлено (Таблица 13).

Таблица 13 – Корреляция показателя ODI в отдаленном периоде после операции и выраженности дегенерации ДС по Fujiwara А., МПД по Pfirmann С., Vernon-Roberts В. и ИКД по DWI

Показатель	Группа III (n=184)	
	R	p
ВАШ поясничный отдел 36 мес.	0,97	< 0,05
ВАШ нижние конечности 36 мес.	0,95	< 0,05
Pfirmann С.	0,81	< 0,05
Fujiwara А.	0,36	> 0,05
Vernon-Roberts В.	0,97	< 0,05
ИКД	-0,83	< 0,05

Примечание: R – показатель корреляции;

p – уровень статистической значимости

Учитывая наличие зависимости клинических исходов в катамнезе у всех исследуемых пациентов только с показателем ИКД, осуществлено изучение

корреляционной взаимосвязи данного показателя с исследуемыми инструментальными и морфологическими параметрами (Таблица 14).

Таблица 14 – Корреляция показателя ИКД по DWI с клиническими параметрами в отдаленном периоде после операции по ВАШ и ODI, выраженности дегенерации ДС по Fujiwara A., МПД по Pfirmann C. и Vernon-Roberts B.

Показатель	Группа I (n=352)		Группа II (n=83)		Группа III (n=184)	
	R	p	R	p	R	p
ВАШ поясничный отдел 36 мес.	-0,83	< 0,05	-0,85	< 0,05	-0,82	< 0,05
ВАШ нижние конечности 36 мес.	-0,81	< 0,05	-0,82	< 0,05	-0,81	< 0,05
ODI 36 мес.	-0,89	< 0,05	-0,78	< 0,05	-0,83	< 0,05
Pfirmann C.	-0,58	< 0,05	-0,50	< 0,05	-0,71	< 0,05
Fujiwara A.	-0,49	< 0,05	-0,59	< 0,05	-0,69	< 0,05
Vernon-Roberts B.	-0,92	< 0,05	-0,88	< 0,05	-0,84	< 0,05

*Примечание: R – показатель корреляции
p – уровень статистической значимости*

Таким образом, значение показателя ИКД, определяемое методом неинвазивной МРТ-диффузии, позволяет объективно оценить выраженность дегенерации МПД и ДС люмбо-сакрального перехода и предопределить индивидуальное использование хирургических технологий.

Для объективизации градации выраженности дегенерации ПДС на основе величины ИКД в дополнение к имеющимся классификациям во всех случаях при дегенеративном заболевании люмбо-сакрального перехода позвоночника применялся дискриминантный анализ. Была построена матрица классификации с применением программного обеспечения Statistica for Windows 8.1 (StatSoft inc.,

США) (Таблица 15), на основании которой получены выводы о достаточной эффективности линейной дискриминантной функции (ЛДФ) – выявлено высокое качество распознавания (90 % и более в каждой из групп), что подтверждает возможность реализации статистической модели (на основании математических расчетов в программе Statistica for Windows 8.1.) по предложенной классификации.

Таблица 15 – Матрица классификации на основе величины ИКД у оперированных пациентов как результат применения линейной дискриминантной функции (число и доля объектов исследования)

Группа (G)	Проценты	G 1:1	G 2:2	G 3:3	G 4:4	G 5:5
G 1:1	100,0000	129	0	0	0	0
G 2:2	90,0000	0	106	21	0	0
G 3:3	90,0000	0	21	109	0	4
G 4:4	100,0000	0	0	0	152	0
G 5:5	90,0000	0	0	4	0	73
Общее количество	94,0000	129	127	134	152	77

Таким образом, значение показателя ИКД, определяемое методом неинвазивной МРТ-диффузии, позволяет объективно оценить выраженность дегенерации МПД и ДС люмбо-сакрального перехода и предопределить индивидуальное использование хирургических технологий. На основании полученных данных разработан «Способ количественной оценки степени дегенеративного заболевания поясничных межпозвонковых дисков» (приоритетная справка № 2018113675/14(021470), Российская Федерация / В.А. Бывальцев, Ю.Я. Пестряков, И.А. Степанов; заявитель ФГБОУ ВО «ИГМУ» Минздрава России. – заявл. 13.04.2018.) и предложено выделение пяти степеней дегенерации МПД пояснично-крестцового перехода позвоночника с учетом ИКД по данным МРТ-ДВИ (Таблица 16).

Таблица 16 – Количественные характеристики степени дегенерации МПД люмбо- сакрального сегмента на основании исследования ИКД

Степень дегенерации	Значение ИКД		
	минимальное	максимальное	среднее
1	1656	1850	1730
2	1442	1654	1523,5
3	1253	1420	1332
4	1070	1205	1177,5
5	717	988	882,5

Учитывая недостаточную информативность современных способов диагностики степени дегенерации МПД по данным рутинных T1- и T2-взвешенных изображений МРТ за счет невозможности количественного определения степени дегенеративных изменений в диске и доли субъективизма в их интерпретации, использование диффузионно-взвешенной МРТ способно анализировать состояние структур МПД, мониторируя движение свободных молекул воды на клеточном уровне.

3.6 Разработка нового алгоритма дифференцированной хирургической тактики при оперативных вмешательствах у пациентов с дегенеративными заболеваниями пояснично-крестцового перехода позвоночника с применением индивидуального предоперационного клинико-инструментального подхода

Ведущими клиническими характеристиками, находящимися в прямой взаимосвязи с послеоперационным исходом, являются уровень болевых ощущений по ВАШ и функциональный статус по ODI. Осуществлен

корреляционный анализ вышеописанных клинических данных и инструментальных характеристик, описывающих состояние пояснично-крестцового перехода: величиной сегментарной амплитуды движения, значением параметра поясничного лордоза, величиной смещения позвонков, размером межтелового пространства, ИКД, дооперационной клинической симптоматикой.

Определена непараметрическая положительная значимая корреляционная зависимость клинического исхода по ВАШ и ODI после операции с вышеперечисленными инструментальными данными (Рисунок 38, Таблицы 17, 18), кроме дооперационной величины лордоза поясничного отдела.

Корреляционная взаимосвязь с отдаленным клиническим исходом

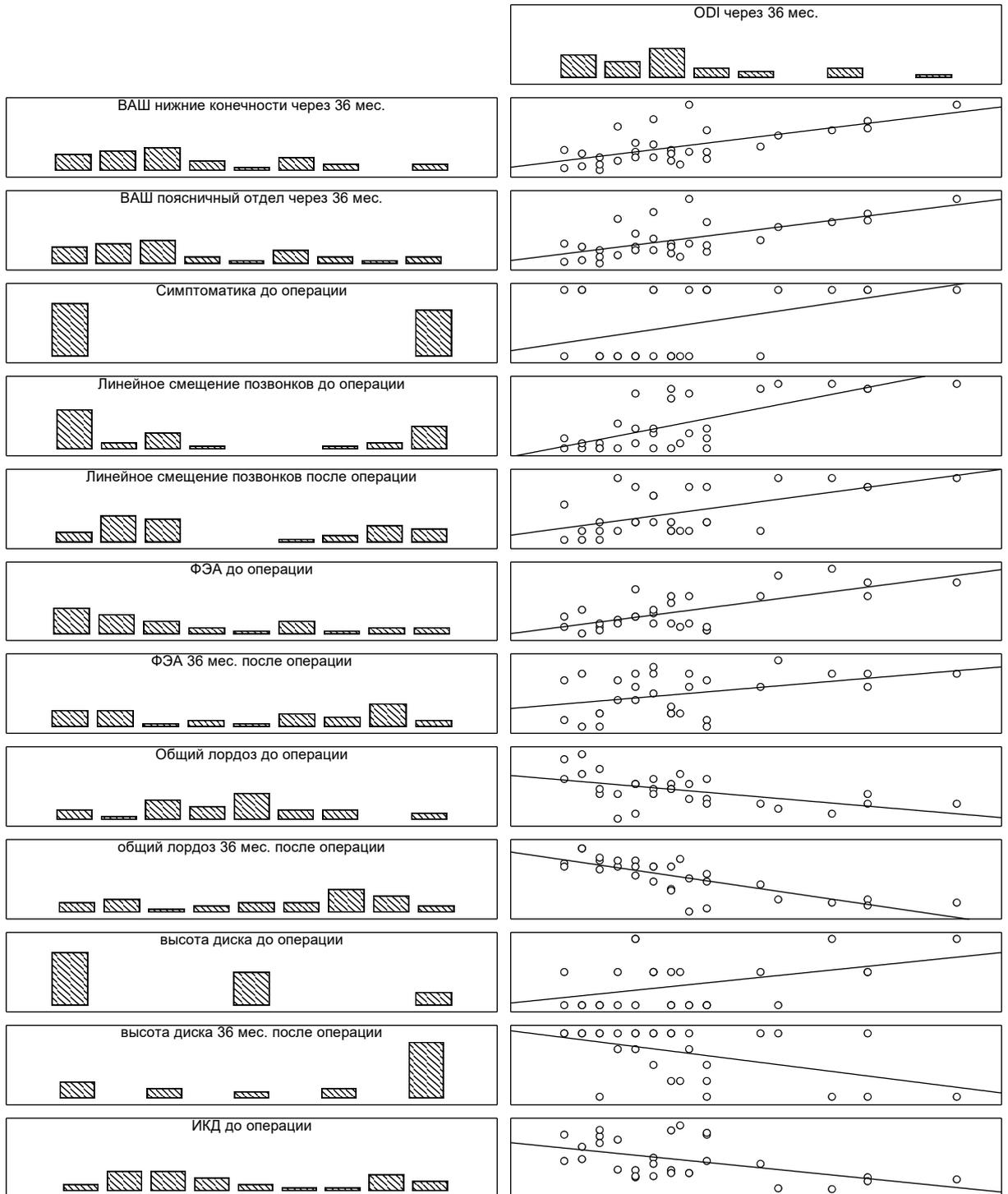


Рисунок 38 – Общая корреляционная зависимость отдаленного клинического результата после операции в ретроспективной группе исследования

Таблица 17 – Корреляция значений отдаленного послеоперационного функционального статуса по ODI и исследуемых характеристик люмбо-сакрального сегмента

Показатель	Группа I (n=352)		Группа II (n=83)		Группа III (n=184)	
	R	p	R	p	R	p
Симптоматика до операции	0,94	< 0,05	0,90	< 0,05	0,87	< 0,05
ЛС до операции	0,73	< 0,05	0,84	< 0,05	0,71	< 0,05
ЛС после операции	0,52	< 0,05	0,66	< 0,05	0,82	< 0,05
ФЭА до операции	0,64	< 0,05	0,59	< 0,05	0,51	< 0,05
ФЭА после операции	0,84	< 0,05	0,77	< 0,05	0,70	< 0,05
Общий лордоз до операции	-0,46	< 0,05	-0,74	< 0,05	-0,69	< 0,05
Общий лордоз после операции	-0,86	< 0,05	-0,91	< 0,05	-0,81	< 0,05
Высота диска до операции	0,75	< 0,05	0,73	< 0,05	0,74	< 0,05
Высота диска после операции	-0,81	< 0,05	-0,88	< 0,05	-0,73	< 0,05
ИКД	-0,82	< 0,05	-0,88	< 0,05	-0,70	< 0,05

Примечание: p – уровень статистической значимости;

R – коэффициент корреляции Спирмена;

ЛС – линейное смещение в позвоночном сегменте;

ФЭА – сегментарная флексионно-экстензионная амплитуда; ИКД – измеряемый коэффициент диффузии

Таблица 18 – Корреляция степени выраженности отдаленных послеоперационных болевых ощущений по ВАШ и исследуемых характеристик люмбо-сакрального сегмента

Показатель	Группа I (n=352)		Группа II (n=83)		Группа III (n=184)	
	R	p	R	p	R	p
Симптоматика до операции	0,69	< 0,05	0,72	< 0,05	0,89	< 0,05
ЛС до операции	0,75	< 0,05	0,86	< 0,05	0,68	< 0,05
ЛС после операции	0,87	< 0,05	0,84	< 0,05	0,86	< 0,05
ФЭА до операции	0,43	> 0,05	0,76	< 0,05	0,51	< 0,05
ФЭА после операции	0,81	< 0,05	0,84	< 0,05	0,67	< 0,05
Общий лордоз до операции	-0,58	> 0,05	-0,21	< 0,05	-0,62	< 0,05
Общий лордоз после операции	-0,55	> 0,05	-0,57	< 0,05	-0,80	< 0,05
Высота диска до операции	0,53	< 0,05	0,67	< 0,05	0,69	< 0,05
Высота диска после операции	-0,80	< 0,05	-0,65	< 0,05	-0,78	< 0,05
ИКД	-0,84	< 0,05	-0,81	< 0,05	-0,82	< 0,05

Примечание: p – уровень статистической значимости;

R – коэффициент корреляции Спирмена;

ЛС – линейное смещение в позвоночном сегменте;

ФЭА – сегментарная флексионно-экстензионная амплитуда;

ИКД – измеряемый коэффициент диффузии

Для детализации степени взаимного влияния исследуемых клинико-инструментальных параметров на отдаленный клинический исход, а также для изучения возможности улучшения лечебно-диагностических подходов в группе пациентов с дегенеративными заболеваниями пояснично-крестцового перехода позвоночника выделены следующие результаты:

- «хороший», характеризующийся абсолютным или практически полноценным восстановлением исходного физического статуса и степени социального участия (вероятны незначительные ограничения физической активности);

- «неудовлетворительный», при котором уровень физического и социального статуса не восстановлен полноценно, возможно отсутствие положительной динамики после операции или наличие ухудшения клинических проявлений.

Сравнение клинико-инструментальных параметров у исследуемых пациентов отражено в таблице 19.

Во всех случаях при наличии дегенерации в области пояснично-крестцового перехода зарегистрировано дооперационное уплощение поясничного лордоза (менее 35°), при этом корреляционная взаимосвязь указанного параметра с клиническим исходом в отдаленном послеоперационном периоде отсутствовала: по ВАШ ($R = -0,15; p > 0,05$) и ODI ($R = -0,08; p > 0,05$).

Таблица 19 – Внутригрупповое сравнение клинических параметров с учетом полученного послеоперационного результата

Показатель	Группа I (n=352)		p	Группа II (n=83)		p	Группа III (n=184)		p
	«хорошие» исходы (n=298)	«неудовлетво рительные» исходы (n=64)		«хорошие» исходы (n=79)	«неудовлетво рительные» исходы (n=4)		«хорошие» исходы (n=101)	«неудовлетво рительные» исходы (n=83)	
ODI 36 мес.	12 (10;16)	26 (20;28)	<0,01	8 (6;10)	12 (10;14)	<0,01	14 (12;18)	30 (24;36)	<0,01
ВАШ поясничный отдел 36 мес.	11,5 (9;13)	22,5 (19;30)	<0,01	6 (4;8)	13 (10;18)	<0,01	12 (10;16)	32 (20;34)	<0,01
ВАШ нижние конечности 36 мес.	6,5 (4;9)	25,5 (18;35)	<0,01	2 (2;4)	10 (6;16)	<0,01	10 (6;12)	28 (20;36)	<0,01
ЛС до операции	2 (1;2)	4 (3;6)	<0,01	2 (1;4)	6 (5;7)	<0,01	7 (4;11)	3 (2;3)	<0,01
ЛС после операции	2 (1;3)	7 (6;8)	<0,01	1 (1;2)	2 (1;2)	>0,05	2 (1;3)	5 (4;7)	<0,01
ФЭА до операции	4 (3;5)	6 (6;7)	<0,01	4 (3;5)	7 (6;11)	<0,01	7 (6;7)	3 (2;3)	<0,01
ФЭА после операции	3 (3;4)	8 (6;8)	<0,01	4 (4;5)	3 (3;5)	>0,05	4 (2;6)	3 (3;4)	>0,05
Общий лордоз до операции	32 (28;34)	30 (26;32)	>0,05	30 (28;36)	30 (26;38)	>0,05	32 (28;36)	32 (23;38)	>0,05
Общий лордоз после операции	34 (26;36)	28 (24;34)	>0,05	54 (48;64)	34 (32;36)	<0,01	52 (44;66)	37 (32;38)	<0,01
Высота диска до операции	12 (11;14)	8 (7;10)	<0,01	10 (9;13)	6 (5;9)	<0,01	6 (5;8)	10 (9;12)	<0,01

Высота диска после операции	10 (10;12)	6 (5;7)	<0,01	12 (10;12)	10 (10;12)	>0,05	12 (10;14)	11 (10;13)	>0,05
ИКД	1720 (1600;1830)	1300 (1190;1480)	<0,01	1540 (1280;1760)	1050 (800;1150)	<0,01	1180 (980;1230)	1320 (1240;1520)	<0,01

Примечание: p – уровень статистической значимости

Проведенный анализ показал, что:

- у пациентов, оперированных с использованием методики микрохирургического удаления грыжи МПД, ассоциация «хороших» результатов происходит при дооперационных параметрах люмбо-сакрального перехода (ЛС): линейной трансляции не более 2 мм, величине сагиттальной ангуляции – не более 6° , снижении размера межтелового пространства не более $1/3$ от вышележащего, I и II степени дегенерации МПД по ИКД;

- у пациентов, оперированных с использованием методики динамической фиксации, ассоциация «хороших» результатов происходит при дооперационных параметрах люмбо-сакрального перехода (ЛС): линейной трансляции не более 4 мм, величине сагиттальной ангуляции – не более 6° , снижении размера межтелового пространства не более $2/3$ от вышележащего, II–IV степени дегенерации МПД по ИКД;

- у пациентов, оперированных с использованием методики ригидной стабилизации, ассоциация «хороших» результатов происходит при дооперационных параметрах люмбо-сакрального перехода (ЛС): линейной трансляции не менее 4 мм, величине сагиттальной ангуляции – не менее 6° , снижении размера межтелового пространства более $2/3$ от вышележащего, IV–V степени дегенерации МПД по ИКД.

Таким образом, выполнение динамической фиксации возможно при большем спектре анатомо-морфологических изменений в МПД и ДС люмбо-сакрального перехода позвоночника (Рисунок 39). Также отмечено, что в зоне пересечения хирургических методик результаты использования тотальной артропластики имеют лучшие клинико-инструментальные показатели.

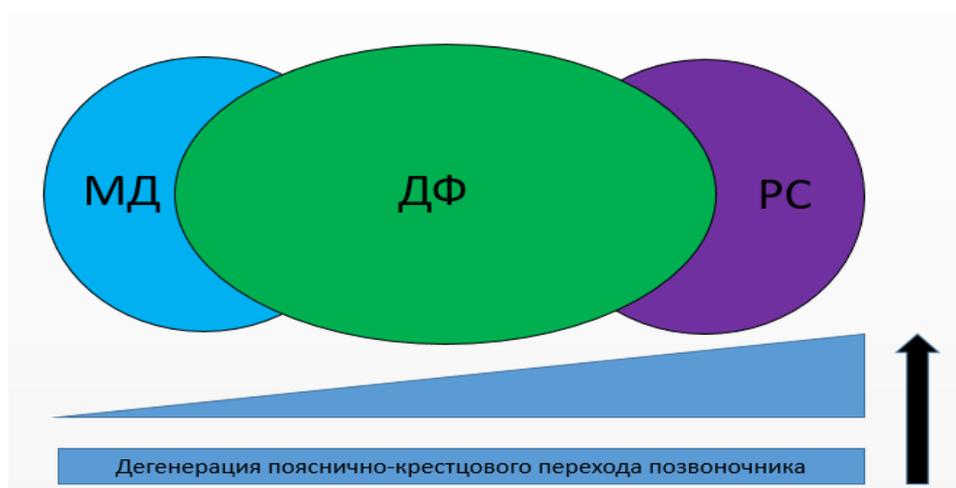


Рисунок 39 – Схематическое изображение возможностей различных хирургических технологий при заболеваниях пояснично-крестцового перехода позвоночника дегенеративного генеза: МД – микродискэктомия; ДФ – динамическая фиксация; РС – ригидная стабилизация

Для улучшения послеоперационных исходов у пациентов с заболеваниями пояснично-крестцового перехода позвоночника дегенеративного генеза, а также устранения рисков развития осложнений сформулирован новый алгоритм дифференцированной хирургической тактики при оперативных вмешательствах у пациентов с дегенеративными заболеваниями пояснично-крестцового перехода позвоночника с применением индивидуального предоперационного клинико-инструментального подхода (Рисунок 40).

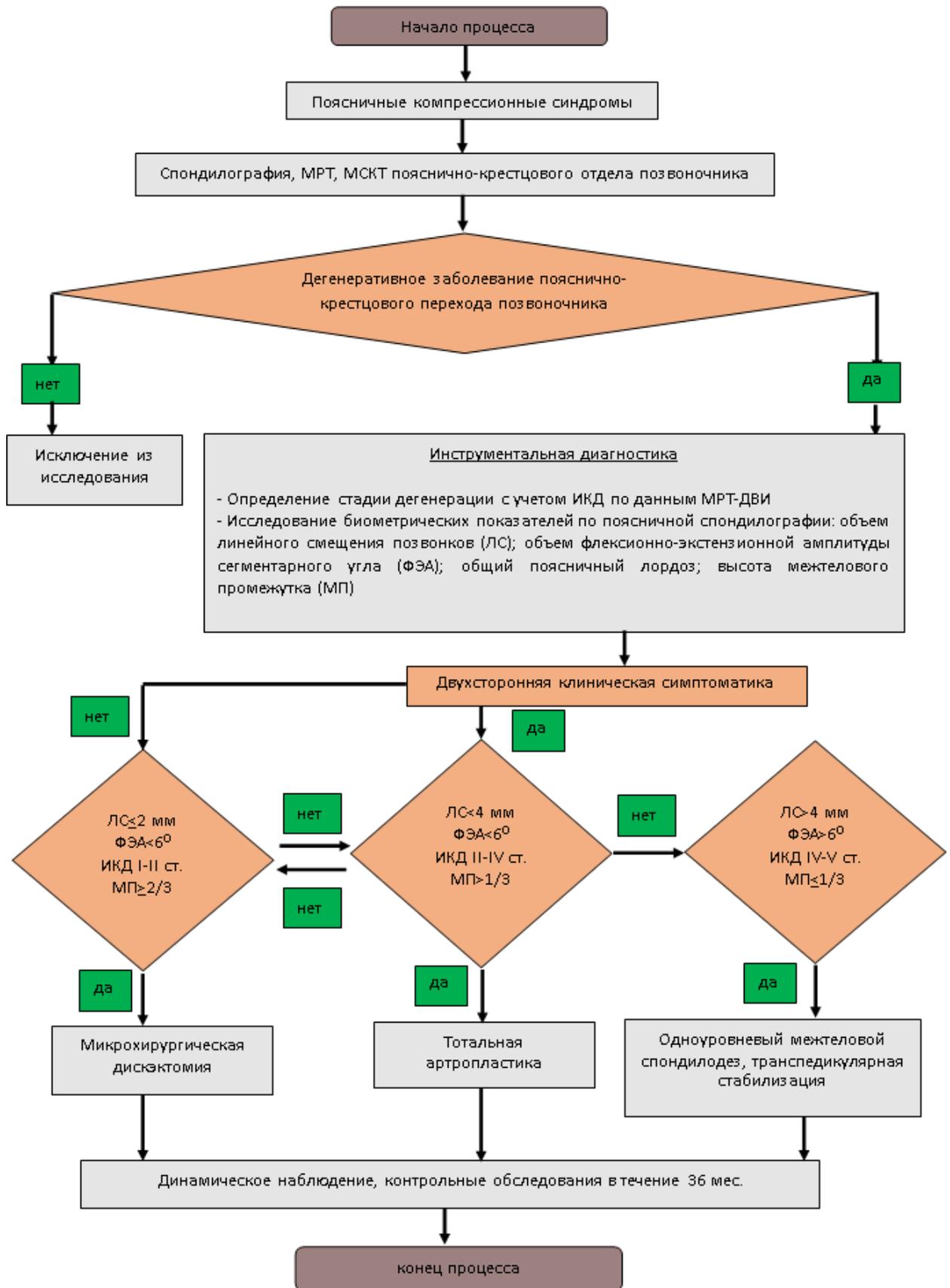


Рисунок 40 – Новый алгоритм дифференцированной хирургической тактики при оперативных вмешательствах у пациентов с дегенеративными заболеваниями

пояснично-крестцового перехода позвоночника с применением индивидуального предоперационного клинко-инструментального подхода

Определение прогностических факторов и взаимосвязи клинических результатов после операции в катамнезе и дооперационных морфо-структурных изменений в поясничных сегментах на сегодняшний день является актуальным. Таким образом, произведенный ретроспективный детальный клинко-инструментальный комплексный предоперационный анализ направлен на улучшение отдаленных клинко-инструментальных исходов при различной выраженности дегенерации люмбо-сакрального перехода, выбор оптимального способа хирургической коррекции и на предупреждение наиболее часто встречающихся осложнений.

Резюме: Всем пациентам, имеющим заболевание пояснично-крестцового перехода дегенеративного генеза, показано проведение комплекса диагностических мероприятий, включающего поясничную спондилографию, МРТ в T1, T2 и ДВИ-режимах для полноценного изучения морфоструктурных изменений в МПД и ДС.

Применение неинвазивного метода диагностики МРТ–ДВИ и разработанный «Способ количественной оценки степени дегенеративного заболевания поясничных межпозвонковых дисков» позволили классифицировать выраженность дегенерации люмбо-сакрального сегмента позвоночника, объективизировать степень структурных изменений МПД и ДС, а также предопределить необходимый объем хирургического вмешательства.

При наличии односторонней корешковой клинической симптоматики, объективных нейровизуализационных параметров (I–II степень дегенерации по ИКД) и рентгенологических данных (линейное смещение в позвоночном сегменте – не более 2 мм, сегментарная флексионно-экстензионная амплитуда – не более 6^0 , уменьшение размера межтелового пространства не более $1/3$ от вышележащего) возможно проведение микрохирургической дискэктомии.

При выявлении двухсторонней корешковой клинической симптоматики, нейровизуализационных данных (II–IV степень дегенерации по ИКД) и рентгенологических параметров (линейное смещение в позвоночном сегменте – не более 4 мм, сегментарная флексионно-экстензионная амплитуда – не более 6^0 ,

уменьшение размера межтелового пространства не более $2/3$ от вышележащего) возможным является выполнение тотальной артропластики.

В случае верификации двухсторонних корешковых клинических проявлений, нейровизуализационных данных (IV–V степень дегенерации по ИКД) и рентгенологических данных (линейное смещение в позвоночном сегменте – более 4 мм, сегментарная флексионно-экстензионная амплитуда – более 6^0 , уменьшение размера межтелового пространства более $2/3$ от вышележащего) показано проведение задней ригидной стабилизации с межтеловым спондилодезом.

При этом установка искусственного МПД может быть осуществлена в большем диапазоне дегенеративных заболеваний пояснично-крестцового перехода позвоночника, обеспечивая меньшие риски развития неблагоприятных клинико-инструментальных исходов.

ГЛАВА 4 РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОСПЕКТИВНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В связи с высокими рисками формирования неблагоприятных последствий хирургических вмешательств в области люмбо-сакрального перехода позвоночника и необходимостью в обоснованной лечебной тактике у пациентов с заболеваниями дегенеративного генеза при выполнении тотальной артропластики МПД исследовано 103 случая с одноуровневой дегенерацией люмбо-сакрального перехода, прооперированных с учетом новых лечебно-диагностических подходов в нейро-вертебрологических подразделениях ГБУЗ «Краевая клиническая больница» г. Красноярск, НУЗ «Дорожная клиническая больница на ст. Иркутск-Пассажирский ОАО «РЖД», ФГКУ «1477 Военно-морской клинический госпиталь» МО РФ г. Владивостока в течение 2013–2016 гг.

У 156 из 5924 оперированных лиц с дегенеративной патологией поясничных сегментов на базе трех нейрохирургических подразделений г. Красноярск, г. Иркутск и г. Владивостока в течение 2013–2016 гг. была выполнена одноуровневая дискэктомия из переднего ретроперитонеального доступа с имплантацией искусственного протеза МПД. В 103 случаях из 156 хирургические вмешательства выполнялись в области люмбо-сакрального перехода позвоночника. У этих пациентов применялся разработанный «Способ профилактики инфекционных осложнений при оперативных вмешательствах на позвоночнике в раннем послеоперационном периоде» – протокол «СПИНА» (приоритетная справка № 2018105422/14(008306), Российская Федерация / В.А. Бывальцев, А.А. Калинин, Е.Г. Белых, И.А. Степанов, В.В. Шепелев, В.Ю. Голобородько, В.Э. Борисов, А.О. Асанцев, А.К. Оконешникова, Ю.Я. Пестряков; заявитель ФГБОУ ВО «ИГМУ» Минздрава России. – заявл. 13.02.2018.).

4.1 Способ профилактики инфекционных осложнений при оперативных вмешательствах на позвоночнике в раннем послеоперационном периоде

Учитывая высокую частоту выявления в группе пациентов ретроспективного исследования инфицирования послеоперационной раны, что, вероятнее всего, связано с длинным рабочим каналом (глубина раны более 30 см) и необходимостью использования большого количества специализированного инструментария, для уменьшения частоты формирования ИОХВ, рисков длительного заживления раны и выраженности боли у пациентов после хирургических вмешательств на поясничных сегментах разработан и включен в клиническую практику «Способ профилактики инфекционных осложнений при оперативных вмешательствах на позвоночнике в раннем послеоперационном периоде» (приоритетная справка № 2018105422/14(008306), Российская Федерация / В.А. Бывальцев, А.А. Калинин, Е.Г. Белых, И.А. Степанов, В.В. Шепелев, В.Ю. Голобородько, В.Э. Борисов, А.О. Асанцев, А.К. Оконешникова, Ю.Я. Пестряков; заявитель ФГБОУ ВО «ИГМУ» Минздрава России. – заявл. 13.02.2018.) – комплексный протокол «Современная профилактика инфекций, несостоятельности швов и аналгезия» – «СПИНА».

Комплексный протокол «СПИНА» направлен на снижение количества случаев развития интра- и послеоперационных неблагоприятных последствий и заключается в локальном применении антибактериального препарата; инфильтрации мягких тканей анестетиками.

Контроль рисков ИОХВ до операции

Удаление волосяного покрова в области операции. Волосы в проекции хирургического доступа брили в день вмешательства (при этом отступали по 10 см от края ориентировочного доступа с каждой стороны) с применением электрической бритвы или депиляционных средств (не применяя острые бритвенные станки).

Антибиотикопрофилактика. Используемый способ включал специфические подходы к антибиотикопрофилактике. Начальное введение антибиотиков производилось обязательно за 60 минут до предполагаемого

разреза. Стандартно назначался «Цефотаксим» 1 г в/в. При длительности операции более 5 часов вводилась повторная доза антибиотика. В послеоперационном периоде инфузия антибиотика продолжалась каждые 6 часов в течение 1–2 суток в зависимости от объема оперативного вмешательства. В качестве антибиотикопрофилактики при обширных вмешательствах в ряде случаев назначался «Цефтриаксон» 2 г 2 раза в сутки в/м в сочетании с «Метронидазолом» 500 мг 3 раза в сутки *per os* до 5 суток. При повреждении твердой мозговой оболочки выполнялись назначения «Меронем» 1 г в/в 3 раза в сутки до 7 суток.

Контроль рисков ИОХВ во время операции

Послабление ранорасширителя. В течение хирургического вмешательства производили послабление ранорасширителя на 5 минут через каждые 120 минут.

Нормотермия. Во время операции следили за поддержанием нормотермии пациента путем постоянной термометрии.

Локальное применение антибиотика. Наружные и внутренние отделы хирургической раны обрабатывали 1 г «Ванкомицина».

Использование пролонгированных анестетиков перед закрытием операционной раны

Перед закрытием операционной раны осуществляли инъекции пролонгированных анестетиков в мягкие ткани, окружающие доступ 0,25–0,5 % раствором «Бупивакаина» с «Эпинефрином» 1:200 000 объемом 10–20 мл.

Применяемый протокол «СПИНА» направлен на управление степени выраженности болевых ощущений после операции и профилактику формирования инфекционных осложнений в послеоперационном периоде для улучшения исходов оперативных вмешательств.

4.2 Общие данные об исследуемых пациентах проспективной группы

Общая характеристика пациентов исследуемой группы по полу, возрасту и конституциональным особенностям представлена в таблице 20. При изучении данных установлено, что среди оперированных пациентов преобладали лица мужского пола молодой и средней возрастной группы (25–50 лет).

Таблица 20 – Исходные характеристики пациентов исследуемой группы

Критерии	Проспективная группа ($n=103$)
Возраст (годы)	30 (25;36)
Мужской пол (n, %)	71 (69 %)
Индекс массы тела (кг/м ²)	23,1 (22,3;25,9)

Сведения о неврологической симптоматике до и после проведения оперативного лечения при дегенеративных заболеваниях пояснично-крестцового перехода позвоночника отражены в таблице 21.

Таблица 21 – Динамическая оценка неврологических проявлений в исследуемой группе пациентов

Симптом	Признак	Проспективная группа ($n=103$)	
		До операции	После операции
Рефлекс с ахиллова сухожилия	Не изменен	31 (30 %)	53 (51 %)
	Снижен	69 (67 %)	47 (45 %)
	Отсутствует	3 (3 %)	3 (3 %)
Чувствительность	Не изменена	27 (26 %)	37 (36 %)

	Снижена	74 (72 %)	64 (62 %)
	Отсутствует	2 (2 %)	2 (2 %)
Симптоматика	Односторонняя	68 (66 %)	2 (2 %)
	Двухсторонняя	35 (34 %)	4 (4 %)
Сила в мышцах стопы	Не изменена	95 (92 %)	101 (98 %)
	Снижена	8 (8 %)	2 (2 %)
Синдром псевдоклаудикации		–	–
Газовые расстройства		–	–

При анализе установлен значимый регресс исходной корешковой компрессионной неврологической симптоматики после проведения хирургического лечения в исследуемой группе пациентов.

Регистрируемая некомпрессионная клиническая симптоматика представлена в таблице 22. Выявлено устранение рефлекторных болевых синдромов после операции в подавляющем большинстве случаев.

Таблица 22 – Динамическая оценка некомпрессионных клинических проявлений в исследуемой группе пациентов

Симптомы	Перспективная группа (<i>n</i> =103)	
	До операции	После операции
Местные болевые	42 (41 %)	–
Отраженные болевые	19 (18 %)	2 (2 %)
Миодистонические	5 (5 %)	1 (1 %)
Миосклеротомные или дистрофические	1 (1 %)	1 (1 %)

4.3 Анализ морфологических и дооперационных инструментальных данных пациентов исследуемой проспективной группы

При предоперационном планировании исключалось наличие аномалий

люмбо-сакрального перехода, во всех случаях манипуляции осуществлялись на МПД L_V-S_I.

По данным МРТ выявлялись дегенеративные изменения МПД и ДС, преимущественно без значимых дегенеративно-дистрофических изменений, согласно разработанным новым тактико-хирургическим подходам у пациентов с дегенеративными заболеваниями пояснично-крестцового перехода позвоночника (Таблица 23).

Сводные данные об инструментальных и морфологических характеристиках дегенеративных изменений люмбо-сакральных сегментов представлены в таблице 24.

Таблица 23 – Вид дегенеративных изменений переднего и заднего опорных комплексов по результатам МРТ у пациентов исследуемой группы

Вид патологии	Морфологический признак	Перспективная группа (n=103)
Дегенерация МПД	Протрузия	54 (52 %)
	Экструзия	37 (36 %)
	Секвестрация	12 (11,5 %)
	Ретролистез	–
Степень дегенерации по ИКД	I степень	–
	II степень	39 (38 %)
	III степень	51 (49 %)
	IV степень	13 (12,5 %)
	V степень	–
Дегенерация ДС	Спондилоартроз без стеноза позвоночного канала	22 (21 %)
	Спондилоартроз со стенозом позвоночного канала	–
	спондилолистез I ст.	–

Таблица 24 – Морфологические и нейровизуализационные данные пациентов исследуемых групп

Критерии		Проспективная группа (<i>n</i> =103)
Pfirmann С., 2001	I степень	32 (31 %)
	II степень	47 (45,5 %)
	III степень	24 (23,5 %)
	IV степень	–
	V степень	–
Fujiwara А., 2000	I степень	47 (45,5 %)
	II степень	56 (54,5 %)
	III степень	–
	IV степень	–
Vernon-Roberts В., 1987	I степень	34 (33 %)
	II степень	69 (67 %)
	III степень	–
	IV степень	–

При анализе установлено, что в проспективной группе, с учетом разработанных новых тактико-хирургических подходов, выявлялись дегенеративные поражения элементов МПД и ДС минимальной и средней степени выраженности.

4.4 Анализ интраоперационных характеристик хирургических вмешательств и специфичности послеоперационного периода

Сводные данные о длительности вмешательства, размере кровопотери, величине кожного разреза, времени вертикализации и продолжительности стационарного лечения отражены в таблице 25.

Таблица 25 – Интраоперационные характеристики проведенных хирургических вмешательств и специфичность ведения пациентов после оперативных вмешательств на люмбо-сакральном переходе позвоночника

Критерии	Ретроспективная группа (n=83)	Проспективная группа (n=103)	p
Время операции (мин)	135 (115;140)	130 (120;135)	0,22
Размер кровопотери (мл)	100 (85;135)	95 (80;130)	0,18
Величина разреза (мм)	65 (60;80)	60 (60;75)	0,74
Время вертикализации (сут)	1 (1;2)	1 (1;2)	0,82
Продолжительность стационарного лечения (сут)	8 (8;10)	7 (7;9)	0,36

Примечание: p – уровень статистической значимости

При сравнении анализируемых групп установлено, что по интраоперационным параметрам вмешательств и особенностям течения послеоперационного периода пациенты были сопоставимы ($p > 0,05$).

При анализе наиболее часто учитываемых параметров инвазивности хирургического вмешательства (времени операции и объема кровопотери) полученные в ходе исследования значения соответствовали литературным данным – $102,4 \pm 45,8$ мин и в среднем 232,3 мл соответственно [1]; $79,4 \pm 30,6$ мин и в среднем 180,3 мл соответственно [328].

4.5 Характеристика послеоперационных клинических исходов

При анализе степени выраженности болевых ощущений в поясничном отделе и нижних конечностях в динамике выявлено значимое уменьшение показателя по ВАШ в течение всего периода наблюдения, достигающее минимальных значений к 36 месяцам (Рисунок 41, 42).

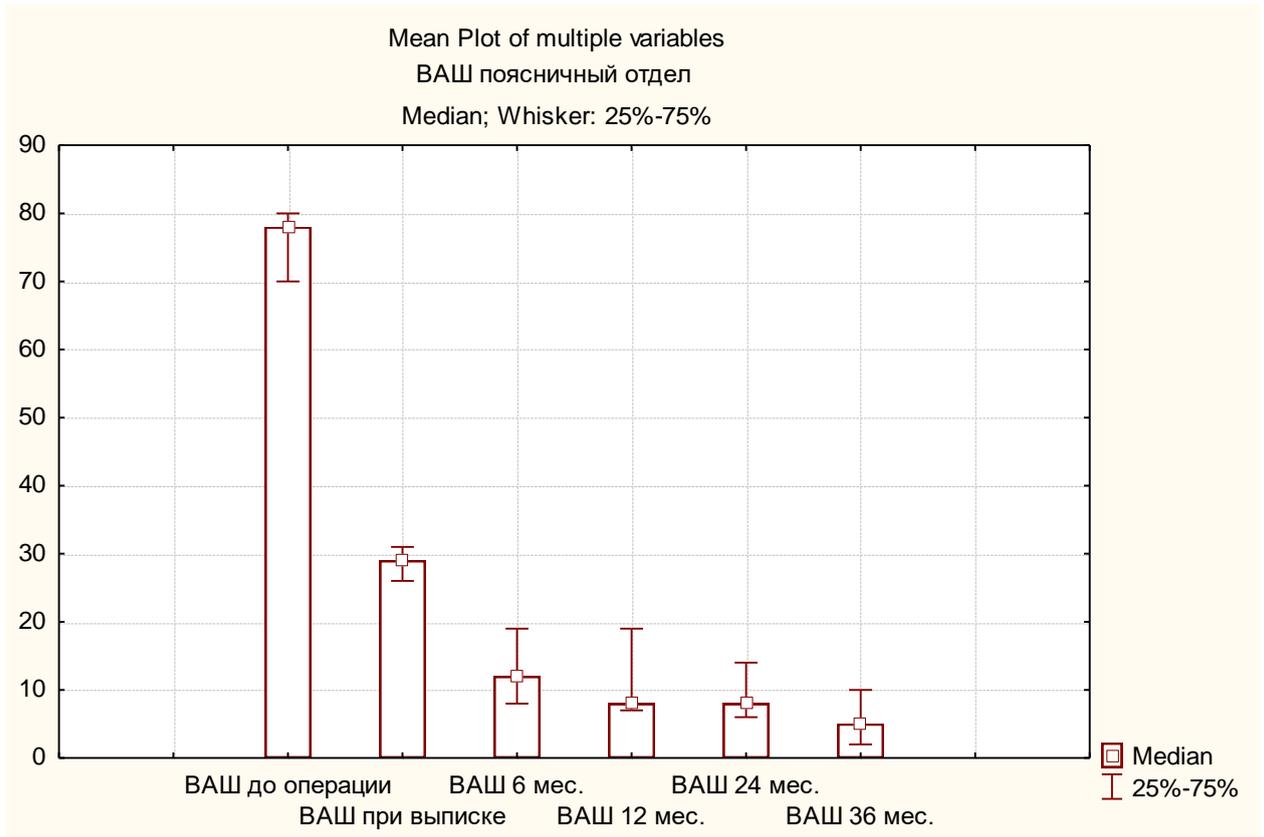


Рисунок 41 – Оценка степени болевых ощущений по ВАШ в поясничном отделе позвоночника: до операции, при выписке, спустя 6, 12, 24 и 36 месяцев после

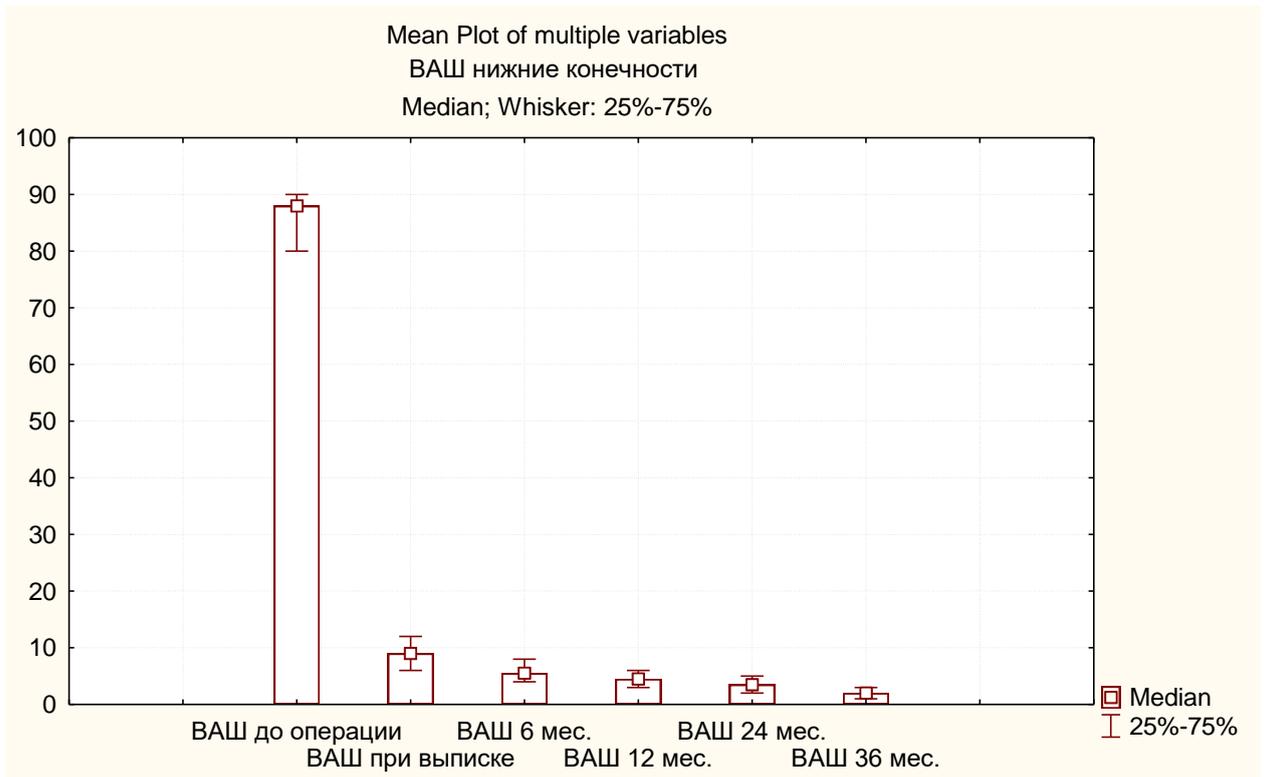


Рисунок 42 – Оценка степени болевых ощущений по ВАШ в нижних конечностях: до операции, при выписке, спустя 6, 12, 24 и 36 месяцев после операции

Сравнение степени болевых ощущений в поясничном отделе позвоночника и нижних конечностях в отдаленном периоде после операции показало статистически значимо меньшую её выраженность у пациентов с имплантацией искусственного МПД в проспективной группе, оперированных с учетом нового алгоритма дифференцированной хирургической тактики и протокола «СПИНА» ($p < 0,05$) (Таблица 26).

Таблица 26 – Межгрупповой анализ результатов хирургического лечения по ВАШ через 36 месяцев

Признак	Ретроспективная группа ($n=83$)	Проспективная группа ($n=103$)	p
ВАШ поясничный отдел, мм	10,5 (6;14)	5 (2;10)	0,03

ВАШ, нижние конечности, мм	8 (4;12)	2 (1;3)	0,001
----------------------------	----------	---------	-------

Примечание: p – уровень статистической значимости

При исследовании функционального статуса оперированных пациентов выявлено значительное улучшение показателя ODI на момент выписки, а также в отмеченные протоколом исследования временные промежутки (Рисунок 43).

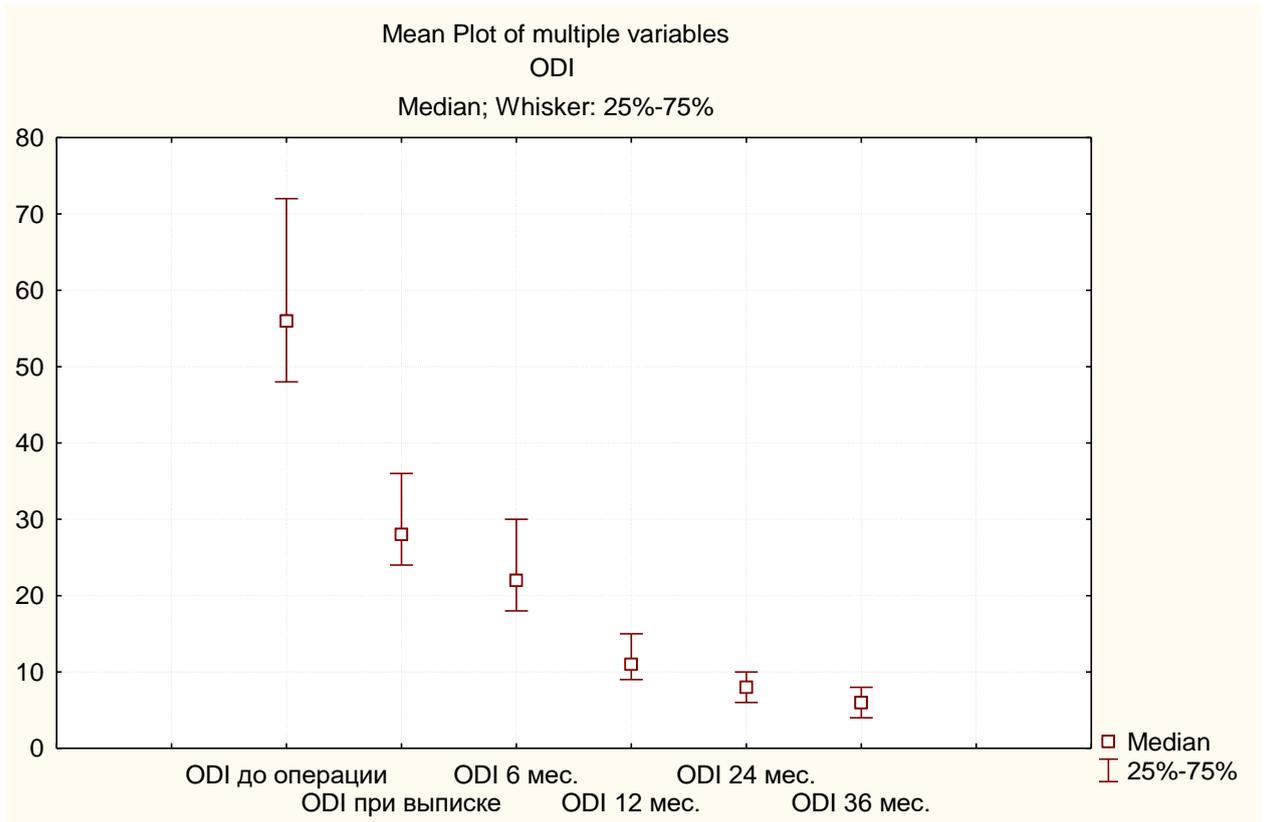


Рисунок 43 – Изменение индекса ODI у пациентов проспективной группы: до операции, при выписке, спустя 6, 12, 24 и 36 месяцев после операции

При сравнении функционального статуса по ODI через 36 месяцев после хирургического лечения между исследуемыми группами установлены лучшие параметры после имплантации искусственного МПД в проспективной группе пациентов, оперированных с учетом нового алгоритма дифференцированной хирургической тактики и протокола «СПИНА» ($p < 0,05$) (Таблица 27).

Таблица 27 – Межгрупповое сравнение клинических послеоперационных исходов по ODI

Признак	Ретроспективная группа (n=84)	Проспективная группа (n=103)	p
ODI, баллы	10 (8;14)	6 (4;8)	0,02

Примечание: p – уровень статистической значимости

При анализе результатов удовлетворенности пациентов операцией по шкале Маснав у большинства пациентов верифицированы отличные и хорошие исходы при динамическом наблюдении в отмеченные протоколом исследования временные промежутки (Рисунок 44).

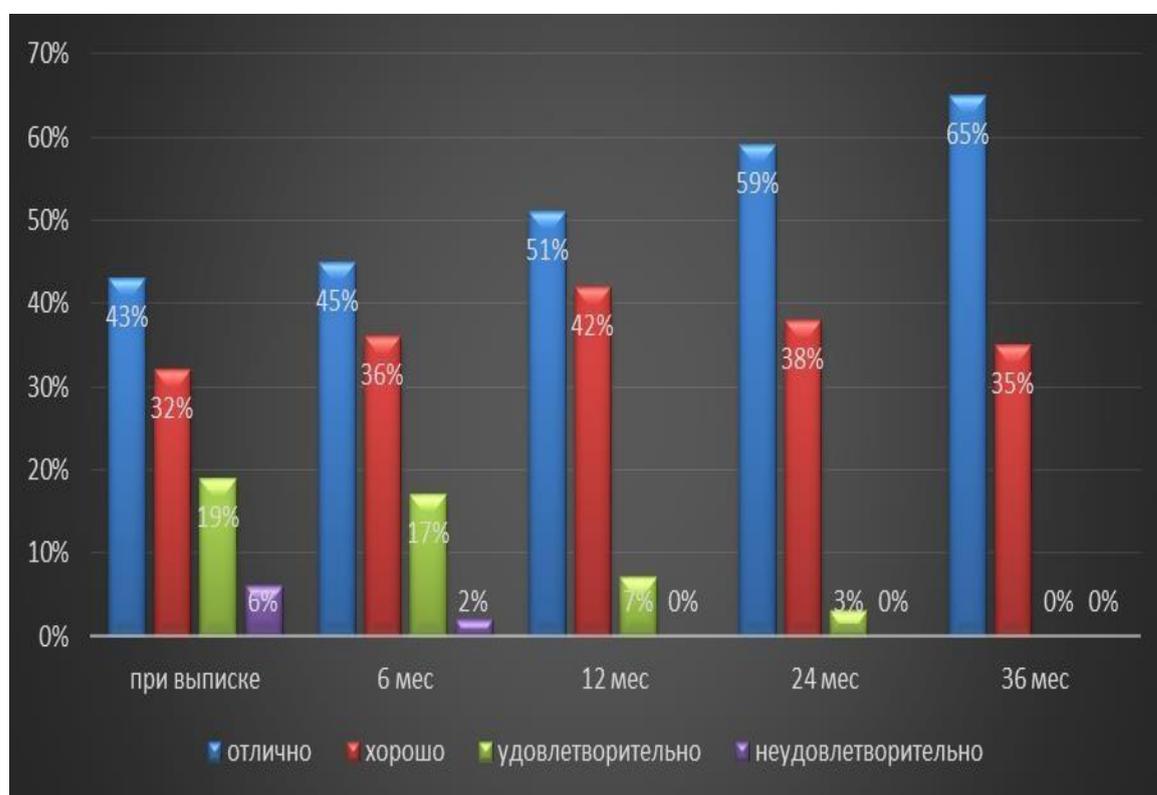


Рисунок 44 – Изменение результата удовлетворенности пациента проведенным вмешательством в проспективной группе: при выписке, спустя 6, 12, 24 и 36 месяцев после операции

При сравнении степени удовлетворенности пациента проведенным вмешательством по шкале Маснав через 36 месяцев установлены лучшие

параметры после операции с имплантацией искусственного МПД в проспективной группе пациентов, оперированных с учетом нового алгоритма дифференцированной хирургической тактики и протокола «СПИНА» ($p < 0,05$) (Таблица 28).

Таблица 28 – Межгрупповое сравнение послеоперационных исходов по шкале Masnab в отдаленном периоде

Признак	Ретроспективная группа ($n=84$)	Проспективная группа ($n=103$)	p
Отлично	42 (50 %)	67 (65 %)	0,01
Хорошо	36 (43 %)	36 (35 %)	
Удовлетворительно	6 (7 %)	-	
Неудовлетворительно	-	-	

Примечание: p – уровень статистической значимости

В современной специализированной литературе представлена информация о положительных клинических исходах после имплантации различных конструкций искусственных МПД: улучшение результатов по ВАШ в среднем с $8,24 \pm 1,09$ см до $0,84 \pm 0,69$ см [266], с $7,0 \pm 2,0$ см до $2,5 \pm 2,6$ см [307]; улучшение функционального статуса по ODI в среднем с 62 до 12 [313], с 48 до 21,1 [120]. Принципиальных отличий в клинических результатах не выявлено.

4.6 Исследование неблагоприятных результатов хирургического лечения в проспективной группе исследования

Регистрируемые неблагоприятные осложнения в проспективной группе исследования, как и в ретроспективной, разделены на интраоперационные, общехирургические и специфичные, зависящие от самого дегенеративного заболевания и проведенной операции. Результаты отражены в таблице 29.

В группе пациентов проспективного исследования выявлены следующие

осложнения:

- Из интраоперационных (n=2) верифицировалось повреждение левой общей подвздошной вены при мобилизации подвздошных сосудов. С целью герметизации повреждения выполнялся сосудистый шов. Не зарегистрировано осложнений, связанных с повреждением невральных структур.

- Из общехирургических у 1 пациента выявлено формирование межмышечной гематомы без признаков инфицирования.

- Из специфических осложнений в 1 случае зарегистрировано значимое развитие гетеротопической оссификации без снижения функционального состояния имплантата.

Таблица 29 – Данные о зарегистрированных неблагоприятных последствиях в группах исследования

Признак	Ретроспективная группа (n=84)	Проспективная группа (n=103)	p
Интраоперационные, n, %	3 (3,6 %)	2 (2 %)	0,04
Травма твердой мозговой оболочки	-	-	
Повреждение корешка	-	-	
Повреждение магистральных сосудов	3	2	
Общехирургические, n, %	4 (4,81 %)	1 (1 %)	0,001
Формирование послеоперационной гематомы	1	1	
Инфицирование послеоперационной раны	3	-	
Венозные тромбозы, тромбоэмболия легочной артерии	-	-	
Специфические, n, %	4 (4,81 %)	1 (1 %)	0,001

Ухудшение неврологической симптоматики	1	-
Образование грыжи диска смежного с операцией уровня	-	-
Нестабильность фиксирующей конструкции	-	-
Гетеротопическая оссификация	3	1

Примечание: p – уровень статистической значимости

Сравнение количества послеоперационных неблагоприятных исходов выявило меньшее их число после операции с имплантацией искусственного МПД в проспективной группе пациентов, оперированных с учетом нового алгоритма дифференцированной хирургической тактики и протокола «СПИНА» ($p < 0,05$). Наиболее вероятно снижение количества выявляемого инфицирования послеоперационной раны связано с оправданным использованием разработанного протокола «СПИНА», при этом снижение количества регистрируемой гетеротопической оссификации является следствием правильного предоперационного отбора пациентов по степени дегенеративных изменений в структурных элементах люмбо-сакрального сегмента позвоночника.

В специализированных литературных источниках общее число осложнений встречается до 40 %. Наиболее часто встречаются повреждения подвздошных сосудов при забрюшинном доступе к позвоночнику в 1,9–2,9 % случаев [223], ретроградная эякуляция регистрируется в 0,1–4,1 % случаев [313], инфицирование послеоперационной раны отмечается в 0,9–6,3 % случаев [96]. В ходе исследования нами не отмечено инфекционных осложнений в области послеоперационной раны. По данным J. Cho с соавт. [128], в трехлетнем катамнезе у 56 % пациентов зарегистрирована гетеротопическая оссификация I–II ст. и в 3 % – оссификация III ст. По данным M. Barbagallo с соавт. [88], после 24-

месячного периода наблюдения явления гетеротопии костной ткани были выявлены в 42,2 % случаев. В проведенном ретроспективном исследовании наиболее часто встречались инфекционные осложнения, в связи с чем применение комплексного протокола «СПИНА» направлено на снижение данных неблагоприятных последствий.

4.7 Анализ послеоперационных биомеханических и структурно-функциональных изменений у пациентов исследуемой группы

Для оценки эффективности и функциональности динамических протезов МПД и степени их влияния на изменения в смежных сегментах произведен анализ изменений рентгенологических параметров (амплитуда сегментарного угла, амплитуда общего объема движений в поясничном отделе позвоночника, угол поясничного лордоза, степень линейного смещения позвонков, высота межтелового промежутка); нейровизуализационных параметров (степень дегенерации ДС по Fujiwara A. в оперированном и смежном сегментах, степень дегенерации МПД по Pfirmann C. и ИКД в смежном с операцией сегменте).

Анализ изменений рентгенологических параметров у пациентов проспективной группы исследования

Динамика степени линейного смещения в люмбо-сакральном сегменте представлена на рисунке 45. При анализе не установлено значимой трансляции L_v позвонка до операции (3 мм (2;3)) и в отдаленном послеоперационном периоде (1 мм. (1;2)).

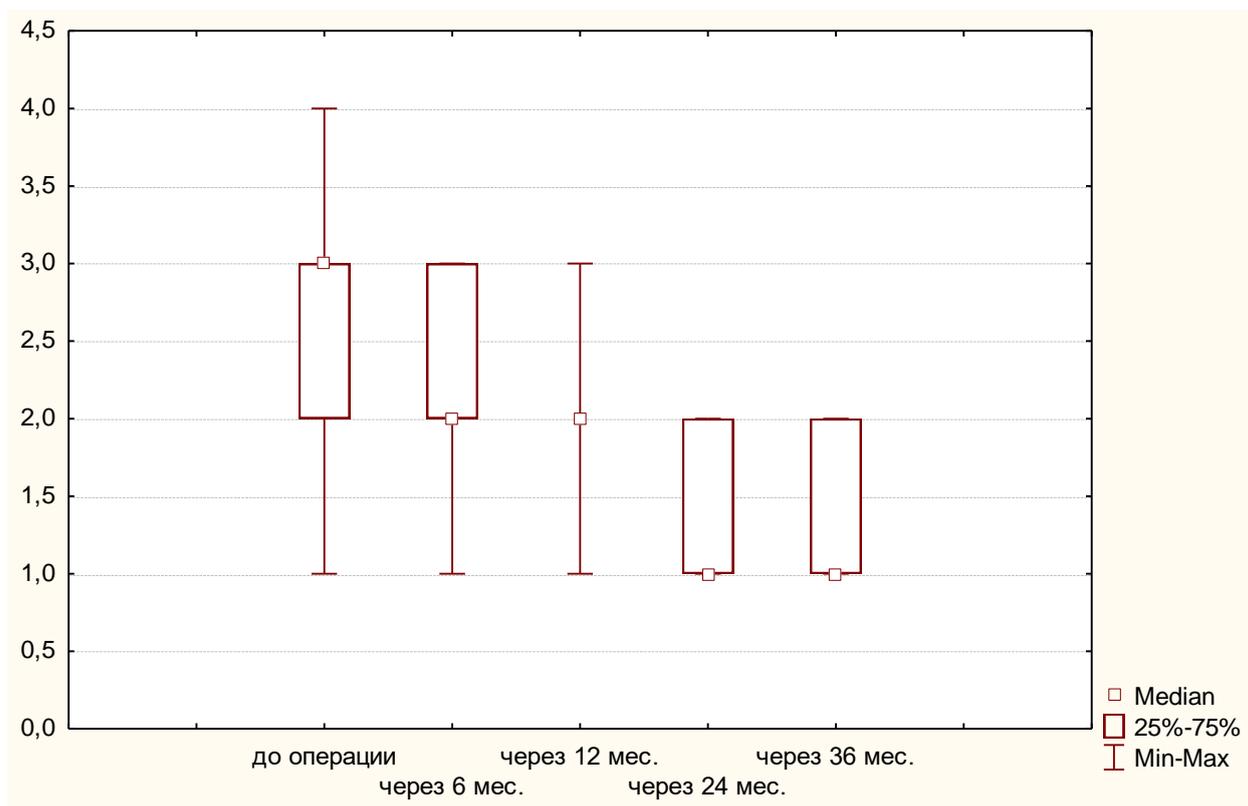


Рисунок 45 – Динамическая оценка линейного смещения в оперированном сегменте у пациентов проспективной группы исследования

При динамической оценке флексионно-экстензионной амплитуды сегментарного угла в течение всего периода наблюдения отмечено: сохранение объема физиологической подвижности в оперированном сегменте (рисунок 46) 5° (3;5) до операции и 6° (6;7) в отдаленном периоде; отсутствие изменений в подвижности смежного сегмента (Рисунок 47) 5° (5;6) до операции и до 6° (5;7) в отдаленном периоде. Общий объем движений в поясничном отделе позвоночника значительно улучшился ($p=0,02$) и сохранялся в физиологических пределах в катамнезе (Рисунок 48) с $36,5$ (33;38) до операции и до 39 (37;42) через 36 месяцев после операции.

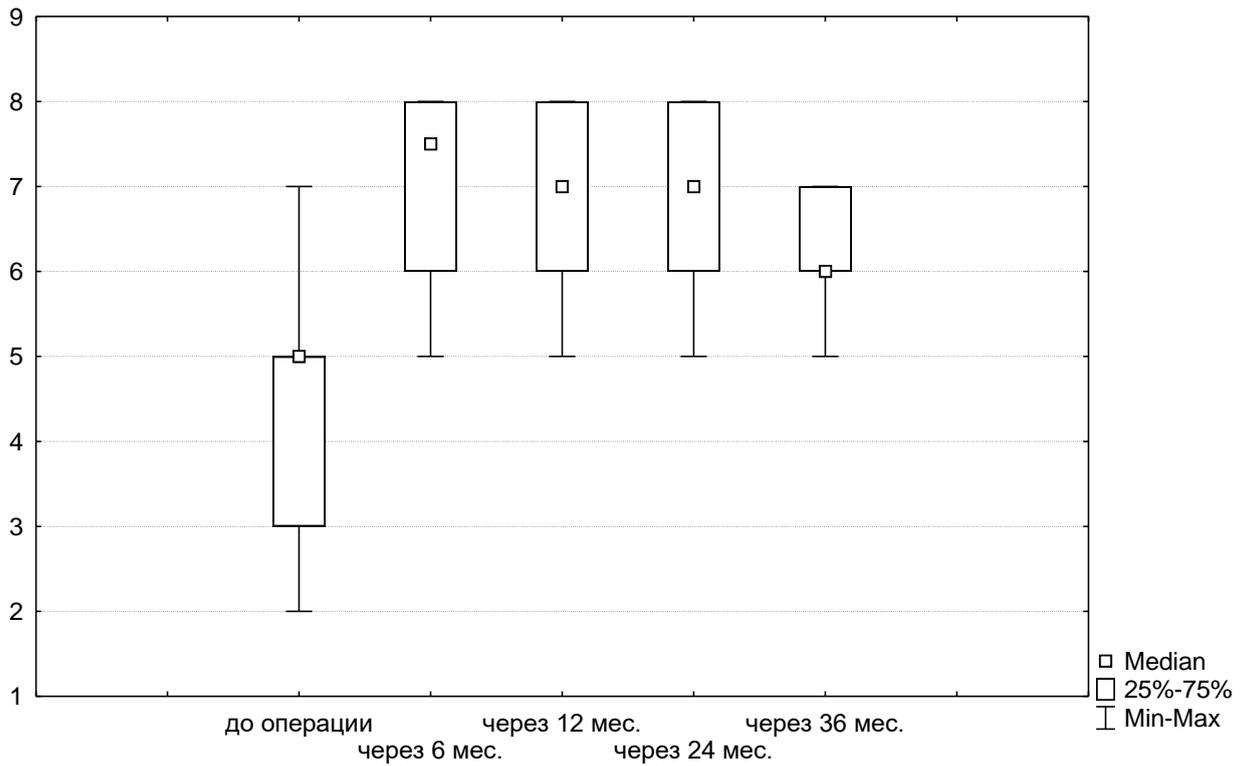


Рисунок 46 – Динамическая оценка сегментарного объема движений в оперированном сегменте у пациентов проспективной группы исследования

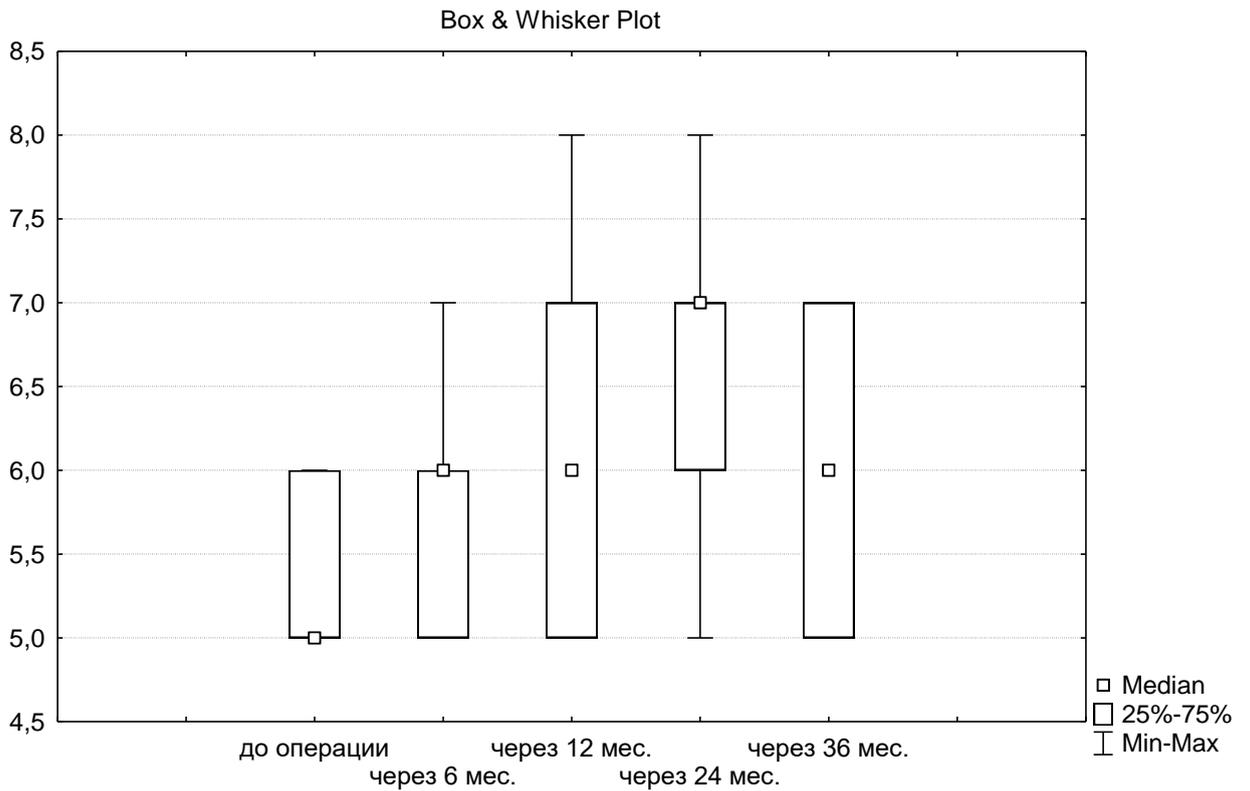


Рисунок 47 – Динамическая оценка сегментарного объема движений в смежном сегменте у пациентов проспективной группы исследования

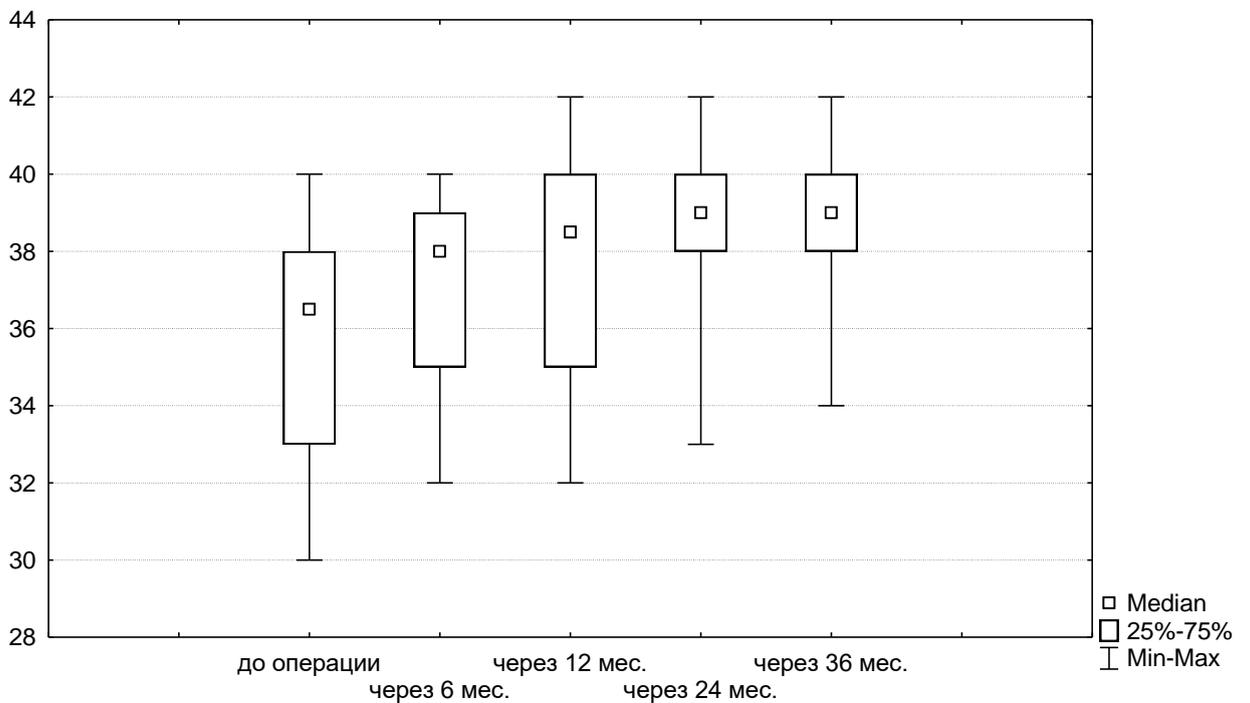


Рисунок 48 – Динамическая оценка общего объема движений в оперированном отделе позвоночника у пациентов проспективной группы исследования

При анализе параметра высоты межтелового промежутка выявлено значимое его увеличение после операции с 9,5 мм. (8;10) и до 13 мм. (12;13) ($p=0,03$) (Рисунок 49).

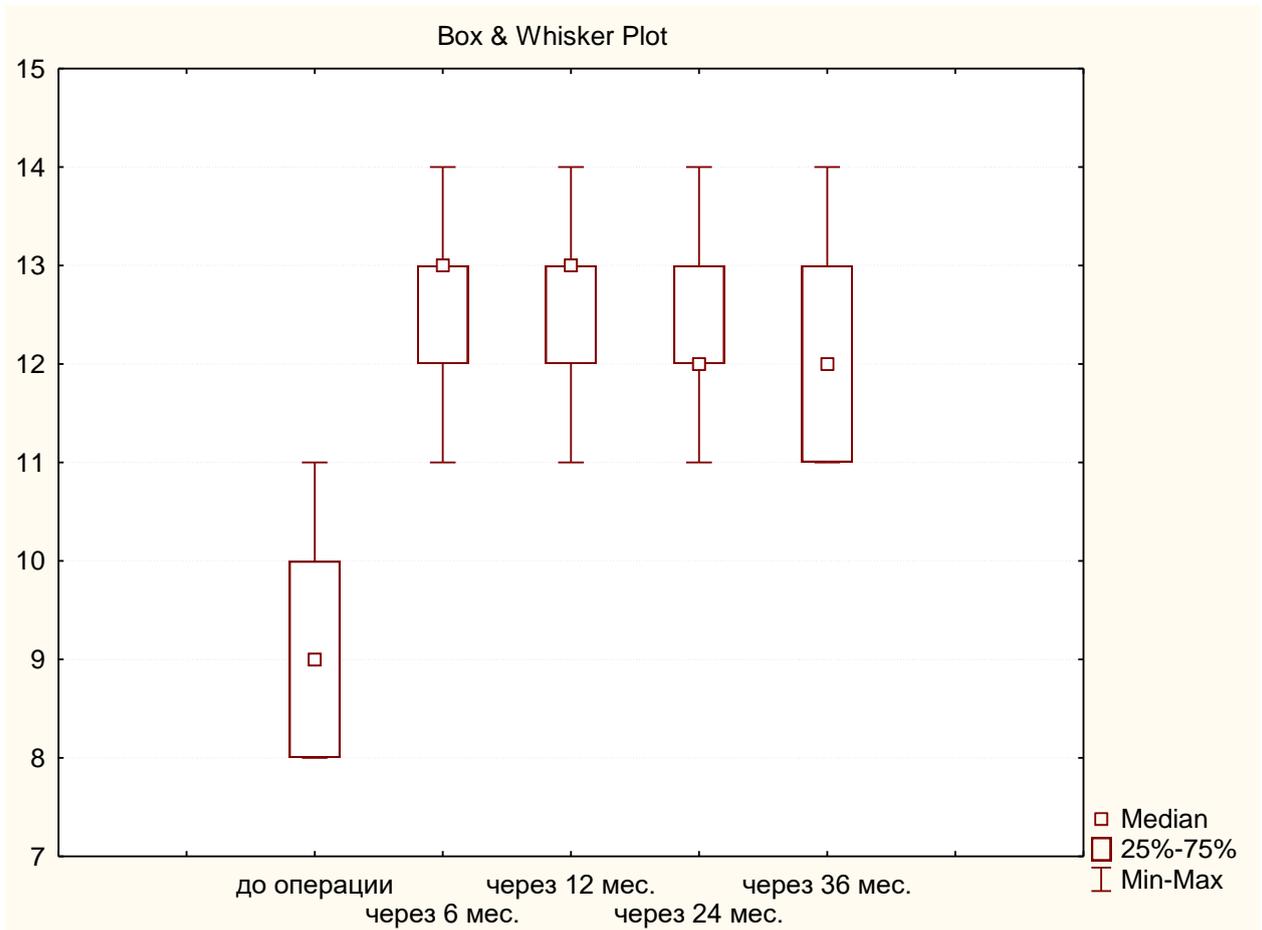


Рисунок 49 – Динамическая оценка высоты межтелового промежутка в оперированном сегменте у пациентов проспективной группы исследования

После операции отмечено восстановление угла общего поясничного лордоза с $28,5^{\circ}$ (27;30) и до $51,5^{\circ}$ (50;57) ($p=0,01$), с сохранением указанных параметров в течение всего периода наблюдения (Рисунок 50).

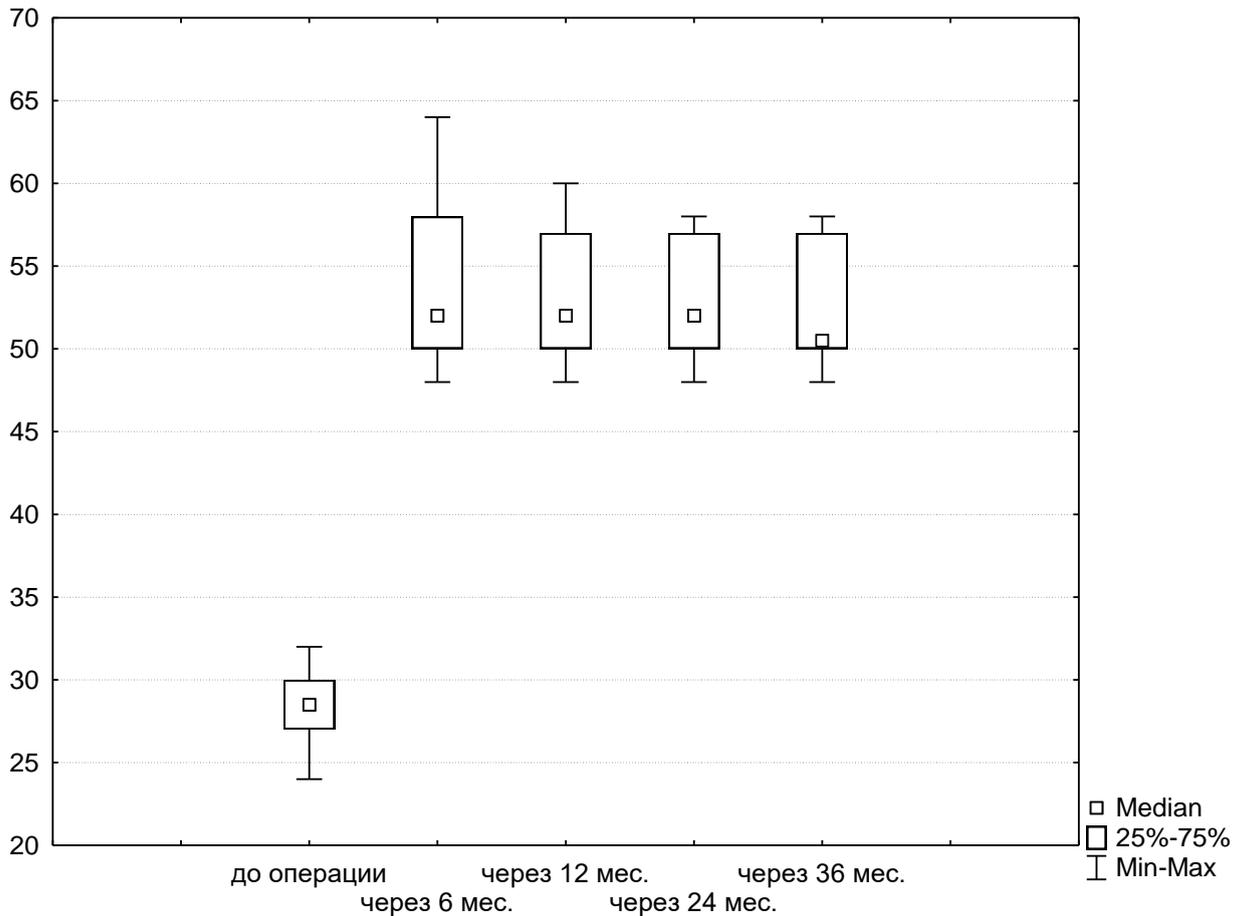


Рисунок 50 – Динамическая оценка величины общего поясничного лордоза у пациентов проспективной группы исследования

По данным ряда авторов, после имплантации искусственных МПД в сегменте L_V-S_I амплитуда движений на уровне операции увеличилась на $5,1^0$ [223]; по результатам Caker S. с соавт. отмечено увеличение амплитуды движений в оперированном сегменте в среднем на $8,4^0$ [120]; при исследовании Ritter R. с соавт. амплитуда движений в оперированном сегменте увеличилась в среднем на 6^0 [307].

Анализ изменений нейровизуализационных параметров у пациентов проспективной группы исследования

При исследовании выраженности дегенеративных изменений МПД по классификации Pfirrmann C. и степени дегидратации по ИКД в смежных сегментах не выявлено значительного увеличения степени дегенерации в течение 36-

месячного периода наблюдения ($p < 0,05$), что подтверждает эффективность использования искусственного протеза МПД при лечении пациентов с дегенеративными заболеваниями пояснично-крестцового перехода у пациентов проспективной группы (Таблица 30).

Таблица 30 – Оценка выраженности дегенеративных изменений в МПД смежного сегмента у пациентов проспективной группы исследования

Критерии		Проспективная группа ($n=103$)	p
Pfirmann С., 2001 до операции (L _{IV} -L _V сегмент)	I ст.	68 (66 %)	0,46
	II ст.	29 (28 %)	
	III ст.	6 (6 %)	
	IV ст.	-	
	V ст.	-	
Pfirmann С., 2001 через 36 месяцев (L _{IV} -L _V сегмент)	I ст.	61 (59 %)	
	II ст.	33 (32 %)	
	III ст.	9 (9 %)	
	IV ст.	-	
	V ст.	-	
ИКД до операции (L _{IV} -L _V сегмент)		1625 (1510;1790)	0,64
ИКД через 36 месяцев (L _{IV} -L _V сегмент)		1585 (1475;1710)	

Примечание: p – уровень статистической значимости

При изучении степени дегенерации ДС до операции и в отдаленном послеоперационном периоде по классификации Fujiwara А. как в оперированном сегменте ($p < 0,05$), так и в смежном с операцией уровне ($p < 0,05$) не выявлено значимого прогрессирования выраженности дегенеративных изменений (Таблица 31).

Таблица 31 – Оценка выраженности дегенеративных изменений в ДС смежного сегмента у пациентов проспективной группы исследования

Критерии		Проспективная группа (n=103)	p
Fujiwara A., 2000 до операции (L _V -S _I сегмент)	I ст.	47 (45,5 %)	0,18
	II ст.	56 (54,5 %)	
	III ст.	–	
	IV ст.	–	
Fujiwara A., 2000 после операции (L _V -S _I сегмент)	I ст.	38 (37 %)	
	II ст.	62 (60 %)	
	III ст.	3 (3 %)	
	IV ст.	–	
Fujiwara A., 2000 до операции (L _{IV} -L _V сегмент)	I ст.	78 (76 %)	0,72
	II ст.	25 (24 %)	
	III ст.	–	
	IV ст.	–	
Fujiwara A., 2000 после операции (L _{IV} -L _V сегмент)	I ст.	72 (70 %)	
	II ст.	31 (30 %)	
	III ст.	–	
	IV ст.	–	

По литературным данным, частота значимых дегенеративных изменений варьирует от 7 до 73 % [179]. После тотальной артропластики МПД хирургические вмешательства при значительной степени дегенерации потребовались в равных условиях, как и после ригидной стабилизации [212, 225].

Резюме: Выполнен проспективный анализ результатов хирургического лечения пациентов с дегенеративными заболеваниями пояснично-крестцового перехода позвоночника, оперированных по разработанному алгоритму.

Изменения выраженности болевых ощущений по ВАШ и функционального статуса по ODI в исследуемой группе пациентов после имплантации

искусственного протеза МПД соответствовали литературным данным, опубликованным в специализированных источниках. В сравнении с ретроспективной группой установлены лучшие отдаленные клинические показатели по ВАШ, ODI, шкале Macnab, что указывает на эффективность предложенной дифференцированной тактики использования хирургических технологий при лечении пациентов с дегенеративными заболеваниями пояснично-крестцового перехода позвоночника.

Сравнительный межгрупповой анализ подтвердил меньшее количество неблагоприятных исходов в группе проспективного исследования. Часть из них удалось предотвратить с помощью выбора оптимальных дооперационных клиничко-инструментальных параметров люмбо-сакрального сегмента; с другой стороны, оптимизация заживления послеоперационной раны способствовала снижению развития инфекционных осложнений у пациентов проспективной группы наблюдения.

Таким образом, мультицентровое применение наиболее физиологически обоснованного способа хирургической коррекции при лечении пациентов с дегенеративными заболеваниями пояснично-крестцового перехода (дискэктомии из параректального ретроперитонеального доступа с имплантацией искусственного протеза МПД) доказывает эффективность предложенного предоперационного клиничко-инструментального алгоритма, подтвержденную высокой клинической и рентгенологической эффективностью.

Кроме того, при комплексном клиничко-инструментальном исследовании выраженности дегенеративных изменений МПД в смежном сегменте, а также при изучении степени дегенерации ДС в оперированном и в смежном с операцией уровнях в проспективной группе не выявлено значительного увеличения степени дегенерации в течение 36-месячного периода наблюдения ($p < 0,05$), что подтверждает эффективность использования искусственного протеза МПД при лечении пациентов с дегенеративными заболеваниями пояснично-крестцового перехода.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На сегодняшний день прослеживается тенденция к интенсификации использования различных хирургических способов коррекции заболеваний позвоночника дегенеративного генеза. Реализация оперативного вмешательства осуществляется с использованием различных доступов, методик декомпрессии спинального канала и разнообразных стабилизирующих конструкций. Повсеместное внедрение декомпрессивно-стабилизирующих, декомпрессивных и пункционных оперативных вмешательств привело к накоплению значительного опыта их использования. Нередко верифицируется недостаточная клинико-рентгенологическая эффективность операций, а также нередко ухудшение неврологических проявлений. Эти обстоятельства стимулируют к предоперационной детализации патоморфологических и патофизиологических трансформаций в поясничных сегментах для определения рациональной тактики выполнения оперативных вмешательств при заболеваниях позвоночника дегенеративного генеза.

Детальный акцент уделяется переходным зонам позвоночного столба, в частности люмбо-сакральному переходу. Данные сегменты испытывают максимальную осевую нагрузку и подвержены дегенерации в большей степени. В базе данных Pubmed и специализированной литературе отсутствуют исследования, посвященные прецизионному изучению предоперационных клинических, морфологических и инструментальных изменений люмбо-сакрального перехода позвоночника, оказывающих влияние на клинический исход в катамнезе и позволяющих осуществить выбор возможного объема хирургического вмешательства.

Исследование отражает совокупность клинических и инструментальных данных, которые детально анализируются после выполнения нейровертебрологических вмешательств у пациентов с заболеваниями люмбо-сакрального перехода дегенеративного генеза.

Ретроспективно проанализированы исходы операций при дегенеративной патологии люмбо-сакрального перехода 619 пациентов: у 352 выполнялась

поясничная микродискэктомия, у 83 – дискэктомия из вентрального внебрюшинного доступа с имплантацией искусственного протеза диска, у 184 – дискэктомия со спондилодезом и ригидной дорзальной стабилизацией.

Обоснована актуальность предоперационной диагностики уровня дегенеративных изменений МПД и ДС, с её помощью оптимизирована лечебно-диагностическая тактика при заболеваниях люмбо-сакрального перехода дегенеративного генеза, также разработан «Способ количественной оценки степени дегенеративного заболевания поясничных межпозвонковых дисков» как дополнение к классификации степени дегенерации ПДС с учетом МРТ–ДВИ.

Исследование морфо-структурных параметров позвоночных сегментов позволило разработать и внедрить в практическое здравоохранение новый алгоритм дифференцированной хирургической тактики при оперативных вмешательствах у пациентов с дегенеративными заболеваниями пояснично-крестцового перехода позвоночника с применением индивидуального дооперационного клинико-инструментального подхода с учетом разработанных дополнений к классификации степени выраженности дегенерации нижепоясничных сегментов.

Выяснено, что доминирующими первопричинами неблагоприятных исходов после нейровертебрологических манипуляций являются: после микрохирургической дискэктомии – рецидивы грыж МПД и нестабильность оперированных сегментов; после тотальной артропластики – повреждение магистральных сосудов и гетеротопическая оссификация; после ригидной стабилизации – дегенерация смежных сегментов, псевдоартроз и послеоперационный рубцовый процесс.

Для возможной оптимизации послеоперационных клинических исходов и снижения рисков развития неблагоприятных исходов осуществлен интегральный анализ и сопоставление различных признаков дегенерации ПДС.

С учетом корреляционного анализа показателя ODI в катамнезе и выраженности дегенерации МПД по Pfirmann С., Vernon-Roberts В. и ИКД по DWI, степени дегенерации ДС по Fujiwara А. установлено, что в ретроспективной

группе получена непараметрическая значимая корреляция вышеперечисленных

параметров только с показателем ИКД. Таким образом, значение показателя ИКД, определяемое методом неинвазивной МРТ-диффузии, позволяет объективно оценить выраженность дегенерации МПД и ДС люмбо-сакрального перехода и предопределить индивидуальное использование хирургических технологий.

Для объективизации градации выраженности дегенерации ПДС на основе величины ИКД в дополнение к имеющимся классификациям во всех случаях при дегенеративном заболевании люмбо-сакрального перехода позвоночника применялся дискриминантный анализ. На основании матрицы классификации получены выводы о достаточной эффективности линейной дискриминантной функции – выявлено высокое качество распознавания (90 % и более в каждой из групп). На основании полученных данных разработан «Способ количественной оценки степени дегенеративного заболевания поясничных межпозвонковых дисков» (приоритетная справка № 2018113675/14(021470), Российская Федерация / В.А. Бывальцев, Ю.Я. Пестряков, И.А. Степанов; заявитель ФГБОУ ВО

«ИГМУ» Минздрава России. – заявл. 13.04.2018.) и предложено выделение пяти степеней дегенерации МПД пояснично-крестцового перехода позвоночника с учетом ИКД по данным МРТ–ДВИ.

С учетом детализации взаимосвязи неврологических корешковых симптомов, рентгенологических биометрических характеристик и дегенеративной трансформации по параметрам МРТ с отдаленным клиническим исходом у пациентов с заболеваниями люмбо-сакрального перехода дегенеративного генеза с целью улучшения послеоперационных результатов и устранения рисков развития неблагоприятных последствий предложен новый алгоритм тактики.

Ведущими характеристиками нового алгоритма дифференцированной хирургической тактики при оперативных вмешательствах у пациентов с дегенеративными заболеваниями пояснично-крестцового перехода позвоночника с использованием индивидуального предоперационного клиничко-

инструментального подхода являются:

- при наличии односторонней корешковой клинической симптоматики, объективных нейровизуализационных параметров (I–II степень дегенерации по ИКД) и рентгенографических данных (смещение в позвоночном сегменте – не более 2 мм, флексивно-экстензионная амплитуда – не более 6^0 , уменьшение размера межтелового пространства не более $1/3$ от вышележащего) возможно проведение микрохирургической дискэктомии;

- при выявлении двухсторонней корешковой клинической симптоматики, нейровизуализационных данных (II–IV степень дегенерации по ИКД) и рентгенографических параметров (смещение в позвоночном сегменте – не более 4 мм, флексивно-экстензионная амплитуда – не более 6^0 , уменьшение размера межтелового пространства не более $2/3$ от вышележащего) возможным является выполнение тотальной артропластики;

- в случае верификации двухсторонних корешковых клинических проявлений, нейровизуализационных данных (IV–V степень дегенерации по ИКД) и рентгенографических данных (смещение в позвоночном сегменте – более 4 мм, флексивно-экстензионная амплитуда – более 6^0 , уменьшение размера межтелового пространства более $2/3$ от вышележащего) показано проведение межтелового спондилодеза и дорзальной ригидной стабилизации.

Кроме этого, установка искусственного МПД может осуществляться в большем диапазоне дегенеративных заболеваний пояснично-крестцового перехода позвоночника, обеспечивая меньшие риски развития неблагоприятных клинико-инструментальных исходов.

Учитывая высокие риски формирования неблагоприятных последствий хирургических вмешательств в области люмбо-сакрального перехода позвоночника и необходимость в обоснованной лечебной тактике у пациентов с заболеваниями дегенеративного генеза при выполнении тотальной артропластики МПД, исследовано 103 случая с одноуровневой дегенерацией люмбо-сакрального перехода, прооперированных с учетом новых лечебно-диагностических подходов в нейровертебрологических подразделениях ГБУЗ «Краевая клиническая

больница» г. Красноярска, НУЗ «Дорожная клиническая больница на ст. Иркутск-Пассажирский ОАО «РЖД», ФГКУ «1477 Военно-морской клинический госпиталь» МО РФ г. Владивостока в течение 2013–2016 гг.

У этих пациентов применялся разработанный «Способ профилактики инфекционных осложнений при оперативных вмешательствах на позвоночнике в раннем послеоперационном периоде» – протокол «СПИНА» (приоритетная справка № 2018105422/14(008306), Российская Федерация / В.А. Бывальцев, А.А. Калинин, Е.Г. Белых, И.А. Степанов, В.В. Шепелев, В.Ю. Голобородько, В.Э. Борисов, А.О. Асанцев, А.К. Оконешникова, Ю.Я. Пестряков; заявитель ФГБОУ ВО «ИГМУ» Минздрава России. – заявл. 13.02.2018.), который был направлен на уменьшение частоты формирования ИОХВ, рисков длительного заживления раны и выраженности боли у пациентов после хирургических манипуляций на поясничных сегментах. Учитывая высокую частоту инфицирования послеоперационной раны у пациентов ретроспективной группы, что наиболее вероятно связано с длинным рабочим каналом (глубина раны более 30 см) и необходимостью использования большого количества специализированного инструментария, комплексный протокол «СПИНА» был применен для снижения количества случаев развития интра- и послеоперационных неблагоприятных исходов и заключался в локальном наложении антибактериального препарата и инфильтрации тканей в проекции доступа анестетиками.

Проведено сравнение результатов оперативных вмешательств ретроспективной и проспективной групп у пациентов с заболеваниями люмбо-сакрального перехода дегенеративного генеза при использовании дискэктомии вентральным ретроперитонеальным параректальным доступом с имплантацией искусственных дисков.

Изучение клинических исходов проводилось с применением наиболее распространенных методик оценки в нейровертебрологии: шкал VAS, ODI, Masab, анализировалось развитие неблагоприятных последствий.

Оценка эффективности хирургических манипуляций также производилась с использованием данных рентгенографии, магнитно-резонансной томографии и

электронейромиографии. Среднее время наблюдения составило 3 года.

Сравнение степени болевых ощущений в поясничном отделе позвоночника и нижних конечностях в катамнезе после операции показало статистически значимо меньшую её выраженность у пациентов с имплантацией искусственного МПД в проспективной группе, с учетом нового алгоритма дифференцированной хирургической тактики и протокола «СПИНА» ($p < 0,05$).

Сопоставление функционального статуса по ODI через 36 месяцев после операции между исследуемыми группами показало лучшие параметры после имплантации искусственного МПД в проспективной группе с учетом нового алгоритма дифференцированной хирургической тактики и протокола «СПИНА» ($p < 0,05$).

При сравнении показателя по шкале Macnab через 36 месяцев установлена большая удовлетворенность операцией после имплантации искусственного МПД в проспективной группе с учетом нового алгоритма дифференцированной хирургической тактики и протокола «СПИНА» ($p < 0,05$).

Полученные данные объективно подтверждают эффективность предложенного алгоритма дифференцированной хирургической тактики у пациентов с заболеваниями люмбо-сакрального перехода позвоночника дегенеративного генеза.

Межгрупповое сравнение подтвердило меньшее число неблагоприятных исходов при исследовании в проспективной группе. Часть из них удалось предотвратить с помощью выбора оптимальных дооперационных клинично-инструментальных параметров люмбо-сакрального сегмента; с другой стороны, оптимизация заживления послеоперационной раны способствовала снижению развития инфекционных осложнений у пациентов проспективной группы наблюдения.

Кроме того, при комплексном анализе выраженности дегенерации МПД смежного уровня, а также при изучении степени дегенерации ДС в оперированном и в вышележащем сегментах не выявлено значительного увеличения степени дегенерации в течение 36-месячного периода наблюдения

($p < 0,05$), что подтверждает эффективность использования искусственного протеза МПД при имплантации на люмбо-сакральном уровне.

Вышеописанные результаты являются перспективными для дальнейшего совершенствования комплексной диагностической и лечебной тактики при заболеваниях поясничного отдела позвоночника дегенеративного генеза.

ВЫВОДЫ

1. Ретроспективный анализ послеоперационных результатов у пациентов с заболеваниями пояснично-крестцового перехода позвоночника дегенеративного генеза установил прямую зависимость индивидуальных анатомо-морфологических параметров и выраженности дегенерации поясничных сегментов с развитием неблагоприятных клинических исходов.

2. Применение неинвазивного метода диагностики МРТ–ДВИ и разработанного «Способа количественной оценки степени дегенеративного заболевания поясничных межпозвонковых дисков» позволило классифицировать выраженность дегенерации люмбо-сакрального сегмента позвоночника, объективизировать степень структурных изменений МПД и ДС, а также предопределить необходимый объем хирургического вмешательства.

3. С учетом анатомо-морфологических изменений в МПД и ДС люмбо-сакрального перехода позвоночника для улучшения послеоперационных исходов и устранения рисков развития осложнений разработан новый алгоритм дифференцированной хирургической тактики при оперативных вмешательствах у пациентов с дегенеративными заболеваниями пояснично-крестцового перехода позвоночника с применением индивидуального предоперационного клинико-инструментального подхода. Так, при исходных спондилометрических параметрах (I–II ст. выраженности дегенеративных изменений по ИКД, линейное смещение в позвоночном сегменте – не более 2 мм, сегментарная флексионно-экстензионная амплитуда – не более 6^0 , уменьшение размера межтелового пространства не более $1/3$ от вышележащего) и односторонней корешковой клинической симптоматике возможно проведение микрохирургической дискэктомии; при исходных спондилометрических параметрах (II–IV ст. выраженности дегенеративных изменений по ИКД, линейное смещение в позвоночном сегменте – не более 4 мм, сегментарная флексионно-экстензионная амплитуда – не более 6^0 , уменьшение размера межтелового пространства не более

2/3 от вышележащего) и двухсторонней корешковой клинической симптоматике возможным является выполнение тотальной артропластики; а при исходных спондилометрических параметрах (IV–V ст. выраженности дегенеративных изменений по ИКД, линейное смещение в позвоночном сегменте – более 4 мм, сегментарная флексионно-экстензионная амплитуда – более 6°, снижение высоты межтелового промежутка более 2/3 от вышележащего) и двухсторонней корешковой клинической симптоматике показано проведение задней ригидной стабилизации с межтеловым спондилодезом.

4. Разработанный протокол «СПИНА» позволил интенсифицировать заживление послеоперационной раны и снизить частоту развития инфекции в области операционной раны после имплантации искусственных МПД из ретроперитонеального параректального доступа.

5. При наличии заболеваний люмбо-сакрального перехода позвоночника дегенеративного генеза у пациентов с применением нового алгоритма дифференцированной хирургической тактики и протокола «СПИНА» верифицированы в катамнезе минимальная степень болевой симптоматики в поясничном отделе позвоночника 10,5 (6;14) и 5 (2;10) ($p_U=0,03$) и нижних конечностях 8 (4;12) и 2 (1;3) ($p_U=0,001$), лучший функциональный статус по ODI 10 (8;14) и 6 (4;8) ($p_U=0,02$), большая удовлетворенность оперативным вмешательством по шкале Macnab ($p_U=0,01$) и наименьшее число послеоперационных осложнений в сравнении с пациентами, оперированными без разработанного предоперационного клинико-инструментального подхода.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. При наличии у пациентов заболеваний пояснично-крестцового перехода дегенеративного генеза перед проведением оперативного лечения целесообразно изучение выраженности дегенеративных и биомеханических изменений в области планируемых хирургических манипуляций методиками рентгенографии и МРТ–ДВИ.

2. При наличии односторонней корешковой клинической симптоматики, объективных нейровизуализационных параметров (I–II ст. выраженности дегенеративных изменений по ИКД) и рентгенографических параметрах (линейное смещение в позвоночном сегменте – не более 2 мм, сегментарная флексионно-экстензионная амплитуда – не более 6^0 , уменьшение размера межтелового пространства не более $1/3$ от вышележащего) возможно проведение микрохирургической дискэктомии.

3. При выявлении двухсторонней корешковой клинической симптоматики, нейровизуализационных данных (II–IV ст. выраженности дегенеративных изменений по ИКД) и рентгенографических параметрах (линейное смещение позвонков – не более 4 мм., сегментарная флексионно-экстензионная амплитуда – не более 6^0 , уменьшение размера межтелового пространства не более $2/3$ от вышележащего) возможным является выполнение тотальной артропластики.

4. В случае верификации двухсторонних корешковых клинических проявлений, нейровизуализационных данных (IV–V ст. выраженности дегенеративных изменений по ИКД) и рентгенографических параметрах (линейное смещение позвонков – более 4 мм, сегментарная флексионно-экстензионная амплитуда – более 6^0 , уменьшение размера межтелового пространства более $2/3$ от вышележащего) показано проведение задней ригидной стабилизации с межтеловым спондилодезом.

5. При выполнении дискэктомии из переднего параректального доступа

с имплантацией искусственных протезов МПД для оптимизации заживления послеоперационной раны и снижения рисков развития инфекционных осложнений для возможности активных реабилитационных мероприятий необходима профилактика модифицированных факторов риска развития инфекции послеоперационной раны в сочетании с локальным использованием порошковой формы антибиотика.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

- ВАШ – визуально-аналоговая шкала оценки болевого синдрома;
- ИОХВ – инфекция области хирургического вмешательства;
- ИКД – измеряемый коэффициент диффузии;
- МПД – межпозвонковый диск;
- МРТ – магнитно-резонансная томография;
- МСКТ – мультиспиральная компьютерная томография;
- ПДС – позвоночно-двигательный сегмент;
- СПИНА – способ, направленный на Современную Профилактику
Инфекций, Несостоятельности швов и Аналгезию;
- ДС – дугоотростчатый сустав;
- ЭНМГ – электронейромиография нижних конечностей;
- ODI – Oswestry disability index (индекс функциональной дееспособности для
поясничного отдела позвоночника).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абакиров, М.Д., Круглов, И.А., Абдурахманов, Р.Р., Селезнев, А.С., Мадер, А.Е. Эндопротезирование межпозвонковых дисков поясничного отдела позвоночника / М.Д. Абакиров, И.А. Круглов, Р.Р. Абдурахманов, А.С. Селезнев, А.Е. Мадер // Хирургия позвоночника. – 2016. – Т. 13. – № 1. – С. 59–66.
2. Афаунов, А.А., Басанкин, И.В., Кузьменко, А.В., Шаповалов, В.К. Анализ причин ревизионных операций при хирургическом лечении больных с поясничными стенозами дегенеративной этиологии / А.А. Афаунов, И.В. Басанкин, А.В. Кузьменко, В.К. Шаповалов // Кубанский научный медицинский вестник. – 2013. – № 7. – С. 173–176.
3. Бадалян, Л.О. Клиническая электронейромиография / Л.О. Бадалян, Н.А. Скворцов. – Москва: Медицина, 1986. – 367 с.
4. Бардонова, Л.А., Белых, Е.Г., Степанов, И.А., Бывальцев, В.А. Роль матричных металлопротеиназ и провоспалительных цитокинов в регенерации межпозвонкового диска / Л.А. Бардонова, Е.Г. Белых, И.А. Степанов, В.А. Бывальцев // Тихоокеанский медицинский журнал. – 2015. – № 4. – С. 21–26.
5. Басков, А.В. Прогнозирование результатов хирургического лечения приобретенного стеноза позвоночного канала на уровне поясничного отдела / А.В. Басков, А.А. Евсюков, К.Я. Оглезнев, Е.В. Сидоров // Вопросы нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко. – 2003. – № 2. – С. 20–26.
6. Благодатский, М.Д. Диагностика и лечение дискогенного пояснично-крестцового радикулита / М.Д. Благодатский, С.И. Мейерович. – Иркутск: Изд-во Иркутского ун-та, 1987. – 272 с.
7. Бывальцев, В.А., Калинин, А.А., Пестряков, Ю.Я., Шепелев, В.В., Степанов, И.А. Анализ результатов применения тотальной артропластики межпозвонкового диска пояснично-крестцового отдела позвоночника протезом М6-L: мультицентровое исследование / В.А. Бывальцев, А.А. Калинин, Ю.Я. Пестряков, В.В. Шепелев, И.А. Степанов // Вестник РАМН. – 2017. № 72 (5). – С. 393–402.
8. Бывальцев, В.А., Калинин, А.А., Степанов, И.А., Пестряков, Ю.Я.,

Шепелев, В.В. Анализ результатов применения тотальной артропластики межпозвонкового диска шейного отдела позвоночника протезом М6-С: мультицентровое исследование // Вопросы нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко. – 2017. – № 5. – С. 46–55.

9. 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 / В.А. Бывальцев, И.А. Степанов, А.А. Калинин, Е.Г. Белых // Вестник рентгенологии и радиологии. – 2016. – № 97 (6). – С. 357–64.

10. Бывальцев, В.А. Диффузионно-взвешенная магнитно-резонансная томография в диагностике дегенерации межпозвонкового диска / В.А. Бывальцев, И.А. Степанов, А.А. Калинин, К.В. Шашков // Медицинская техника. – 2016. – № 4 (98). – С. 29–32.

11. Бывальцев, В.А. Использование набора оценочных шкал для сравнительного анализа эффективности различных типов дискэктомий в лечении пациентов с грыжами поясничных межпозвоночных дисков / В.А. Бывальцев, В.А. Сороковиков, А.В. Егоров // Клиническая неврология. – 2010. – № 3. – С. 6–10.

12. Бывальцев, В.А., Белых, Е.Г., Сороковиков, В.А., Арсентьева, Н.И. Использование шкал и анкет в вертеб্রологии // Журнал неврологии и психиатрии. – 2011. – Т. 9. – № 2. – С. 51–56.

13. Бывальцев, В.А., Белых, Е.Г., Калинин, А.А., Бардонова, Л.А., Жданович, Г.С. История хирургического лечения корешковой боли при патологии межпозвонкового диска / В.А. Бывальцев, Е.Г. Белых, А.А. Калинин, Л.А. Бардонова, Г.С. Жданович // Хирургия позвоночника. – 2016. – № 13 (2). С. 78–89.

14. Бывальцев, В.А., Белых, Е.Г., Калинин, А.А., Сороковиков, В.А. Клиника, диагностика и хирургическое лечение грыж межпозвонковых дисков пояснично-крестцового отдела позвоночника: монография / В.А. Бывальцев, Е.Г. Белых, А.А. Калинин, В.А. Сороковиков. – Иркутск: ИНЦХТ, 2016. – 275 с.

15. Бывальцев, В.А. Количественная оценка степени дегенеративного поражения межпозвонковых дисков с помощью карт диффузионно-взвешенных

изображений / В.А. Бывальцев, И.А. Степанов, А.А. Калинин, Е.Г. Белых // Медицинская техника. – 2017. – № 4. – С. 34–37.

16. Бывальцев, В.А., Калинин, А.А., Акшулаков, С.К., Кривошеин, А.Е., Керимбаев, Т.Т., Степанов, И.А. Мультицентровой анализ результатов применения прямого бокового межтелового спондилодеза (DLIF) и транскутанной транспедикулярной фиксации у пациентов с дегенеративными заболеваниями межпозвоночных дисков поясничного отдела позвоночника / В.А. Бывальцев, А.А. Калинин, С.К. Акшулаков, А.Е. Кривошеин, Т.Т. Керимбаев, И.А. Степанов // Вестник РАМН.– 2017. – № 72 (2). – С. 149–158.

17. Бывальцев, В.А. Нестабильные формы дегенеративных заболеваний позвоночно-двигательных сегментов пояснично-крестцового отдела позвоночника: диагностика и хирургическое лечение: монография / В.А. Бывальцев, А.А. Калинин, В.В. Шепелев. – Новосибирск: Наука, 2017. – 229 с.

18. Бывальцев, В.А., Калинин, А.А., Белых, Е.Г., Сороковиков, В.А., Шепелев, В.В. Оптимизация результатов лечения пациентов с сегментарной нестабильностью поясничного отдела позвоночника при использовании малоинвазивной методики спондилодеза / В.А. Бывальцев, А.А. Калинин, Е.Г. Белых, В.А. Сороковиков, В.В. Шепелев // Вопросы нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко. – 2015. – № 3. – С. 45–54.

19. Бывальцев, В.А. Сравнительный анализ результатов декомпрессивных и одномоментно декомпрессивно-стабилизирующих операций при лечении диско-радикулярного конфликта пояснично-крестцового отдела позвоночника / В.А. Бывальцев, В.А. Сороковиков, А.А. Калинин [и др.] // Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения Российской Академии медицинских наук. – 2011. – № 4. – С. 38–43.

20. Бывальцев, В.А. Сравнительный анализ эффективности эндоскопической, микрохирургической и эндоскопически ассистированной дискэктомий в лечении пациентов с грыжами поясничных межпозвоночных дисков / В.А. Бывальцев, В.А. Сороковиков, А.В. Егоров [и др.] // Вопросы нейрохирургии. – 2010. – № 4. – С. 20–26.

21. Бывальцев, В.А., Калинин, А.А., Оконешникова, А.К., Керимбаев, Т.Т., Белых, Е.Г. Фасеточная фиксация в комбинации с межтеловым спондилодезом: сравнительный анализ и клинический опыт нового способа хирургического лечения пациентов с дегенеративными заболеваниями поясничного отдела позвоночника / В.А. Бывальцев, А.А. Калинин, А.К. Оконешникова, Т.Т. Керимбаев, Е.Г. Белых // Вестник РАМН.– 2016. – Т. 71.– № 5. – С. 375–383.
22. Бывальцев, В.А. Цитокиновые механизмы дегенерации межпозвонкового диска / В.А. Бывальцев, Е.Г. Белых, И.А. Степанов, М. Прул // Сибирский медицинский журнал. – 2015. – № 6. – С. 5–11.
23. Грачев, Ю.В. Вертебральная поясничная боль: полифакторное происхождение, симптомология, принципы лечения / Ю.В. Грачев, В.И. Шмырев // Лечащий врач. – 2008. – № 5. – С. 6–11.
24. Гринь, А.А. Комментарии к статье М.Х. Кариева, Ю.Ф. Сабуренко, С.Н. Ишмухамедова и др. «Перкутанная дискэктомия в лечении больных поясничным остеохондрозом» / А.А. Гринь // Нейрохирургия. – 2002. – № 1. – С. 25–26.
25. Гуца, А.О. Опыт эндоскопических вмешательств при патологии позвоночника / А.О. Гуца, С.О. Арестов // Эндоскопическая хирургия. – 2010. – № 4. – С. 48–56.
26. Давыдов, Е.А., Мушкин, А.Ю., Зуев, И.В., Ильин, А.А., Коллеров, М.Ю. Применение биологически и механически совместимых имплантатов из нитинола для хирургического лечения повреждений и заболеваний позвоночника и спинного мозга / Е.А. Давыдов, А.Ю. Мушкин, И.В. Зуев, А.А. Ильин, М.Ю. Коллеров // Гений ортопедии.– 2010. – № 1. – С. 5–11.
27. Дракин, А.И. Спонтанная резорбция грыж межпозвонковых дисков пояснично-крестцового отдела позвоночника / А.И. Дракин // Военно-медицинский журнал. – 2008. – Т. 329. – № 6. – С. 61.
28. Егоров, А.В. Комплексное использование эндовидеонейрохирургических технологий при лечении пациентов с грыжами поясничных межпозвонковых дисков: дис. ... канд. мед. наук: 14.01.18 / Егоров Андрей Владимирович. – Новосибирск, 2014. – 140 с.

29. Жарков, П.Л. Поясничные боли / П.Л. Жарков, А.П. Жарков, С.М. Бубновский. – Москва: Юниарпринт, 2002. – 143 с.
30. Зайдман, А.М., Строкова, Е.Л., Новиков, В.В., Васюра, А.С., Михайловский, М.В., Садовой, М.А. Экспрессия генов в хондроцитах пластинки роста у пациентов с идиопатическим сколиозом / А.М. Зайдман, Е.Л. Строкова, В.В. Новиков, А.С. Васюра, М.В. Михайловский, М.А. Садовой // Хирургия позвоночника. – 2014. – № 4. – С. 88–98.
31. Зуев, И.В., Щедренок, В.В., Орлов, С.В., Захматова, Т.В., Могучая, О.В., Себелев, К.И., Топольскова, Н.В. Опыт динамической фиксации нитиноловыми имплантатами при дегенеративных заболеваниях позвоночника / И.В. Зуев, В.В. Щедренок, С.В. Орлов, Т.В. Захматова, О.В. Могучая, К.И. Себелев, Н.В. Топольскова // Гений ортопедии. – 2014. – № 2. – С. 30–38.
32. Исаева, Н.В. Современный взгляд на клиническое значение и эпидурального фиброза после поясничных дискэктомий / Н.В. Исаева, М.Г. Дралюк // Хирургия позвоночника. – 2010. – № 1. – С. 38–45.
33. Калинин, А.А., Бывальцев, В.А. Взаимосвязь спондилометрических параметров с клиническим исходом хирургического лечения дегенеративного спондилолистеза при многоуровневых поражениях поясничных межпозвонковых дисков / А.А. Калинин, В.А. Бывальцев // Хирургия позвоночника. – 2015. – № 4. – С. 56–62.
34. Калинин, А.А. Хирургическое лечение дегенеративного спондилолистеза при многоуровневых поражениях межпозвонковых дисков пояснично-крестцового отдела позвоночника: дис. ... канд. мед. наук: 14.01.15 / Калинин Андрей Андреевич. – Новосибирск, 2016. – 144 с.
35. Колесов, С.В., Швец, В.В., Колбовский, Д.А., Казьмин, А.И., Морозова, Н.С. Использование стержней из нитинола при фиксации пояснично-крестцового отдела позвоночника (проспективное рандомизированное клиническое исследование) / С.В. Колесов, В.В. Швец, Д.А. Колбовский, А.И. Казьмин, Н.С. Морозова // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. – 2014. – № 2. – С. 19–24.

36. Колесов, С.В., Колбовский, Д.А., Казьмин, А.И., Морозова, Н.С. Применение стержней из нитинола при хирургическом лечении дегенеративных заболеваний позвоночника с фиксацией пояснично-крестцового перехода / С.В. Колесов, Д.А. Колбовский, А.И. Казьмин, Н.С. Морозова // Хирургия позвоночника. – 2016. – Т. 13. – № 1. – С. 41–49.

37. Коллеров, М.Ю., Левченко, С.К., Древаль, О.Н., Ильин, А.А., Рынков, И.П., Басков, А.В. Экспериментально-анатомическое исследование функциональной транспедикулярной стабилизации позвоночника / М.Ю. Коллеров, С.К. Левченко, О.Н. Древаль, А.А. Ильин, И.П. Рынков, А.В. Басков // Вопросы нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко. – 2011. – № 75 (1). – С. 20–26.

38. Коновалов, Н.А., Шевелев, И.Н., Корниенко, В.Н., Назаренко, А.Г. Клинико-диагностическая оценка выраженности дегенеративного поражения пояснично-крестцового отдела позвоночника / Н.А. Коновалов, И.Н. Шевелев, В.Н. Корниенко, А.Г. Назаренко // Анналы клинической и экспериментальной неврологии. – 2009. – № 1. – С. 16–21.

39. Коновалов, Н.А. Прогнозирование микрохирургического лечения грыж межпозвоночных дисков на пояснично-крестцовом уровне: автореф. дис. ... канд. мед. наук : 14.01.18 / Коновалов Николай Александрович. – М., 1999. – 24 с.

40. Корниенко, В.Н., Пронин, И.Н. Диагностическая нейрорадиология / В.Н. Корниенко, И.Н. Пронин. – М.:ИП «Андреева Т.М.», 2006. – 1327 с.

41. Крутько, А.В. Анализ критериев прогнозирования результатов хирургического лечения грыж межпозвоночных дисков: обзор современной литературы / А.В. Крутько, Е.С. Байков // Гений ортопедии. – 2012. – № 1. – С. 140–145.

42. Крутько, А.В. Корреляционная зависимость клиничко-морфологических проявлений и биомеханических параметров у больных с дегенеративным спондилолистезом LIV позвонка / А.В. Крутько, А.В. Пелеганчук, Д.М. Козлов [и др.] // Травматология и ортопедия России. – 2011. – № 4. – С. 44–52.

43. Крутько, А.В. Сравнительный анализ результатов заднего

межтелового спондилодеза (PLIF) и трансфораминального межтелового спондилодеза (TLIF) в сочетании с транспедикулярной фиксацией / А.В. Крутько // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. – 2012. – № 1. – С. 12–21.

44. Кузнецов, В.Ф. Особенности клинических проявлений деформирующего спондилёза и остеохондроза в зависимости от глубины поясничного позвоночного канала / В.Ф. Кузнецов, Г.В. Пашко, С.Ф. Секач // Периферическая нервная система. – 1980. – № 3. – С. 129–131.

45. Левина, Г.Ю. Анализ результатов применения интраоперационного нейромониторинга в центре нейрохирургии Дорожной клинической больницы на станции Иркутск-Пассажирский ОАО «РЖД» / Г.Ю. Левина, А.С. Борисов, А.А. Калинин, В.А. Бывальцев // Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения Российской Академии медицинских наук. – 2016. – № 4. – С. 46–50.

46. Липай, Е.В. Клинико-диагностические критерии и особенности лечебной тактики при многоуровневых дискогенных поражениях на на трех и более уровнях поясничного отдела позвоночника: дис. ... канд. мед. наук: 14.00.13., 14.00.28 / Липай Елена Владимировна. – М., 2007. – 111 с.

47. Луцик, А.А. Дегенеративно-дистрофические заболевания позвоночника / А.А. Луцик, М.А. Садовой, А.В. Крутько и др. – Новосибирск: Наука, 2012. – 264 с.

48. Луцик, А.А. Дискуссионные и бесспорные аспекты остеохондроза позвоночника / А.А. Луцик, Н.Г. Фомичев, А.М. Зайдман и др. // Хирургия позвоночника. – 2012. – № 2. – С. 63–69.

49. Луцик, А.А. Спондилоартроз / А.А. Луцик, И.Р. Шмидт, Е.Б. Колотов. – Новосибирск: Издатель, 2003. – 290 с.

50. Назаренко, Г.И. Вертеброгенная боль в пояснице / Г.И. Назаренко, И.Б. Героева, А.М. Черкашов, А.А. Рухманов. – М.: Медицина, 2008. – 456 с.

51. Назаренко, Г.И. Современные проблемы лечения боли в спине / Г.И. Назаренко, А.Н. Черкашов, И.Б. Героева, А.А. Рухманов // Вестник травматологии

и ортопедии имени Н.Н. Приорова. – 2007. – № 3. – С. 10–15.

52. Панаськов, А.В. Нестабильность позвоночника при поясничном остеохондрозе (диагностика и способы хирургического лечения): автореф. дис. ... канд. мед. наук: 14.00.28. / Панаськов Андрей Валерьевич. – СПб., 2006. – 44 с.

53. Полищук, Н.Е. Структура больных остеохондрозом поясничного отдела позвоночника / Н.Е. Полищук, Е.И. Слынько, А.Е. Косинова // Материалы III Съезда нейрохирургов России. – СПб., 2002. – С. 272.

54. Попелянский, Я.Ю. Болезни периферической нервной системы / Я.Ю. Попелянский. – М.: Медпресс-информ, 2005. – 368 с.

55. Продан, А.И. Ортопедические аспекты хирургического лечения стеноза позвоночного канала / А.И. Продан // Ортопедия, травматология и протезирование. – 2005. – № 1. – С. 93–97.

56. Продан, А.И. Осложнения хирургического лечения поясничного спинального стеноза / А.И. Продан, О.А. Перепечай, В.А. Колесниченко, С.И. Балан, А.Г. Чернышев // Хирургия позвоночника. – 2009. – № 1. – С. 31–37.

57. Радченко, В.А. Особенности строения позвоночного канала в поясничном отделе, обуславливающее развитие латерального дегенеративного артрогенного стеноза / В.А. Радченко, А.Г. Скиданов [и др.] // Ортопедия, травматология и протезирование. – 2008. – № 1. – С. 5–10.

58. Рождественский, А.С. Хирургическое лечение изолированных нестабильных повреждений позвоночника: автореф. дис... канд. мед. наук: 14.00.24 / Рождественский Алексей Сергеевич. – СПб., 2000. – 22 с.

59. Симонович, А.Е. Лечение дегенеративных поражений поясничного отдела позвоночника с использованием имплантатов COFLEX и DIAM / А.Е. Симонович, С.П. Маркин, А.А. Байкалов, Д.В. Хапов // Хирургия позвоночника. – 2007. – № 1. – С. 21–26.

60. Синельников, Р.Д., Синельников, Я.Р. Атлас анатомии человека: учебное пособие: в 4 т. / Р.Д. Синельников, Я.Р. Синельников. – 2-е изд., стереотипное. – М.: Медицина, 1996. – Т. 1. – 344 с.

61. Скоромец, А.А. Топическая диагностика заболеваний нервной

системы / А.А. Скоромец. – СПб., 2002. – 398 с.

62. Сулайманов, Ж.Д. Копорозез как метод лечения нестабильных форм остеохондроза / Ж.Д. Сулайманов // Хирургия позвоночника. – 2008. – № 2. – С. 36–40.

63. Сухомел, П., Бывальцев, В.А. Анализ результатов использования искусственных дисков PRODISC C™ для артропластики шейных дисков за 2-летний период у 54 пациентов / П. Сухомел, В.А. Бывальцев // Вопросы нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко. – 2008. – № 3. – С. 20–25.

64. Фомичев, Н.Г. Декомпрессивно-стабилизирующие и пластические операции с использованием имплантатов из пористого никелида титана при дегенеративных поражениях поясничного отдела позвоночника / Н.Г. Фомичев, А.Е. Симонович, А.А. Байкалов, А.В. Крутько // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. – 2005. – № 2. – С. 3–10.

65. Цивьян, Я.Л. Хирургия позвоночника / Я.Л. Цивьян. – Новосибирск, 1993. – 364 с.

66. Шустин, В.А. Диагностика и хирургическое лечение неврологических осложнений поясничного остеохондроза / В.А. Шустин, В.Е. Парфенов, С.В. Топтыгин, Г.Е. Труфанов, Ю.А. Щербук. – СПб.: Фолиант, 2006. – 168 с.

67. Щедренок, В.В. Малоинвазивная хирургия дегенеративных заболеваний позвоночника / В.В. Щедренок, И.В. Яковенко, Н.В. Аникеев, К.И. Себелев, О.В. Могучая. – СПб.: Изд-во ФГУ «РНХИ им. Проф. А.Л. Поленова» Минздравсоцразвития России, 2011. – 435 с.

68. Юмашев, Г.С. Остеохондрозы позвоночника / Г.С. Юмашев, М.Е. Фурман. – М.: Медицина, 1984. – 384 с.

69. Юсевич Ю.С. Электромиография в клинике нервных болезней / Ю.С. Юсевич. – М.: Медгиз, 1958. – 128 с.

70. Abi-Hanna, D., Kerferd, J., Phan, K., Rao, P., Mobbs, R. Lumbar disc arthroplasty for degenerative disc disease: a literature review / D. Abi-Hanna, J. Kerferd, K. Phan, P. Rao, R. Mobbs // World Neurosurg. – 2017 Oct 4. – P. S1878–8750(17)31669–8.

71. Abode-Iyamah, K., Kim, S.B., Grosland, N., Kumar, R., Belirgen, M., Lim, T.H., Torner, J., Hitchon, P.W. Spinal motion and intradiscal pressure measurements before and after lumbar spine instrumentation with titanium or PEEK rods / K. Abode-Iyamah, S.B. Kim, N. Grosland, R. Kumar, M. Belirgen, T.H. Lim, J. Torner, P.W. Hitchon // *J Clin Neurosci.* – 2014. – Vol. 21 (4).– P. 651–655.
72. Abumi, K. Biomechanical evaluation of lumbar spinal stability after graded facetectomies / K. Abumi, M.M. Panjabi, K.M. Kramer // *Spine.* – 1995. – Vol. 15. – P. 1142–1147.
73. Adams, M.A., Roughley, P.J. What is intervertebral disc degeneration, and what causes it? / M.A. Adams, P.J. Roughley // *Spine (Phila Pa 1976).* – 2006. – Vol. 31 (18). – P. 2151–2161.
74. Agarwal, S., Loder, S.J., Brownley, C., Eboda, O., Peterson, J.R., Hayano, S., Wu, B., Zhao B., Kaartinen, V., Wong, V.C., Mishina, Y., Levi, B. BMP signaling mediated by constitutively active Activin type 1 receptor (ACVR1) results.
75. Ahmed, A.M., Duncan, N.A., Burke, D.L. The effect of facet geometry on the axial torque-rotation response of lumbar motion segments / A.M. Ahmed, N.A. Duncan, D.L. Burke // *Spine.* – 1990. – Vol. 15 (5). – P. 391–401.
76. Ahrens, M., Tsantrizos, A., Donkerstloot, P., Martens, F., Lauweryns, P., Le Huec, J.C., Mozsko, S., Fekete, Z., Sherman, J., Yuan, H.A., Halm, H. Nucleus replacement with the dascor disc arthroplasty device / M. Ahrens, A. Tsantrizos, P. Donkerstloot, F. Martens, P. Lauweryns, J.C. Le Huec, S. Mozsko, Z. Fekete, J. Sherman, H.A. Yuan, H. Halm // *Spine.* – 2009. – Vol. 34 (13). – P. 1376–1384.
77. Albee, F.H. Transplantation of a portion of the tibia into the spine for Pott's disease / F.H. Albee // *Journal of the American Medical Association.* – 1911. – Vol. 57 (11). – P. 885.
78. Alpízar-Aguirre, A., Mireles-Cano, J.N., Rosales-Olivares, M., Miramontes-Martínez, V., Reyes-Sánchez, A. Clinical and radiological follow-up of nubac disc prosthesis / A. Alpízar-Aguirre, J.N. Mireles-Cano, M. Rosales-Olivares, V. Miramontes-Martínez, A. Reyes-Sánchez // *Preliminary report. Cir Cir.* – 2008. – Vol. 76 (4). – P. 311–315.

79. Alqarnia, A.M. Clinical Tests to Diagnose Lumbar Segmental Instability: A Systematic Review / A.M. Alqarnia, A.G. Schneiders, P.A. Hendrick // *J Orthop Sports Phys Ther.* – 2011. – Vol. 41 (3). – P. 130–140.

80. An, H.S. Comparison of smoking habits between patients with surgically confirmed herniated lumbar and cervical disc disease and controls / H.S. An, C.P. Silveri, J.M. Simpson, P. File, C. Simmons, F.A. Simeone, R.A. Balderston // *J Spinal Disord.* – 1994. – Vol. 7. – P. 369–373.

81. Andersen, T., Christensen, F.B., Hansen, E.S., Bunger, C. Pain 5 years after instrumented and non-instrumented posterolateral lumbar spinal fusion / T. Andersen, F.B. Christensen, E.S. Hansen, C. Bunger // *European Spine Journal.* – 2003. – Vol. 12 (4). – P. 393–399.

82. Anekstein, Y., Floman, Y., Smorgick, Y., Rand, N., Millgram, M., Mirovsky, Y. Seven years follow-up for total lumbar facet joint replacement (TOPS) in the management of lumbar spinal stenosis and degenerative spondylolisthesis / Y. Anekstein, Y. Floman, Y. Smorgick, N. Rand, M. Millgram, Y. Mirovsky // *Eur Spine J.* – 2015. – Vol. 24 (10). – P. 2306–2314.

83. Apazidis, A., Ricart, P.A., Diefenbach, C.M., Spivak, J.M. The prevalence of transitional vertebrae in the lumbar spine / A. Apazidis, P.A. Ricart, C.M. Diefenbach, J.M. Spivak // *Spine J.* – 2011. – Vol. 11. – P. 858–862.

84. Askar, Z., Wardlaw, D., Muthukumar, T., Smith, F., Kader, D., Gibson, S. Correlation between inter-vertebral disc morphology and the results in patients undergoing Graf ligament stabilization / Z. Askar, D. Wardlaw, T. Muthukumar, F. Smith, D. Kader, S. Gibson // *European Spine Journal.* – 2004. – Vol. 13 (8). – P. 714–718.

85. Bae, H.W., Lauryssen, C., Maislin, G., Leary, S., Musacchio, M.J. Therapeutic sustainability and durability of coflex interlaminar stabilization after decompression for lumbar spinal stenosis: a four year assessment / H.W. Bae, C. Lauryssen, G. Maislin, S. Leary, M.J. Musacchio // *Int J Spine Surg.* – 2015. – Vol. 9. – P. 15.

86. Baird, E.O., Kang, Q.K. Prophylaxis of heterotopic ossification – an

updated review / E.O. Baird, Q.K. Kang // *J Orthop Surg Res.* – 2009. – Vol. 4. – P. 12.

87. Bao, Q.B., Songer, M., Pimenta, L., Werner, D., Reyes-Sanchez, A., Balsano, M., Agrillo, U., Coric, D., Davenport, K., Yuan, H. Nubac disc arthroplasty: preclinical studies and preliminary safety and efficacy evaluations / Q.B. Bao, M. Songer, L. Pimenta, D. Werner, A. Reyes-Sanchez, M. Balsano, U. Agrillo, D. Coric, K. Davenport, H. Yuan // *SAS J.* – 2007. – Vol. 1 (1). – P. 36–45.

88. Barbagallo, M., Leonardo, A., Goiuseppe, O., Vincenzo, A. Heterotopic ossification in cervical disc arthroplasty: Is it clinically relevant? / M. Barbagallo, A. Leonardo, O. Goiuseppe, A. Vincenzo // *Evid Based Spine Care J.* – 2010. – Vol. 1 (1). – P. 15–20.

89. Barrey, C., Perrin, G., Champain, S. Pedicle-Screw-Based Dynamic Systems and Degenerative Lumbar Diseases: Biomechanical and Clinical Experiences of Dynamic Fusion with Isobar TTL. *ISRN Orthop.* – 2013. – 183702 p.

90. Battie, M.C. Lumbar disc degeneration: epidemiology and genetic Influences / M.C. Battie, T. Videman, E. Parent // *Spine.* – 2004. – Vol. 29. – P. 2679–2690.

91. Belykh, E.G., Kalinin, A.A., Patel, A.A., Miller, E.J., Bohl, M.A., Stepanov, I.A., Bardonova, L.A., Kerimbaev, T.T., Asancev, A.O., Giers, M.B., Preul, M.C., Byvaltsev, V.A. Apparent diffusion coefficient maps in the assessment of surgical patients with lumbar spine degeneration. Apparent diffusion coefficient maps in the assessment of surgical patients with lumbar spine degeneration / E.G. Belykh, A.A. Kalinin, A.A. Patel, E.J. Miller, M.A. Bohl, I.A. Stepanov, L.A. Bardonova, T.T. Kerimbaev, A.O. Asancev, M.B. Giers, M.C. Preul, V.A. Byvaltsev // *PLoS ONE.* – 2017. – Vol. 12 (8). – P. e0183697.

92. Belykh, E., Krutko, A.V., Baykov, E.S., Giers, M.B., Preul, M.C., Byvaltsev, V.A. Preoperative estimation of disc herniation recurrence after microdiscectomy: predictive value of a multivariate model based on radiographic parameters / E. Belykh, A.V. Krutko, E.S. Baykov, M.B. Giers, M.C. Preul, V.A. Byvaltsev // *Spine J.* – 2017. – Vol. 17 (3). – P. 390–400.

93. Belykh, E. The Role of Bone Morphogenetic Proteins 2, 7 and 14 in

Approaches for Intervertebral Disk Restoration / E. Belykh, M. Giers, L. Bardonova, N. Theodore, M. Preul, V. Byvaltsev // *World Neurosurgery*. – 2015. – Vol. 84 (4). – P. 870–877.

94. Benzel, E.C. Spine surgery: techniques, complication avoidance and management / E.C. Benzel. – Livingstone, 2005. – 2205 p.

95. Benzel, E.C. Stability and instability of the spine / E.C. Benzel // *Biomechanics of Spine Stabilization*. – AANS, New York, USA, 2001. – P. 29–43.

96. Berg, S., Gillberg-Aronsson, N. Clinical outcomes after treatment with disc prostheses in three lumbar segments compared to one- or two segments / S. Berg, N. Gillberg-Aronsson // *Int J Spine Surg*. – 2015. – Vol. 9. – P. 49.

97. Bertagnoli, R., Yue, J.J., Nanieva, R., Fenk-Mayer, A., Husted, D.S., Shah, R.V., Emerson, J.W. Lumbar total disc arthroplasty in patients older than 60 years of age: a prospective study of the ProDisc prosthesis with 2-year minimum follow-up period / R. Bertagnoli, J.J. Yue, R. Nanieva, A. Fenk-Mayer, D.S. Husted, R.V. Shah, J.W. Emerson // *J Neurosurg Spine*. – 2006. – Vol. 4. – P. 85–90.

98. Bertagnoli, R., Yue, J.J., Shah, R.V., Nanieva, R., Pfeiffer, F., Fenk-Mayer, A., Kershaw, T., Husted, D.S. The treatment of disabling single-level lumbar discogenic low back pain with total disc arthroplasty utilizing the Prodisc prosthesis: a prospective study with 2-year minimum follow-up / R. Bertagnoli, J.J. Yue, R.V. Shah, R. Nanieva, F. Pfeiffer, A. Fenk-Mayer, T. Kershaw, D.S. Husted // *Spine*. – 2005. – Vol. 30. – P. 2230–2236.

99. Blumenthal, S., McAfee, P.C., Guyer, R.D. A prospective, randomized, multicenter Food and Drug Administration investigational device exemptions study of lumbar total disc replacement with the CHARITE artificial disc versus lumbar fusion: part I: evaluation of clinical outcomes / S. Blumenthal, P.C. McAfee, R.D. Guyer // *Spine*. – 2005. – Vol. 30. – P. 1565–1575.

100. Bono, C.M., Kadaba, M., Vaccaro, A.R. Posterior pedicle fixation-based dynamic stabilization devices for the treatment of degenerative diseases of the lumbar spine / C.M. Bono, M. Kadaba, A.R. Vaccaro // *Journal of Spinal Disorders and Techniques*. – 2009. – Vol. 22 (5). – P. 376–383.

101. Boos, N. Classification of Age-Related Changes in Lumbar Intervertebral Discs / N. Boos, S. Weissbach, H. Rohrbach, C. Weiler, K.F. Spratt, A.G. Nerlich // *Spine*. – 2001. – Vol. 27 (23). – P. 2631–2644.
102. Bothmann, M., Kast, E., Boldt, G.J., Oberle, J. Dynesys fixation for lumbar spine degeneration / M. Bothmann, E. Kast, G.J. Boldt, J. Oberle // *Neurosurgical Review*. – 2008. – Vol. 31 (2). – P. 189–196.
103. Boxberger, J.I., Auerbach, J.D., Sen, S., Elliott, D.M. An in vivo model of reduced nucleus pulposus glycosaminoglycan content in the rat lumbar intervertebral disc / J.I. Boxberger, J.D. Auerbach, S. Sen, D.M. Elliott // *Spine*. – 2008. – Vol. 33 (2) – P.146–54.
104. Boxberger, J.I., Sen, S., Yerramalli, C.S., Elliot, D.M. Nucleus pulposus glycosaminoglycan content is correlated with axial mechanics in rat lumbar motion segments / J.I. Boxberger, S. Sen, C.S. Yerramalli, D.M. Elliot // *J Orthop Res*. – 2006. – Vol. 24 (9). – P. 1906–1915.
105. Bozkus, H., Senoglu, M., Baek, S., Sawa, A.G., Ozer, A.F., Sonntag, V.K., Crawford, N.R. Dynamic lumbar pedicle screw-rod stabilization: in vitro biomechanical comparison with standard rigid pedicle screw-rod stabilization. *Journal of Neurosurgery* / H. Bozkus, M. Senoglu, S. Baek, A.G. Sawa, A.F. Ozer, V.K. Sonntag, N.R. Crawford // *Spine*. – 2010. – Vol. 12 (2). – P. 183–189.
106. Bridwell, K.H., Sedgewick, T.A., O'Brien, M.F., Lenke, L.G., Baldus, C. The role of fusion and instrumentation in the treatment of degenerative spondylolisthesis with spinal stenosis / K.H. Bridwell, T.A. Sedgewick, M.F. O'Brien, L.G. Lenke, C. Baldus // *Journal of Spinal Disorders*. – 1993. – Vol. 6 (6). – P. 461–472.
107. Brooker, A.F., Bowerman, J.W., Robinson, R.A., Riley, L.H. Jr. Ectopic ossification following total hip replacement. Incidence and a method of classification / A.F. Brooker, J.W. Bowerman, R.A. Robinson, L.H. Jr. Riley // *J Bone Joint Surg Am*. – 1973. – Vol. 55. – P. 1629–1632.
108. Bron, J., van Royen, B., Wuisman, P.I.J.M. The clinical significance of lumbosacral transitional anomalies / J. Bron, B. van Royen, P.I.J.M. Wuisman // *Acta Orthop Belg*. – 2007. – Vol. 73. – P. 687–695.

109. Brown, T., Bao, Q.B., Kilpela, T., Songer, M. An in vitro biotribological assessment of NUBAC, a polyetheretherketone-on-polyetheretherketone articulating nucleus replacement device: methodology and results from a series of wear tests using different motion profiles, test frequencies, and environmental conditions / T. Brown, Q.B Bao., T. Kilpela, M. Songer // *Spine*. – 2010. – Vol. 35 (16). – P. E774–E781.
110. Buckwalter, J.A. Aging and degeneration of the human intervertebral disc / J.A. Buckwalter // *Spine*. – 1995. – Vol. 20. – P. 1307–1314.
111. Buric, J., Pulidori, M. Long-term reduction in pain and disability after surgery with the interspinous device for intervertebral assisted motion (DIAM) spinal stabilization system in patients with low back pain: 4-year follow-up from a longitudinal prospective case series / J. Buric, M. Pulidori // *Eur Spine J*. – 2011. – Vol. 20 (8). – P. 1304–1311.
112. Burke, J.G. Intervertebral discs which cause low back pain secrete high levels of proinflammatory mediators / J.G. Burke, R.W. Watson, D. McCormack, F.E. Dowling, M.G. Walsh, J.M. Fitzpatrick // *J. Bone Joint Surg. Br*. – 2002. – Vol. 84. – P. 196–201.
113. Burnet, N.G., Nasr, P., Yip, G., Scaife, J.E., House, T., Thomas, S.J., Harris, F., Owen, P.J., Hull, P. Prophylactic radiotherapy against heterotopic ossification following internal fixation of acetabular fractures: a comparative estimate of risk / N.G. Burnet, P. Nasr, G. Yip, J.E. Scaife, T. House, S.J. Thomas, F. Harris, P.J. Owen, P. Hull // *Br J Radiol*. – 2014. – Vol. 87. – P. 20140398.
114. Buttner-Janzen, K., Schellnack, K., Zippel, H. Biomechanics of the SB Charite lumbar intervertebral disc endoprosthesis. / K. Buttner-Janzen, K. Schellnack, H. Zippel // *International Orthopaedics*. – 1989. – Vol. 13 (3). – P. 173–176.
115. Buttner-Janzen, K. Classification of spine arthroplasty devices / K. Buttner-Janzen // *Motion Preservation Surgery of the Spine* / ed. by J.J. Yu, R. Bertagnoli, P.C. McAfee, H.S. An.. – Philadelphia, Pa, USA: Saunders Elsevier Press, 2008. – P. 21–35.
116. Bydon, M., Xu, R., Santiago-Dieppa, D., Macki, M., Sciubba, D.M., Wolinsky, J.P., Bydon, A., Gokaslan, Z.L., Witham, T.F. Adjacent-segment disease in 511 cases of posterolateral instrumented lumbar arthrodesis: floating fusion versus distal

construct including the sacrum / M. Bydon, R. Xu, D. Santiago-Dieppa, M. Macki, D.M. Sciubba, J.P. Wolinsky, A. Bydon, Z.L. Gokaslan, T.F. Witham // *J Neurosurg Spine*. – 2014. – Vol. 20. – P. 380–386.

117. Byvaltsev, V.A., Stepanov, I.A., Kalinin, A.A., Shashkov, K.V. Diffusion Weighted Magnetic Resonance Tomography in the Diagnosis of Intervertebral Disk Degeneration / V.A. Byvaltsev, I.A. Stepanov, A.A. Kalinin., K.V. Shashkov // *Biomedical Engineering*. – 2016. – Vol. 50 (4). – P. 253–256.

118. Byvaltsev, V.A., Kalinin, A.A., Pestryakov, Yu.Ya., Stepanov, I.A., Shepelev, V.V., Khachikyan, A.F., Hovhannisyanyan, G.L. Outcome analysis of using arthroplasty of intervertebral disc of lumbosacral spine with «M-6 L» prosthesis / V.A. Byvaltsev, A.A. Kalinin, Yu.Ya. Pestryakov, I.A. Stepanov, V.V. Shepelev, A.F. Khachikyan, G.L. Hovhannisyanyan // *The new Armenian medical journal*. – 2017. – Vol. 11 (1). – P. 48–54.

119. Byvaltsev, V.A., Kalinin, A.A., Khachikyan, A.F., Minasyan, I.S. Surgical interventions in unstable forms of degenerative lumbosacral spine / V.A. Byvaltsev, A.A. Kalinin, A.F. Khachikyan, I.S. Minasyan // *The new Armenian medical journal*. – 2016. – Vol. 10 (4). – P. 34–48.

120. Caker, S., Tullberg, T., Branth, B., Olerud, C., Tropp, H. Total disc replacement compared to lumbar fusion: a randomised controlled trial with 2-year follow-up / S. Caker, T. Tullberg, B. Branth, C. Olerud, H. Tropp // *Eur Spine J*. – 2009. – Vol. 18. – P. 1512–1519.

121. Cakir, B., Carazzo, C., Schmidt, R., Mattes, T., Reichel, H., Kafer, W. Adjacent segment mobility after rigid and semirigid instrumentation of the lumbar spine / B. Cakir, C. Carazzo, R. Schmidt, T. Mattes, H. Reichel, W. Kafer // *Spine*. – 2009. – Vol. 34 (12). – P. 1287–1291.

122. Carragee, E.J., Alamin, T.F. Discography: a review / E.J. Carragee, T.F. Alamin // *Spine J*. – 2001. – Vol. 1 (5). – P. 364–372.

123. Caspar, W., Campbell, B., Barbier, D.D., Kretschmmer, R., Gotfried, Y. The Caspar microsurgical discectomy and comparison with a conventional standard lumbar disc procedure / W. Caspar, B. Campbell, D.D. Barbier, R. Kretschmmer, Y.

Gotfried // *Neurosurgery*. – 1991. – Vol. 28 (1). – P. 78–87.

124. Castro-Menéndez, M., Bravo-Ricoy, J.A., Casal-Moro, R., Hernández-Blanco M., Jorge-Barreiro F.J. Midterm outcome after microendoscopic decompressive laminotomy for lumbar spinal stenosis: 4-year prospective study / M. Castro-Menéndez, J.A. Bravo-Ricoy, R. Casal-Moro, M. Hernández-Blanco, F.J. Jorge-Barreiro // *Neurosurgery*. – 2009. – Vol. 65 (1). – P. 100–110.

125. Caterini, R., Mancini, F., Bisicchia, S., Maglione, P., Farsetti, P. The correlation between exaggerated fluid in lumbar facet joints and degenerative spondylolisthesis: prospective study of 52 patients / R. Caterini, F. Mancini, S. Bisicchia, P. Maglione, P. Farsetti // *J. Orthopaed Traumatol.* – 2011. – Vol. 12 (2). – P. 87–91.

126. Cevei, M. Imagistic and histopathologic concordances in degenerative lesions of intervertebral disks / M. Cevei, E. Rosca, L. Liviu, G. Mutiu, D. Stoicanescu, L. Vasile // *Rom J Morphol Embryol.* – 2011. – Vol. 52 (1). – P. 327–332.

127. Chakkalakal, S.A., Zhang, D., Culbert, A.L., Convente, M.R., Caron, R.J., Wright, A.C., Maidment, A.D., Kaplan, F.S., Shore, E.M. An *Acvr1* R206H knock-in mouse has fibrodysplasia ossificans progressive / S.A. Chakkalakal, D. Zhang, A.L. Culbert, M.R. Convente, R.J. Caron, A.C. Wright, A.D. Maidment, F.S. Kaplan, E.M. Shore // *J Bone Miner Res.* – 2012. – Vol. 27. – P. 1746–1756.

128. Cho, J., Kik, Y., Jeong, W., Song, S., Cho, O. Heterotopic ossification developing in surgical incisions of the abdomen: analysis of its incidence and possible factors associated with its development / J. Cho, Y. Kik, W. Jeong, S. Song, O. Cho // *J Comput Assist Tomogr.* – 2008. – Vol. 32 (6). – P. 872–876.

129. Choi, Y., Kim, K., So, K. Adjacent segment instability after treatment with a graf ligament at minimum 8 years' follow up / Y. Choi, K. Kim, K. So // *Clinical Orthopaedics and Related Research.* – 2009. – Vol. 467 (7). – P. 1740–1746.

130. Chou, D., Lau, D., Skelly, A., Ecker, E. Dynamic stabilization versus fusion for treatment of degenerative spine conditions. / D. Chou, D. Lau, A. Skelly, E. Ecker // *Evid Based Spine Care J.* – 2011. – Vol. 2 (3). – P. 33–42.

131. Chung, S.S., Lee, C.S., Kang, C.S., Kim, S.H. The effect of lumbar total

disc replacement on the spinopelvic alignment and range of motion of the lumbar spine / S.S. Chung, C.S. Lee, C.S. Kang, S.H. Kim // *J Spinal Disord Tech.* – 2006. – Vol. 19. – P. 307–311. doi: 10.1097/01.bsd.0000208255.14329.1e.

132. Cienciala, J., Chaloupka, R., Repko, M., Krbec, M. Dynamic neutralization using the dynesys system for treatment of degenerative disc disease of the lumbar spine / J. Cienciala, R. Chaloupka, M. Repko, M. Krbec // *Acta Chirurgiae Orthopaedicae et Traumatologiae Cechoslovaca.* – 2010. – Vol. 77 (3). – P. 203–208.

133. Clavel, P., Ungureanu, G., Catalá, I., Montes, G., Málaga, X., Ríos, M. Health-related quality of life in patients undergoing lumbar total disc replacement: A comparison with the general population / P. Clavel, G. Ungureanu, I. Catalá, G. Montes, X. Málaga, M. Ríos // *Clin Neurol Neurosurg.* – 2017. – Vol. 160. – P. 119–124.

134. Cloward, R.B. The treatment of ruptured lumbar intervertebral discs by vertebral body fusion. Indications, operative technique, after care / R.B. Cloward // *Journal of Neurosurgery.* – 1953. – Vol. 10 (2). – P. 154–168.

135. Coe, J.D., Kitchel, S.H., Meisel, H.J., Wingo, C.H., Lee, S.E., Jahng, T.A. NFlex dynamic stabilization system: two year clinical outcomes of multi-center study / J.D. Coe, S.H. Kitchel, H.J. Meisel, C.H. Wingo, S.E. Lee, T.A. Jahng // *Journal of Korean Neurosurgical Society.* – 2012. – Vol. 51 (6). – P. 343–349.

136. Convente, M.R., Wang, H., Pignolo, R.J., Kaplan, F.S., Shore, E.M. The immunological contribution to heterotopic ossification disorders / M.R. Convente, H. Wang, R.J. Pignolo, F.S. Kaplan, E.M. Shore // *Curr Osteoporos Rep.* – 2015. – Vol. 13. – P. 116–124.

137. Cook, D.J., Yeager, M.S., Cheng, B.C. Range of motion of the intact lumbar segment: a multivariate study of 42 lumbar spines / D.J. Cook, M.S. Yeager, B.C. Cheng // *Int. J. Spine Surg.* – 2015. – Vol. 9. – P. 5.

138. Cunningham, B.W., Dmitriev, A.E., Hu, N. General principles of total disc replacement arthroplasty: seventeen cases in a nonhuman primate model / B.W. Cunningham, A.E. Dmitriev, N. Hu // *Spine.* – 2003. – Vol. 28. – P. 118–124.

139. Daftari, T.K., Chinthakunta, S.R., Ingallhalikar. A., Gudipally, M., Hussain, M., Khalil, S. Kinematics of a selectively constrained radiolucent anterior lumbar disc:

comparisons to hybrid and circumferential fusion / T.K. Daftari, S.R. Chinthakunta, A. Ingalhalikar, M. Gudipally, M. Hussain, S. Khalil // *Clin Biomech.* – 2012. – Vol. 27. – P. 759–765.

140. Davis, P.R. Human lower lumbar vertebrae: some mechanical and osteological considerations / P.R. Davis // *J Anat.* – 1961. – Vol. 95. – P. 337–444.

141. Delpont, E.G., Cucuzzella, T.R., Kim, N., et al. Lumbosacral transitional vertebrae: incidence in a consecutive patient series / E.G. Delpont, T.R. Cucuzzella, N. Kim, et al. // *Pain Physician.* – 2006. – Vol. 9. – P. 53–56.

142. Ding, F., Jia, Z., Zhao, Z., Xie, L., Gao, X., Ma, D., Liu, M. Total disc replacement versus fusion for lumbar degenerative disc disease: a systematic review of overlapping meta-analyses / F. Ding, Z. Jia, Z. Zhao, L. Xie, X. Gao, D. Ma, M. Liu // *Eur Spine J.* – 2017. – Vol. 26 (3). – P. 806–815.

143. Elster, A.D. Bertolotti's syndrome revisited. Transitional vertebrae of the lumbar spine / A.D. Elster // *Spine.* – 1989. – Vol. 14. – P. 1373–1377.

144. Erbulut, D.U., Kiapour, A., Oktenoglu, T., Ozer, A.F., Goel, V.K. A computational biomechanical investigation of posterior dynamic instrumentation: combination of dynamic rod and hinged (dynamic) screw / D.U. Erbulut, A. Kiapour, T. Oktenoglu, A.F. Ozer., V.K. Goel // *J Biomech Eng.* – 2014. – Vol. 136 (5) – P. 051007.

145. Erkan, S., Rivera, Y., Wu, C., Mehbod, A.A., Transfeldt, E.E. Biomechanical comparison of a two-level Maverick disc replacement with a hybrid one-level disc replacement and one-level anterior lumbar interbody fusion / S. Erkan, Y. Rivera, C. Wu, A.A. Mehbod, E.E. Transfeldt // *Spine J.* – 2009. – Vol. 9. – P. 830–835.

146. Errico, T.J., Kamerlink, J.R., Quirno, M., Samani, J., Chomiak, R.J. Survivorship of coflex Interlaminar-Interspinous Implant / T.J. Errico, J.R. Kamerlink, M. Quirno, J. Samani, R.J. Chomiak // *SAS J.* – 2009 – Vol. 3 (2). – P. 59–67.

147. Eyre, D.R. Collagen polymorphisms of the intervertebral disc / D.R. Eyre, Y. Matsui, J.J. Wu // *Biochem Soc Trans.* – 2001. – Vol. 30. – P. 844–848.

148. Fairbank, J., Frost, H., Wilson-MacDonald, J. Randomised controlled trial to compare surgical stabilisation of the lumbar spine with an intensive rehabilitation programme for patients with chronic low back pain: the MRC spine stabilisation trial /

- J. Fairbank, H. Frost, J. Wilson-MacDonald // *BMJ*. – 2005. – Vol. 330. – P. 1233–1241.
149. Fairbank, J.C., Couper, J., Davies, J.B., O'Brien, J.P. The Oswestry low back pain disability questionnaire / J.C Fairbank., J. Couper, J.B. Davies, J.P. O'Brien // *Physiotherapy*. – 1980. – Vol. 66. – P. 271–273.
150. Faldini, C., Perna, F., Chehrassan, M., Borghi, R., Stefanini, N., Traina, F. Surgical tricks for open lumbar discectomy / C. Faldini, F. Perna, M. Chehrassan, R. Borghi, N. Stefanini, F. Traina // *Eur Spine J*. – 2017. – Vol. 26 (Suppl 3). – P. 425–426.
151. Feng, F., Xu, Q., Yan, F., Xie, Y., Deng, Z., Hu, C., Zhu, X., Cai, L. Comparison of 7 Surgical Interventions for Lumbar Disc Herniation: A Network Meta-analysis / F. Feng, Q. Xu, F. Yan, Y. Xie, Z. Deng, C. Hu, X. Zhu, L. Cai // *Pain Physician*. – 2017. – Vol. 20 (6). – P. E863–E871.
152. Fernstrom, U. Arthroplasty with intercorporal endoprosthesis in herniated disc and in painful disc / U. Fernstrom // *Acta Chirurgica Scandinavica, Supplement*. – 1966. – Vol. 357. – P. 154–159.
153. Formica, M., Divano, S., Cavagnaro, L., Basso, M., Zanirato, A., Formica, C., Felli, L. Lumbar total disc arthroplasty: outdated surgery or here to stay procedure? A systematic review of current literature / M. Formica, S. Divano, L. Cavagnaro, M. Basso, A. Zanirato, C. Formica, L. Felli // *J Orthop Traumatol*. – 2017. – Vol. 18. – P. 197–215.
154. Fransen, M., Neal, B. Non-steroidal anti-inflammatory drugs for preventing heterotopic bone formation after hip arthroplasty / M. Fransen, B. Neal // *Cochrane Database Syst Rev*. – 2004. – Vol. (3). – P. CD001160.
155. Freemont, A.J. The cellular pathobiology of the degenerate intervertebral disc and discogenic back pain / A.J. Freemont // *Rheumatology*. – 2009. – Vol. 48 (1). – P. 5–10.
156. Frelinghuysen, P., Huang, R.C., Girardi, F.P. Lumbar total disc replacement part I: rationale, biomechanics, and implant types / P. Frelinghuysen, R.C. Huang, F.P. Girardi // *Orthop Clin North Am*. – 2005 – Vol. 36. – P. 293–299.
157. Fritzell, P., Hagg, O., Jonsson, D., Nordwall, A. Swedish Lumbar Spine Study Group. Cost effectiveness of lumbar fusion and nonsurgical treatment for chronic

low back pain in the Swedish lumbar spine study: a multicenter, randomized, controlled trial from the Swedish lumbar spine study group / P. Fritzell, O. Hagg, D. Jonsson, A. Nordwall // *Spine*. – 2004. – Vol. 29 (4). – P. 421–434.

158. Frymoyer, J.W., Selby, D.K. Segmental instability: rationale for treatment / J.W. Frymoyer, D.K. Selby // *Spine*. – 1985. – Vol. 10 (3). – P. 280–286.

159. Fujiwara, A. The Effect of Disc Degeneration and Facet Joint Osteoarthritis on the Segmental Flexibility of the Lumbar Spine / A. Fujiwara, T.H. Lim, H.S. An, N. Tanaka, C.H. Jeon, G.B. Andersson, V.M. Haughton // *Spine*. – 2000. – Vol. 25 (23). – P. 3036–3044.

160. Gamradt, S.C., Wang, J.C. Lumbar disc arthroplasty / S.C. Gamradt, J.C. Wang // *The Spine Journal*. – 2005. – Vol. 5 (1). – P. 95–103.

161. Gao, J., Zhao, W., Zhang, X., Nong, L., Zhou, D., Lv, Z., Sheng, Y., Wu, X. MRI analysis of the ISOBAR TTL internal fixation system for the dynamic fixation of intervertebral discs: a comparison with rigid internal fixation / J. Gao, W. Zhao, X. Zhang, L. Nong, D. Zhou, Z. Lv, Y. Sheng, X. Wu // *J Orthop Surg Res*. – 2014. – Vol. 9. – P. 43.

162. Glaser, J., Stanley, M., Sayre, H., Woody, J., Found, E., Spratt, K. A 10-year follow-up evaluation of lumbar spine fusion with pedicle screw fixation / J. Glaser, M. Stanley, H. Sayre, J. Woody, E. Found, K. Spratt // *Spine*. – 2003. – Vol. 28 (13). – P. 1390–1395.

163. Goel, V.K., Mehta, A., Jangra, J., Faizan, A., Kiapour, A., Hoy, R.W., Fauth, A.R. Anatomic Facet Replacement System (AFRS) Restoration of Lumbar Segment Mechanics to Intact: A Finite Element Study and In Vitro Cadaver Investigation / V.K. Goel, A. Mehta, J. Jangra, A. Faizan, A. Kiapour, R.W. Hoy, A.R. Fauth // *SAS J*. – 2007. – Vol. 1(1). – P. 46–54.

164. Gomleksiz, C., Sasani, M., Oktenoglu, T., Ozer, A.F. A short history of posterior dynamic stabilization / C. Gomleksiz, M. Sasani, T. Oktenoglu, A.F. Ozer // *Adv Orthop*. – 2012. – Vol. 2012. – P. 629698.

165. Gornet, M.F., Chan, F.W., Coleman, J.C., Murrell, B., Nockels, R.P., Taylor, B.A., Lanman, T.H., Ochoa, J.A. Biomechanical assessment of a PEEK rod

system for semi-rigid fixation of lumbar fusion constructs / M.F. Gornet, F.W. Chan, J.C. Coleman, B. Murrell, R.P. Nockels, B.A. Taylor, T.H. Lanman, J.A. Ochoa // *Journal of Biomechanical Engineering*. – 2011. – Vol. 133 (8). – P. 081009.

166. Grevitt, M.P., Gardner, A.D., Spilsbury, J., Shackelford, I.M., Baskerville, R., Pursell, L.M., Hassaan, A., Mulholland, R.C. The Graf stabilisation system: early results in 50 patients / M.P. Grevitt, A.D. Gardner, J. Spilsbury, I.M. Shackelford, R. Baskerville, L.M. Pursell, A. Hassaan, R.C. Mulholland // *European Spine Journal*. – 1995. – Vol. 4 (3). – P. 169–175.

167. Grob, D., Benini, A., Junge, A., Mannion, A.F. Clinical experience with the dynesys semirigid fixation system for the lumbar spine: surgical and patient-oriented outcome in 50 cases after an average of 2 years / D. Grob, A. Benini, A. Junge, A.F. Mannion // *Spine*. – 2005. – Vol. 30 (3). – P. 324–331.

168. Guyer, R.D., Pettine, K., Roh, J.S., Dimmig, T.A., Coric, D., McAfee, P.C., Ohnmeiss, D.D. Five-year follow-up of a prospective, randomized trial comparing two lumbar total disc replacements / R.D. Guyer, K. Pettine, J.S. Roh, T.A. Dimmig, D. Coric, P.C. McAfee, D.D. Ohnmeiss // *Spine*. – 2016. – Vol. 41. – P. 3–8.

169. Guyer, R.D., McAfee, P.C., Banco, R.J., Bitan, F.D., Cappuccino, A., Geisler, F.H., Hochschuler, S.H., Holt, R.T., Jenis, L.G., Majd, M.E., Regan, J.J., Tromanhauser, S.G., Wong, D.C., Blumenthal, S.L. Prospective, randomized, multicenter Food and Drug Administration investigational device exemption study of lumbar total disc replacement with the CHARITE artificial disc versus lumbar fusion: five-year follow-up / R.D. Guyer, P.C. McAfee, R.J. Banco, F.D. Bitan, A. Cappuccino, F.H. Geisler, S.H. Hochschuler, R.T. Holt, L.G. Jenis, M.E. Majd, J.J. Regan, S.G. Tromanhauser, D.C. Wong, S.L. Blumenthal // *Spine J*. – 2009. – Vol. 9. – P. 374–386.

170. Hadlow, S.V., Fagan, A.B., Hillier, T.M., Fraser, R.D. The graft ligamentoplasty procedure: comparison with posterolateral fusion in the management of low back pain / S.V. Hadlow, A.B. Fagan, T.M. Hillier, R.D. Fraser // *Spine*. – 1998. Vol. 23 (10). – P. 1172–1179.

171. Hancock, M.J., Maher, C.G., Latimer, J., Spindler, M.F., McAuley, J.H., Laslett, M., Bogduk, N. Systematic review of tests to identify the disc, SIJ or facet joint

as the source of low back pain / M.J. Hancock., C.G. Maher, J. Latimer, M.F. Spindler, J.H. McAuley, M. Laslett, N. Bogduk // *Eur Spine J.* – 2007. – Vol. 16 (10). – P. 1539–1550.

172. Hangai, M. Factors associated with lumbar intervertebral disc degeneration in the elderly / M. Hangai, K. Kaneoka, S. Kuno, S. Hinotsu, M. Sakane, N. Mamizuka, S. Sakai, N. Ochiai // *Spine J.* – 2008. – Vol. 8. – P. 732–740.

173. Harrington, P.R. The history and development of Harrington instrumentation / P.R. Harrington // *Clinical Orthopaedics.* – 1973. – Vol. 93. – P. 110–112.

174. Harrop, J.S., Youssef, J.A., Maltenfort, M., Vorwald, P., Jabbour, P., Bono, C.M., Goldfarb, N., Vaccaro, A.R., Hilibrand, A.S. Lumbar adjacent segment degeneration and disease after arthrodesis and total disc arthroplasty / J.S. Harrop, J.A. Youssef, M. Maltenfort, P. Vorwald, P. Jabbour, C.M. Bono, N. Goldfarb, A.R. Vaccaro, A.S. Hilibrand // *Spine.* – 2008. – Vol. 33 (15). – P. 1701–1707.

175. Hasegawa, K. What are the reliable radiological indicators of lumbar segmental instability? / K. Hasegawa, H. Shimoda, K. Kitahara, K. Sasaki, T. Homma // *J Bone Joint Surg.* – 2011. – Vol. 93. – P. B650–B657.

176. Hashem, S., Abdelbar, A., Ibrahim, H., Alaa-Eldin, Habib M., Abdel-Monem, A., Hamdy, H. Review of device and operator related complications of transpedicular screw fixation for the thoracic and lumbar regions / S. Hashem, A. Abdelbar, H. Ibrahim, M. Alaa-Eldin Habib, A. Abdel-Monem, H. Hamdy // *Egypt J Neurol Psychiat Neurosurg.* – 2012. – Vol. 49. – P. 393–398.

177. Helgeson, M.D., Bevevino, A.J., Hilibrand, A.S. Update on the evidence for adjacent segment degeneration and disease / M.D. Helgeson, A.J. Bevevino, A.S. Hilibrand // *Spine J.* – 2013. – Vol. 13. – P. 342–351.

178. Hibbs, R.A. An operation for progressive spinal deformities / M.D. Helgeson, A.J. Bevevino, A.S. Hilibrand // *New York Medical Journal.* – 1911. – Vol. 93. – P. 1013–1016.

179. Hilibrand, A.S., Carlson, G.D., Palumbo, M.A. Radiculopathy and myelopathy at segments adjacent to the site of a previous anterior cervical arthrodesis /

A.S. Hilibrand, G.D. Carlson, M.A. Palumbo // *J Bone Joint Surg Am.* – 1999. – Vol. 81(4). – P. 519–528.

180. Hilibrand, A.S., Robbins, M. Adjacent segment degeneration and adjacent segment disease: the consequences of spinal fusion? / A.S. Hilibrand, Carlson G.D., M.A. Palumbo // *Spine Journal.* – 2004. – Vol. 4 (6). – P. S190–S194.

181. Hirasawa, Y. Postural variation in dural sac cross sectional area measured in normal individual's supine, standing and sitting, using MRI / Y. Hirasawa, W. Bashir, M.H. Pope, F.W. Smith // *RSNA. Radiology.* – 2003. – Vol. 1316. – P. 641.

182. Hoff, E.K., Strube, P., Pumberger, M., Zahn, R.K., Putzier, M. ALIF and total disc replacement versus 2-level circumferential fusion with TLIF: a prospective, randomized, clinical and radiological trial / E.K. Hoff, P. Strube, M. Pumberger, R.K. Zahn, M. Putzier // *Eur Spine J.* – 2016. – Vol. 25 (5). – P. 1558–1566.

183. Hsieh, C.Y., Vanderford, J.D., Moreau, S.R., Prong, T. Lumbosacral transitional segments: classification, prevalence, and effect on disk height / C.Y. Hsieh, J.D. Vanderford, S.R. Moreau, T. Prong // *J Manipulative Physiol Ther.* – 2000. – Vol. 23. – P. 483–489.

184. Hu, R.W., Jaglal, S., Axcell, T., Anderson, G. A population based study of reoperations after back surgery / R.W. Hu, S. Jaglal, T. Axcell, G. Anderson // *Spine.* – 1997. – Vol. 22 (19). – P. 2265–2271.

185. Hughes, R.J., Saifuddin, A. Numbering of lumbosacral transitional vertebrae on MRI: role of the iliolumbar ligaments / R.J. Hughes, A. Saifuddin // *AJR Am J Roentgenol.* – 2006. – Vol. 187. – P. W59–65.

186. Imada, A.O., Huynh, T.R., Drazin, D. Minimally Invasive Versus Open Laminectomy/Discectomy, Transforaminal Lumbar, and Posterior Lumbar Interbody Fusions: A Systematic Review / A.O. Imada, T.R. Huynh, D. Drazin // *Cureus.* – 2017. – Vol. 9 (7). – P. e1488.

187. Jackson K.L., Hire J.M., Jacobs J.M., Key C.C., DeVine J.G. Heterotopic ossification causing radiculopathy after lumbar total disc arthroplasty / K.L. Jackson, J.M. Hire, J.M. Jacobs, C.C. Key, J.G. DeVine // *Asian Spine J.* – 2015. – Vol. 9. – P. 456–460.

188. Jacobs, W.C., van der Gaag, N.A., Kruyt, M.C., Tuschel, A., de Kleuver, M., Peul, W.C., Verbout, A.J., Oner, F.C. Total disc replacement for chronic discogenic low back pain: a Cochrane review / W.C. Jacobs, N.A. van der Gaag, M.C. Kruyt, A. Tuschel, M. de Kleuver, W.C. Peul, A.J. Verbout, F.C. Oner // *Spine*. – 2013. – Vol. 38. – P. 24–36.
189. Jang, S.Y. Radiographic Parameters of Segmental Instability in Lumbar Spine Using Kinetic MRI / S.Y. Jang, M.H. Kong, H.J. Hymanson, T.K. Jin, K.Y. Song, J.C. Wang // *J Korean Neurosurg Soc*. – 2009. – Vol. 45. – P. 24–31.
190. Jensen, T.S., Kjaer, P., Korsholm, L., Bendix, T., Sorensen, J.S., Manniche, C., Leboeuf-Yde, C. Predictors of new vertebral endplate signal (Modic) changes in the general population / T.S. Jensen, P. Kjaer, L. Korsholm, T. Bendix, J.S. Sorensen, C. Manniche, C. Leboeuf-Yde // *Eur Spine J*. – 2010. – Vol. 19 (1). – P. 129–135.
191. Jiang, Y.Q., Che, W., Wang, H.R., Li, R.Y., Li, X.L., Dong, J. Minimum 5 year follow-up of multi-segmental lumbar degenerative disease treated with discectomy and the Wallis interspinous device / Y.Q. Jiang, Che W., H.R. Wang, R.Y. Li, X.L. Li, J. Dong // *J Clin Neurosci*. – 2015. – Vol. 22 (7). – P. 1144–1149.
192. Jim, J.J. The TRP2 allele of COL9A2 is an age-dependent risk factor for the development and severity of intervertebral disc degeneration / J.J. Jim, N. Noponen-Hietala, K.M. Cheung // *Spine*. – 2005. – Vol. 30. – P. 2735–2742.
193. Kabir, S.M.R., Gupta, S.R., Casey, A.T.H. Lumbar interspinous spacers: a systematic review of clinical and biomechanical evidence / S.M.R. Kabir, S.R. Gupta, A.T.H. Casey // *Spine*. – 2010. – Vol. 35 (25). – P. E1499–E1506.
194. Kalichman, L. The genetics of intervertebral disc degeneration: Familial predisposition and heritability estimation / L. Kalichman, D.J. Hunter // *Joint Bone Spine*. – 2008. – Vol. 75. – P. 383–387.
195. Kanayama, M., Hashimoto, T., Shigenobu, K., Togawa, D., Oha. F. A minimum 10-year follow-up of posterior dynamic stabilization using graf artificial ligament / M. Kanayama, T. Hashimoto, K. Shigenobu, D. Togawa, F. Oha // *Spine*. – 2007. – Vol. 32 (18). – P. 1992–1996.
196. Kaner, T., Sasani, M., Oktenoglu, T., Aydin, A.L., Ozer, A.F. Clinical

outcomes of degenerative lumbar spinal stenosis treated with lumbar decompression and the Cosmic "semirigid" posterior system / T. Kaner, M. Sasani, T. Oktenoglu, A.L. Aydin, A.F. Ozer // *SAS Journal*. – 2010. – Vol. 4 (4). – P. 99–106.

197. Kaner, T., Dalbayrak, S., Oktenoglu, T., Sasani, M., Aydin, A.L., Ozer, F.O. Comparison of posterior dynamic and posterior rigid transpedicular stabilization with fusion to treat degenerative spondylolisthesis / T. Kaner, S. Dalbayrak, T. Oktenoglu, M. Sasani, A.L. Aydin, F.O. Ozer // *Orthopedics*. – 2010. – Vol. 33 (5).

198. Kaner, T., Ozer, A.F. Dynamic stabilization for challenging lumbar degenerative diseases of the spine: a review of the literature / T. Kaner, A.F. Ozer // *Adv Orthop*. – 2013. – Vol. 2013. – P. 753470.

199. Kaner, T., Sasani, M., Oktenoglu, T., Ozer, A.F. Dynamic stabilization of the spine: a new classification system / T. Kaner, M. Sasani, T. Oktenoglu, A.F. Ozer // *Turkish Neurosurgery*. – 2010. – Vol. 20 (2). – P. 205–215.

200. Kaner, T., Sasani, M., Oktenoglu, T., Cosar, M., Ozer, A.F. Utilizing dynamic rods with dynamic screws in the surgical treatment of chronic instability: a prospective clinical study / T. Kaner, M. Sasani, T. Oktenoglu, M. Cosar, A.F. Ozer // *Turkish Neurosurgery*. – 2009. – Vol. 19 (4). – P. 319–326.

201. Kauppila, L.I. Atherosclerosis and disc degeneration/low-back pain—a systematic review / L.I. Kauppila // *Eur J Vasc Endovasc Surg*. – 2009. – Vol. 37. – P. 661–670.

202. Kealey, S.M., Aho, T., Delong, D., Barboriak, D.P., Provenzale, J.M., Eastwood, J.D. Assessment of apparent diffusion coefficient in normal and degenerated intervertebral lumbar disks: initial experience // *Radiology*. – 2005. – Vol. 235 (2). – P. 569–574.

203. Kerttula, L.I., Jauhiainen, J.P., Tervonen, O., Suramo, I.J., Koivula, A., Oikarinen, J.T. Apparent diffusion coefficient in thoracolumbar intervertebral discs of healthy young volunteers / L.I. Kerttula, J.P. Jauhiainen, O. Tervonen, I.J. Suramo, A. Koivula, J.T. Oikarinen // *J. Magn. Reson. Imaging*. – 2000. – Vol. 12. – P. 255–260.

204. Kettler, A. Do early stages of lumbar intervertebral disc degeneration really cause instability? Evaluation of an in vitro database / A. Kettler, F. Rohlmann, C. Ring,

C. Mack, H.-J. Wilke // *Eur Spine J.* – 2011. – Vol. 20. – P. 578–584.

205. Khoo, L.T., Pimenta, L., Diaz, R. TOPS: total posterior facet replacement and dynamic motion segment stabilization system / L.T. Khoo, L. Pimenta, R. Diaz // *Motion Preservation Surgery of the Spine* / ed. by J.J. Yu, R. Bertagnoli, P.C. McAfee, H.S. An. – Philadelphia, Pa, USA: Saunders Elsevier Press, 2008. – P. 551–564.

206. Khoeir, P., Kim, K.A., Wang, M.Y. Classification of posterior dynamic stabilization devices / P. Khoeir, K.A. Kim, M.Y. Wang // *Neurosurgical Focus.* –2007. – Vol. 22 (1). – P. E3.

207. Kim, Y.J., Lee, S.G., Park, C.W., Son, S., Kim, W.K. Long-term Follow-up (Minimum 5 Years) Study of Single-level Posterior Dynamic Stabilization in Lumbar Degenerative Disease; 'Interspinous U' & 'DIAM' / Y.J. Kim, S.G. Lee, C.W. Park, S. Son, W.K. Kim // *Korean J Spine.* – 2012. – Vol. 9 (2). – P. 102–107.

208. Kirkaldy-Willis, W.H., Farfan, H.F. Instability of the lumbar spine / W.H. Kirkaldy-Willis, H.F. Farfan // *Clinical Orthopaedics and Related Research.* – 1982. – Vol. 165. – P. 110–123.

209. Knutsson, F. The instability associated with disc degeneration in the lumbar spine / F. Knutsson // *Acta Radiologica.* – 1944. – Vol. 25. – P. 593–609.

210. Kong, D.-S. One-year Outcome Evaluation after Interspinous Implantation for Degenerative Spinal Stenosis with Segmental Instability / D.-S. Kong, E.-S. Kim, W. Eoh // *J Korean Med Sci.* – 2007. – Vol. 22. – P. 330–335.

211. Konin, G.P., Walz, D.M. Lumbosacral transitional vertebrae: classification, imaging findings, and clinical relevance / G.P. Konin, D.M. Walz // *AJNR Am J Neuroradiol.* –2010. – Vol. 31. – P. 1778–1786.

212. Korovessis, P., Papazisis, Z., Koureas, G. Rigid, semirigid versus dynamic instrumentation for degenerative lumbar spinal stenosis: a correlative radiological and clinical analysis of short-term results / P. Korovessis, Z. Papazisis, G. Koureas // *Spine.* – 2004. – Vol. 29 (7). – P. 735–742.

213. Koyama, H., Yoshihara, H., Kotera, M., Tamura, T., Sugimura, K. The quantitative diagnostic capability of routine MR imaging and diffusion-weighted imaging in osteoporosis patients / H. Koyama, H. Yoshihara, M. Kotera, T. Tamura, K.

Sugimura // *Clin Imaging*. – 2013. – Vol. 37 (5). – P. 925–929.

214. Krappel, F., Brayda-Bruno, M., Alessi, G., Remacle, J.M., Lopez, L.A., Fernández, J.J., Maestretti, G., Pfirrmann, C.W.A. Herniectomy versus herniectomy with the DIAM spinal stabilization system in patients with sciatica and concomitant low back pain: results of a prospective randomized controlled multicenter trial / F. Krappel, M. Brayda-Bruno, G. Alessi, J.M. Remacle, L.A. Lopez, J.J. Fernández, G. Maestretti, C.W.A. Pfirrmann // *Eur Spine J*. – 2017. – Vol. 26 (3). – P. 865–876.

215. Kulig, K. Segmental lumbar mobility in individuals with low back pain: in vivo assessment during manual and self-imposed motion using dynamic MRI / K. Kulig, C.M. Powers, R.F. Landel, H. Chen, M. Fredericson, M. Guillet, K. Butts // *BMC Musculoskeletal Disorders*. – 2007. – Vol. 8 (8). – P. 1–10.

216. Kumar, A., Beastall, J., Hughes, J., Karadimas, E.J., Nicol, M., Smith, F., Wardlaw, D. Disc changes in the bridged and adjacent segments after Dynesys dynamic stabilization system after two years / A. Kumar, J. Beastall, J. Hughes, E.J. Karadimas, M. Nicol, F. Smith, D. Wardlaw // *Spine*. – 2008. – Vol. 33 (26). – P. 2909–2914.

217. Kumar, N., Shah, S.M., Ng, Y.H., Pannierselvam, V.K., DasDe, S., Shen, L. Role of coflex as an adjunct to decompression for symptomatic lumbar spinal stenosis / N. Kumar, S.M. Shah, Y.H. Ng, V.K. Pannierselvam, S. DasDe, L. Shen // *Asian Spine J*. – 2014. – Vol. 8 (2). – P. 161.

218. Kurtz, S.M., van Ooij, A., Ross, R., de Waal Malefijt, J., Peloza, J., Ciccarelli, L., Villarraga, M.L. Polyethylene wear and rim fracture in total disc arthroplasty / S.M. Kurtz, A. van Ooij, R. Ross, J. de Waal Malefijt, J. Peloza, L. Ciccarelli, M.L. Villarraga // *Spine J*. – 2007. – Vol. 7. – P. 12–21.

219. Labelle, H. Spondylolisthesis, pelvic incidence, and spinopelvic balance: a correlation study / H. Labelle, P. Roussouly, E. Berthonnaud // *Spine*. – 2004. – Vol. 29. – P. 2049–2054.

220. Lattig, F. Lumbar facet joint effusion in MRI: a sign of instability in degenerative spondylolisthesis? / F. Lattig, T.F. Fekete, D. Grob, F.S. Kleinstu"ck, D. Jeszenszky, A.F. Mannion // *Eur Spine J*. – 2012. – Vol. 21. – P. 276–281.

221. Laugesen, L.A., Paulsen, R.T., Carreon, L., Ernst, C., Andersen, M.Ø.

Patient-reported Outcomes and Revision Rates at a Mean Follow-up of 10 Years After Lumbar Total Disc Replacement / L.A. Laugesen, R.T. Paulsen, L. Carreon, C. Ernst, M.Ø. Andersen // *Spine*. – 2017. – Vol. 42 (21). – P. 1657–1663.

222. Lawhorne, T.W. Treatment of degenerative spondylolisthesis: potential impact of dynamic stabilization based on imaging analysis / T.W. Lawhorne, F.P. Girardi, C.A. Mina, I. Pappou, F.P. Cammisa Jr. // *Eur Spine J*. – 2009. – Vol. 18. – P. 815–822.

223. Le Huec, J.C., Mathews, H., Basso, Y., Aunoble, S., Hoste, D. Clinical results of Maverick lumbar total disc replacement: two-year prospective follow-up / J.C. Le Huec, H. Mathews, Y. Basso, S. Aunoble, D. Hoste // *Orthop Clin North Am*. – 2005. – Vol. 3(6). – P. 315–322.

224. Lee, N., Shin, D.A., Kim, K.N., Yoon, D.H., Ha, Y., Shin, H.C., Yi, S. Paradoxical radiographic changes of coflex interspinous device with minimum 2-year follow-up in lumbar spinal stenosis / N. Lee, D.A. Shin, K.N. Kim, D.H. Yoon, Y. Ha, H.C. Shin, S. Yi // *World Neurosurg*. – 2016 – Vol. 85 – P. 177–84.

225. Lee, S.H., Lee, J.H., Hong, S.W. Spinopelvic alignment after interspinous soft stabilization with a tension band system in grade 1 degenerative lumbar spondylolisthesis / S.H. Lee, J.H. Lee, S.W. Hong // *Spine*. – 2010. – Vol. 35(15). – P. 691–701.

226. Lemaire, J.P., Carrier, H., Sariali el, H., Skalli, W., Lavaste, F. Clinical and radiological outcomes with the Charite artificial disc: a 10-year minimum follow-up / J.P. Lemaire, H. Carrier, H. Sariali el, W. Skalli, F. Lavaste // *J Spinal Disord Tech*. – 2005. – Vol. 18. – P. 353–359.

227. Lemaire, J.P., Skalli, W., Lavaste, F., Templier, A., Mendes, F., Diop, A., Sauty, V., Laloux, E. Intervertebral disc prosthesis. Results and prospects for the year 2000 / J.P. Lemaire, W. Skalli, F. Lavaste, A. Templier, F. Mendes, A. Diop, V. Sauty, E. Laloux // *Clin Orthop Relat Res*. – 1997. – Vol. 337. – P. 64–76.

228. Levi, B., Jayakumar, P., Giladi, A., Jupiter, J.B., Ring, D.C., Kowalske, K., Gibran, N.S., Herndon, D., Schneider, J.C., Ryan, C.M. Risk factors for the development of heterotopic ossification in seriously burned adults: A National Institute

on Disability, Independent Living and Rehabilitation Research burn model system database analysis / B. Levi, P. Jayakumar, A. Giladi, J.B. Jupiter, K. Ring, K. Kowalske, N.S. Gibran, D. Herndon, J.C. Schneider, C.M. Ryan // *J Trauma Acute Care Surg.* – 2015. – Vol. 79. – P. 870–876.

229. Li, Z., Li, F., Yu, S., Ma, H., Chen, Z., Zhang, H., Fu, Q. Two-year follow-up results of the Isobar TTL Semi-Rigid Rod System for the treatment of lumbar degenerative disease / Z. Li, F. Li, S. Yu, H. Ma, Z. Chen, H. Zhang, Q. Fu // *J Clin Neurosci.* – 2013. – Vol. 20 (3). – P. 394–399.

230. Link, H.D. History, design and biomechanics of the LINK SB Charite artificial disc / H.D. Link // *Arthroplasty of the Spine: Springer.* – 2004. – Vol. P. 36–43.

231. Lis, A.M. Association between sitting and occupational LBP / A.M. Lis, K.M. Black, H. Korn // *Eur Spine J.* – 2007. – Vol. 16. – P. 283–298.

232. Lønne, G., Johnsen, L.G., Rossvoll, I., Andresen, H., Storheim, K., Zwart, J.A., Nygaard, Ø.P. Minimally invasive decompression versus X-Stop in lumbar spinal stenosis: a randomized controlled multicenter study / G. Lønne, L.G. Johnsen, I. Rossvoll, H. Andresen, K. Storheim, J.A. Zwart, Ø.P. Nygaard // *Spine.* – 2015. – Vol. 40 (2). – P. 77–85.

233. An 11-year minimum follow-up of the Charite III lumbar disc replacement for the treatment of symptomatic degenerative disc disease / S.B. Lu, Y. Hai, C. Kong, Q.Y. Wang, Q. Su, L. Zang, N. Kang, X.L. Meng, Y. Wang // *Eur Spine J.* 2015. – Vol. 24 (9). – P. 2056–2064.

234. Lu K., Liliang P.C., Wang H.K., Chen J.S., Chen T.Y., Huang R., Chen H.J. Clinical outcome following DIAM implantation for symptomatic lumbar internal disk disruption: a 3-year retrospective analysis / K. Lu, P.C. Liliang, H.K. Wang, J.S. Chen, T.Y. Chen, R. Huang, H.J. Chen // *J Pain Res.* – 2016. – Vol. 9. – P. 917–924.

235. Lu, K., Liliang. P.C., Wang, H.K., Liang, C.L., Chen, J.S., Chen, T.B., Wang, K.W., Chen, H.J. Reduction in adjacent-segment degeneration after multilevel posterior lumbar interbody fusion with proximal DIAM implantation / K. Lu, P.C. Liliang, H.K. Wang, C.L. Liang, J.S. Chen, T.B. Chen, K.W. Wang, H.J. Chen // *J*

Neurosurg Spine. – 2015. – Vol. 23 (2). – P. 190–196.

236. Lukina, E., Kollerov, M., Meswania, J., Wertheim, D., Mason, P., Wagstaff, P., Laka, A., Noordeen, H., Yoon, W.W., Blunn, G. Analysis of retrieved growth guidance sliding LSZ-4D devices for early onset scoliosis and investigation of the use of Nitinol rods for this system / E. Lukina, M. Kollerov, J. Meswania, D. Wertheim, P. Mason, P. Wagstaff, A. Laka, H. Noordeen, W.W. Yoon, G. Blunn // Spine. – 2015. – Vol. 40 (1). – P. 17–24.

237. Lukina, E., Kollerov, M., Meswania, J., Khon, A., Panin, P., Blunn, G.W. Fretting corrosion behavior of nitinol spinal rods in conjunction with titanium pedicle screws / E. Lukina, M. Kollerov, J. Meswania, A. Khon, P. Panin, G.W. Blunn // Mater Sci Eng C Mater Biol Appl. – 2017. – Vol. 72. – P. 601–610.

238. Ma, D., Liang, Y., Wang, D., Liu, Z., Zhang, W., Ma, T., Zhang, L. Lu, X., Cai, Z. Trend of the incidence of lumbar disc herniation: decreasing with aging in the elderly / D. Ma, Y. Liang, D. Wang, Z. Liu, W. Zhang, T. Ma, L. Zhang, X. Lu, Z. Cai // Clin Interv Aging. – 2013. – Vol. 8. – P. 1047–1050.

239. Magerl, F.P. Stabilization of the lower thoracic and lumbar spine with external skeletal fixation / F.P. Magerl // Clin Orthop. Relat. Res. – 1984. – Vol. 189. – P. 125–141.

240. Maida, G., Marcati, E., Sarubbo, S. Heterotopic ossification in vertebral interlaminar/interspinous instrumentation: report of a case / G. Maida, E. Marcati, S. Sarubbo // Case Rep Surg. – 2012. – Vol. 2012. – P. 970642.

241. Malham, G.M., Parker, R.M. Early experience with lateral lumbar total disc replacement: Utility, complications and revision strategies / G.M. Malham, R.M. Parker // J Clin Neurosci. – 2017. – Vol. 39. – P. 176–183.

242. Markwalder, T.M., Wenger, M. Dynamic stabilization of lumbar motion segments by use of Graf's ligaments: results with an average follow-up of 7.4 years in 39 highly selected, consecutive patients / T.M. Markwalder, M. Wenger // Acta Neurochirurgica. – 2003. – Vol. 145 (3). – P. 209–214.

243. Marsh, G.D.J., Mahir, S., Leyte, A. A prospective randomised controlled trial to assess the efficacy of dynamic stabilisation of the lumbar spine with the Wallis

ligament / G.D.J. Marsh, S. Mahir, A. Leyte // *Eur Spine J.* – 2014. – Vol. 23 (10). – P. 2156–2160.

244. Martins, D.E. Correlations between radiographic, magnetic resonance and histological examinations on the degeneration of human lumbar intervertebral discs / D.E. Martins, V.M. Oliveira, M.T. Alves, M. Wajchenberg, E. Landim, J.C. Belloti, E.B. Puertas, A. Ishida // *Sao Paulo Med J.* – 2010. – Vol. 128 (2). – P. 63–68.

245. Mathews, H.H., LeHuec, J-C., Friesem, T., Zdeblick, T., Eisermann, L. Design rationale and biomechanics of Maverick Total Disc arthroplasty with early clinical results / H.H. Mathews, J-C. LeHuec, T. Friesem, T. Zdeblick, L. Eisermann // *The Spine Journal.* – 2004. – Vol. 4 (6). – P. S268–S275.

246. Mattei, T.A., Beer, J., Teles, A.R., Rehman, A.A., Aldag, J., Dinh, D. Clinical Outcomes of Total Disc Replacement Versus Anterior Lumbar Interbody Fusion for Surgical Treatment of Lumbar Degenerative Disc Disease / T.A. Mattei, J. Beer, A.R. Teles, A.A. Rehman, J. Aldag, D. Dinh // *Global Spine J.* – 2017. – Vol. 7 (5). – P. 452–459.

247. McAfee, P.C., Cunningham, B., Holsapple, G., Adams, K., Blumenthal, S., Guyer, R.D., Dmietriev, A., Maxwell, J.H., Regan, J.J., Isaza, J. A prospective, randomized, multicenter Food and Drug Administration investigational device exemption study of lumbar total disc replacement with the CHARITE artificial disc versus lumbar fusion: part II: evaluation of radiographic outcomes and correlation of surgical technique accuracy with clinical outcomes / P.C. McAfee, B. Cunningham, G. Holsapple, K. Adams, S. Blumenthal, R.D. Guyer, A. Dmietriev, J.H. Maxwell, J.J. Regan, J. Isaza // *Spine.* – 2005. – Vol. 30. – P. 1576–1583.

248. McAfee, P.C., Cunningham, B.W., Devine, J., Williams. E., Yu-Yahiro, J. Classification of heterotopic ossification (HO) in artificial disk replacement / P.C. McAfee, B.W. Cunningham, J. Devine, E. Williams, J. Yu-Yahiro // *J Spinal Disord Tech.* – 2003. – Vol. 16. – P. 384–389.

249. McAfee, P.C., Fedder, I.L., Saiedy, S., et al. Experimental design of total disk replacement experience with a prospective randomized study of the SB Charite / P.C. McAfee, I.L. Fedder, S. Saiedy, et al // *Spine.* – 2003. – Vol. 28. – P. 153–162.

250. McAfee, P., Khoo, L.T., Pimenta, L., Capuccino, A., Sengoz, A., Coric, D., Hes, R., Conix. B., Asgarzadie, F., Hamzaoglu, A., Mirofsky, Y., Anekstein, Y. Treatment of lumbar spinal stenosis with a total posterior arthroplasty prosthesis: implant description, surgical technique, and a prospective report on 29 patients / P. McAfee, L.T. Khoo, L. Pimenta, A. Capuccino, A. Sengoz, D. Coric, R. Hes, B. Conix, F. Asgarzadie, A. Hamzaoglu, Y. Mirofsky, Y. Anekstein // *Neurosurg Focus.* – 2007. – Vol. 22 (1). – P. E 13.

251. McCulloch, J.A., Waddell, G. Variation of the lumbosacral myotomes with bony segmental anomalies / J.A. McCulloch, G. Waddell // *J Bone Joint Surg Br.* – 1980. – Vol. 62. – P. 475–480.

252. Mc Kenzie A.H. Steel ball arthroplasty of lumbar discs / Mc Kenzie A.H. // *Journal of Bone and Joint Surgery.* – 1972. – Vol. 54. – P. 266.

253. Mc Kenzie, A.H. The basis for motion preservation surgery: lessons learned from the past / A.H. Mc Kenzie // *Motion Preservation Surgery of the Spine* / ed. by J.J. Yu, R. Bertagnoli, P.C. McAfee, H.S. An. –Philadelphia, Pa, USA: Saunders Elsevier Press, 2008. – P. 3–10.

254. McNally, D.S., Adams, M.A. Internal intervertebral disc mechanics as revealed by stress profilometry / D.S. McNally, M.A. Adams. // *Spine.* – 1992. – Vol. 17 (1). – P. 66–73.

255. Mixer, W.J., Barr, J.S. Rupture of the intervertebral disc with involvement of the spinal canal / W.J. Mixer, J.S. Barr // *The New England Journal of Medicine.* – 1934. – Vol. 211. – P. 210–215.

256. Modic, M.T. Lumbar Degenerative Disk Disease / M.T. Modic, J.S. Ross // *Radiology.* – 2007. – Vol. 245 (1). – P. 43–61.

257. Moore, K.R. Degenerative disc disease treated with combined anterior and posterior arthrodesis and posterior instrumentation / K.R. Moore, M.R. Pinto, L.M. Butler // *Spine.* – 2002. – Vol. 27. – P. 1680–1686.

258. Mulholland, R.C., Sengupta, D.K. Rationale, principles and experimental evaluation of the concept of soft stabilization / R.C. Mulholland, D.K. Sengupta // *European Spine Journal.* – 2002. – P. Vol. 11 (2). – S198–S205.

259. Mummaneni, P.V., Haid, R.W., Rodts, G.E. Lumbar interbody fusion: state-of-the-art technical advances / P.V. Mummaneni, R.W. Haid, G.E. Rodts // *Journal of Neurosurgery*. – 2004. – Vol. 101 (1). – P. 24–30.

260. Mysliwiec, L.W. MSU classification for herniated lumbar discs on MRI: toward developing objective criteria for surgical selection / L.W. Mysliwiec, J. Cholewicki, M.D. Winkelpack, G.P. Eis // *Eur. Spine J.* – 2010. – Vol. 19 (7). – P. 1087–1093.

261. Nachemson, A.L., Schultz, A.B., Berkson, M.H. Mechanical properties of human lumbar spine motion segments. Influence of age, sex, disc level, and degeneration / A.L. Nachemson, A.B. Schultz, M.H. Berkson // *Spine*. – 1979. – Vol. 4 (1). – P. 1–8.

262. Niinimäki, J., Korkiakoski, A., Ojala, O., Karppinen, J., Ruohonen, J., Haapea, M. Association between visual degeneration of intervertebral discs and the apparent diffusion coefficient / J. Niinimäki, A. Korkiakoski, O. Ojala, J. Karppinen, J. Ruohonen, M. Haapea // *Magn. Reson. Imaging*. – 2009. – Vol. 27. – P. 641–617.

263. Nockels, R.P. Dynamic stabilization in the surgical management of painful lumbar spinal disorders / R.P. Nockels // *Spine*. – 2005. – Vol. 30 (16). – P. S68–S72.

264. Obid, P., Danyali, R., Kueny, R., Huber, G., Reichl, M., Richter, A., Niemeyer, T., Morlock, M., Püschel, K., Übeyli, H. Hybrid Instrumentation in Lumbar Spinal Fusion: A Biomechanical Evaluation of Three Different Instrumentation Techniques / P. Obid, R. Danyali, R. Kueny, G. Huber, M. Reichl, A. Richter, T. Niemeyer, M. Morlock, K. Püschel, H. Übeyli // *Global Spine J.* 2017. – Vol. 7 (1). – P. 47–53.

265. Oktenoglu, T., Ozer, A.F., Sasani, M., Kaner, T., Canbulat, N., Ercelen, O., Sarioglu, A.C. Posterior dynamic stabilization in the treatment of lumbar degenerative disc disease: 2-year follow-up / T. Oktenoglu, A.F. Ozer, M. Sasani, T. Kaner, N. Canbulat, O. Ercelen, A.C. Sarioglu // *Minimally Invasive Neurosurgery*. – 2010. – Vol. 53 (3). – P. 112–116.

266. [Oktenoglu](#), T., [Ozer](#), A.F., [Sasani](#), M., [Ataker](#), Y., [Gomleksiz](#), C., Celebi, I. Posterior Transpedicular Dynamic Stabilization versus Total Disc Replacement in the

Treatment of Lumbar Painful Degenerative Disc Disease: A Comparison of Clinical Results / T. [Oktenoglu](#), A.F. [Ozer](#), M. [Sasani](#), Y. [Ataker](#), C. [Gomleksiz](#), I. Celebi // *Adv Orthop.* – 2013. – Vol. 13. – P. 874–886.

267. Onda, A., Otani, K., Konno, S., Kikuchi, S. Mid-term and long-term follow-up data after placement of the Graf stabilization system for lumbar degenerative disorders. *Journal of Neurosurgery* / A. Onda, K. Otani, S. Konno, S. Kikuchi // *Spine.* – 2006. – Vol. 5 (1). – P. 26–32.

268. Ormond, D.R., Albert, Jr. L., Das, K. Polyetheretherketone (PEEK) rods in lumbar spine degenerative disease: a case series / D.R. Ormond, Jr. L. Albert, K. Das // *Clin Spine Surg.* – 2016. – Vol. 29 (7). – P. E371– E375.

269. Ostelo, R.W. Interpreting change scores for pain and functional status in low back pain: towards international consensus regarding minimal important change / R.W. Ostelo, R.A. Deyo, P. Stratford // *Spine (Philadelphia 1976).* – 2008. – Vol. 33. – P. 90–94.

270. Oyinloye, O.I., Abdulkadir, A.Y., Babalola, O.M. Incidence and patterns of lumbosacral transitional vertebrae, in patients with low backpain in a Nigerian hospital / O.I. Oyinloye, A.Y. Abdulkadir, O.M. Babalola // *Nig Q J Hosp Med.* – 2009. – Vol. 19. – P. 95–99.

271. Ozer, A.F., Oktenoglu, T., Egemen. E., Sasani, M., Yilmaz, A., Erbulut, D.U., Yaman, O., Suzer, T. Comparison of the Rigid Rod System with Modular Plate with the Finite Element Analysis in Short-Segment Posterior Stabilization in the Lower Lumbar Region / A.F. Ozer, T. Oktenoglu, E. Egemen, M. Sasani, A. Yilmaz, D.U. Erbulut, O. Yaman, T. Suzer // *Turk Neurosurg.* – 2017. – Vol. 27 (4). – P. 610–616.

272. Ozer, A.F., Crawford, N.R., Sasani, M., Oktenoglu, T., Bozkus, H., Kaner, T., Aydin, S. Dynamic lumbar pedicle screw-rod stabilization: two-year follow-up and comparison with fusion / A.F. Ozer, N.R. Crawford, M. Sasani, T. Oktenoglu, H. Bozkus, T. Kaner, S. Aydin // *The Open Orthopaedics Journal.* – 2010. – Vol. 4. – P. 137–141.

273. Ozer, A.F., Oktenoglu, T., Egemen, E., Sasani, M., Yilmaz, A., Erbulut, D.U., Yaman, O., Suzer, T. Lumbar Single-Level Dynamic Stabilization with Semi-

Rigid and Full Dynamic Systems: A Retrospective Clinical and Radiological Analysis of 71 Patients / A.F. Ozer, T. Oktenoglu, E. Egemen, M. Sasani, A. Yilmaz, D.U. Erbulut, O. Yaman, T. Suzer // *Clin Orthop Surg.* – 2017. – Vol. 9 (3). – P. 310–316.

274. Pal, G. Weight transmission through the sacrum in man / G. Pal // *J Anat.* – 1989. – Vol. – 162. – P. 9–17.

275. Panjabi, M.M. Clinical spinal instability and low back pain / M.M. Panjabi // *Journal of Electromyography and Kinesiology.* – 2003. – Vol. 13 (4). – P. 371–379.

276. Panjabi, M.M., Timm, J.P. Development of Stabilimax NZ From Biomechanical Principles / M.M. Panjabi, J.P Timm. // *SAS J.* – 2007. – Vol. 1 (1). – P. 2–7.

277. Park, C.K., Ryu, K.S., Lee, K.Y., Lee, H.J. Clinical outcome of lumbar total disc replacement using ProDisc-L in degenerative disc disease: minimum 5-year follow-up results at a single institute / C.K. Park, K.S. Ryu, K.Y. Lee, H.J. Lee // *Spine.* – 2012. – Vol. 37. – P. 672–677.

278. Park, C.K., Ryu, K.S., Jee, W.H. Degenerative changes of discs and facet joints in lumbar total disc replacement using ProDisc II: minimum two-year follow-up / C.K. Park, K.S. Ryu, W.H. Jee // *Spine.* – 2008. – Vol. 33. – P. 1755–1761.

279. Park, C.K. Total Disc Replacement in Lumbar Degenerative Disc Diseases / C.K. Park // *Journal of Korean Neurosurgical Society.* – 2015. – Vol. 58 (5). – P. 401–411.

280. Park, P., Garton, H.J., Gala, V.C., Hoff, J.T., McGillicuddy, J.E. Adjacent segment disease after lumbar or lumbosacral fusion: review of the literature / P. Park, H.J. Garton, V.C. Gala, J.T. Hoff, J.E. McGillicuddy // *Spine.* – 2004. – Vol. 29 (17). – P. 1938–1944.

281. Park, S., Jim, Y., Kim, M., Kim, K., Kim, Y. An analysis of heterotopic ossification in cervical disc arthroplasty: a novel morphologic classification of an ossified mass / S. Park, Y. Jim, M. Kim, K. Kim, Y. Kim // *Spine J.* – 2013. – Vol. 13 (4). – P. 408–420.

282. Park, S.J., Kang, K.J., Shin, S.K., Chung, S.S., Lee, C.S. Heterotopic ossification following lumbar total disc replacement / S.J. Park, K.J. Kang, S.K. Shin,

S.S. Chung, C.S. Lee // *Int Orthop.* – 2011. – Vol. 35. – P. 1197–1201.

283. Park, S.J., Lee, C.S., Chung, S.S., Lee, K.H., Kim, W.S., Lee, J.Y. Long term outcomes following lumbar total disc replacement using ProDisc-II average 10-year follow-up at a single institute / S.J. Park, C.S. Lee., S.S. Chung, Lee K.H., W.S. Kim, J.Y. Lee // *Spine.* – 2016. – Vol. 4 (1). – P. 971–977.

284. Park, S.C., Yoon, S.H., Hong, Y.P., Kim, K.J., Chung, S.K., Kim, H.J. Minimum 2-year follow-up result of degenerative spinal stenosis treated with interspinous u (coflex) / S.C. Park, S.H. Yoon, Y.P. Hong, K.J. Kim, S.K. Chung, H.J. Kim // *J Korean Neurosurg Soc.* – 2009. – Vol. 46 (4). – P. 292–299.

285. Perrin, G., Cristini, A. Prevention of adjacent level degeneration above a fused vertebral segment: long term effect, after a mean follow up of 8, 27 years, of the semirigid intervertebral fixation as a protective technique for pathological adjacent disc / G. Perrin, A. Cristini // *Proceedings of the International Meeting for Advanced Spine Technologies, December 2003.*

286. Pezowicz, C.A. Intralamellar relationships within the collagenous architecture of the annulus fibrosus imaged in its fully hydrated state / C.A. Pezowicz, P.A. Robertson, N.D. Broom // *J. Anat.* – 2005. – Vol. 207. – P. 299–312.

287. Pfirrmann, C.W. Magnetic Resonance Classification of Lumbar Intervertebral Disc Degeneration / C.W. Pfirrmann, A. Metzdorf, M. Zanetti // *Spine.* (Philadelphia 1976). – 2001. – Vol. 26 (17). – P. 1873–1878.

288. Phillips, F.M., Tzermiadianos, M.N., Voronov, L.I., Havey, R.M., Carandang, G., Renner, S.M., Rosler, D.M., Ochoa, J.A., Patwardhan, A.G. Effect of the Total Facet Arthroplasty system after complete laminectomy-facetectomy on the biomechanics of implanted and adjacent segments / F.M. M.N. Phillips, Tzermiadianos, L.I. Voronov, R.M. Havey, G. Carandang, S.M. Renner, D.M. Rosler, J.A. Ochoa, A.G. Patwardhan // *Spine Journal.* – 2009. – Vol. 9 (1). – P. 96–102.

289. Pihlajamaki, H., Myllynen, P., Bostman, O. Complications of transpedicular lumbosacral fixation for non-traumatic disorders / H Pihlajamaki., P. Myllynen, O. Bostman // *J Bone Joint Surg Br.*–. 1997. – Vol. 79. – P. 183–189.

290. Pimenta, L. PDN at 5 Years Follow-Up / L. Pimenta // *Spine Arthroplasty*

Society. – Montreal, Canada, 2006.

291. Pintauro, M., Duffy, A., Vahedi, P., Rymarczuk, G., Heller, J. Interspinous implants: are the new implants better than the last generation? A review / M. Pintauro, A. Duffy, P. Vahedi, G. Rymarczuk, J. Heller // *Curr Rev Musculoskelet Med.* – 2017. – Vol. 10 (2). – P. 189–198.

292. Plais, N., Thevenot, X., Cogniet, A., Rigal, J., Le Huec, J.C. Maverick total disc arthroplasty performs well at 10 years follow-up: a prospective study with HRQL and balance analysis / N. Plais, X. Thevenot, A. Cogniet, J. Rigal, J.C. Le Huec // *Eur Spine J.* – 2017 Apr. 5. doi: 10.1007/s00586-017-5065-z [Epub ahead of print].

293. Pockert, A.J., Richardson, S.M., Le Maitre, C.L., Lyon, M., Deakin, J.A., Buttle, D.J., Freemont, A.J., Hoyland, J.A. Modified expression of the ADAMTS enzymes and tissue inhibitor of metalloproteinases 3 during human intervertebral disc degeneration / A.J. Pockert, S.M. Richardson, C.L. Le Maitre, M. Lyon, J.A. Deakin, D.J. Buttle, A.J. Freemont, J.A. Hoyland // *Arthritis Rheum.* – 2009. – Vol. 60 (2). – P. 482–491.

294. Putzier, M., Funk, J.F., Schneider, S.V., Gross, C., Tohtz, S.W., Khodadadyan-Klostermann, C., Perka, C., Kandziora, F. Charite total disc replacement – clinical and radiographical results after an average follow-up of 17 years / M. Putzier, J.F. Funk, S.V. Schneider, C. Gross, S.W. Tohtz, C. Khodadadyan-Klostermann, C. Perka, F. Kandziora // *Eur Spine J.* – 2006. – Vol.15. – P. 183–195.

295. Putzier, M., Hoff, E., Tohtz, S., Gross, C., Perka, C., Strube, P. Dynamic stabilization adjacent to single-level fusion: part II. No clinical benefit for asymptomatic, initially degenerated adjacent segments after 6 years follow-up / M. Putzier, E. Hoff, S. Tohtz, C. Gross, C. Perka, P. Strube // *Eur Spine J.* – 2010. – Vol. 19 (12). – P. 2181–2189.

296. Putzier, M., Schneider, S.V., Funk, J.F., Tohtz, S.W., Perka, C. The surgical treatment of the lumbar disc prolapse: nucleotomy with additional transpedicular dynamic stabilization versus nucleotomy alone / M. Putzier, S.V. Schneider, J.F. Funk, S.W. Tohtz, C. Perka // *Spine.* – 2005. – Vol. 30 (5). – P. E109–E114.

297. Puzzilli, F., Gazzeri, R., Galarza, M., Neroni, M., Panagiotopoulos, K.,

Bolognini, A., Callovini, G., Agrillo, U., Alfieri, A. Interspinous spacer decompression (X-STOP) for lumbar spinal stenosis and degenerative disk disease: a multicenter study with a minimum 3-year follow-up / F. Puzzilli, R. Gazzeri, M. Galarza, M. Neroni, K. Panagiotopoulos, A. Bolognini, G. Callovini, U. Agrillo, A. Alfieri // *Clin Neurol Neurosurg.* – 2014. – Vol. 124. – P. 166–174.

298. Qian, J., Bao, Z.H., Li, X., Zou, J., Yang, H.L. Short-Term Therapeutic Efficacy of the Isobar TTL Dynamic Internal Fixation System for the Treatment of Lumbar Degenerative Disc Diseases / J. Qian, Z.H. Bao, X. Li, J. Zou, H.L. Yang // *Pain Physician.* – 2016. – Vol. 19 (6). – P. E853–E861.

299. Qian, L., Zhou, Z., Sun, Q. The role of phase transition in the fretting behavior of NiTi shape memory alloy / L. Qian, Z. Zhou, Q. Sun // *Wear.* – 2005. – Vol. 259. – P. 309–318.

300. Regan, J.J. Clinical results of charite lumbar total disc replacement / J.J. Regan // *Orthop Clin North Am.* – 2005. – Vol. 36. – P. 323–340.

301. Reitz, H., Joubert, M.J. Replacement of cervical intervertebral disc with ametal prosthesis / H. Reitz, M.J. Joubert // *South African Medical Journal.* – 1964. – Vol. 38. – P. 881–884.

302. Resnick, D.K. Guidelines for the performance of fusion procedures for degenerative disease of the lumbar spine. Part 11: interbody techniques for lumbar fusion / D.K. Resnick // *J Neurosurg Spine.* – 2005. – Vol. 2 (6). – P. 692–699.

303. Reyes-S´anchez, A., Z´arate-Kalf´opulos, B., Ram´irez-Mora, I., Rosales-Olivarez, L.M., Alpizar-Aguirre, A., S´anchez-Bringas, G. Posterior dynamic stabilization of the lumbar spine with the Accuflex rod system as a stand-alone device: experience in 20 patients with 2-year follow-up / A. Reyes-S´anchez, B. Z´arate-Kalf´opulos, I. Ram´irez-Mora, L.M. Rosales-Olivarez, A. Alpizar-Aguirre, G. S´anchez-Bringas // *European Spine Journal.* – 2010. – Vol. 19 (12). – P. 2164–2170.

304. Rifas, L. T-cell cytokine induction of BMP-2 regulates human mesenchymal stromal cell differentiation and mineralization / L. Rifas // *J Cell Biochem.* – 2006. – Vol. 98 (4). – P. 706–714.

305. Rigby, M., Selmon, G., Foy, M., Fogg, A. Graf ligament stabilisation: mid-

to long-term follow-up / M. Rigby, G. Selmon, M. Foy, A. Fogg // *European Spine Journal*. – 2001. – Vol. 10 (3). – P. 234–236.

306. Ritter, M.A., Vaughan, R.B. Ectopic ossification after total hip arthroplasty. Predisposing factors, frequency, and effect on results / M.A. Ritter, R.B. Vaughan // *J Bone Joint Surg Am*. – 1977. – Vol. 59. – P. 345–351.

307. Ritter, R.D., Pettine, K.A., Knight, R.Q., Dimmig, T.A., Coric, D. Direct comparison of two lumbar total disc replacement devices: Results from a prospective, randomized, multicenter fda-regulated trial / R.D. Ritter, K.A. Pettine, R.Q. Knight, T.A. Dimmig, D. Coric // *The Spine Journal*. – 2010. – Vol. 10 (9). – P. 11–15.

308. Rousseau, M.A., Bradford, D.S., Bertagnoli, R., Hu, S.S., Lotz, J.C. Disc arthroplasty design influences intervertebral kinematics and facet forces / M.A. Rousseau, D.S. Bradford, R. Bertagnoli, S.S. Hu, J.C. Lotz // *Spine Journal*. – 2006. – Vol. 6 (3). – P. 258–266.

309. Roy-Camille, R., Roy-Camille, M., Demeulenaere, C. Osteosynthesis of dorsal, lumbar, and lumbosacral spine with metallic plates screwed into vertebral pedicles and articular apophyses / R. Roy-Camille, M. Roy-Camille, C. Demeulenaere // *La Presse Medicale*. – 1970. – Vol. 78 (32). – P. 1447–1448.

310. Salzmann, S.N., Plais, N., Shue, J., Girardi, F.P. Lumbar disc replacement surgery-successes and obstacles to widespread adoption / S.N. Salzmann, N. Plais, J. Shue, F.P. Girardi // *Curr Rev Musculoskelet Med*. – 2017. – Vol. 10 (2). – P. 153–159.

311. Sangiorgio, S.N., Sheikh, H., Borkowski, S.L., Khoo, L., Warren, C.R., Ebramzadeh, E. Comparison of three posterior dynamic stabilization devices / S.N. Sangiorgio, H. Sheikh, S.L. Borkowski, L. Khoo, C.R. Warren, E. Ebramzadeh // *Spine*. – 2011. – Vol. 36 (19). – P. E1251–E1258.

312. Sasani, M., Aydin, A.L., Oktenoglu, T., Cosar, M., Ataker, Y., Kaner, T., Ozer, A.F. The combined use of a posterior dynamic transpedicular stabilization system and a prosthetic disc nucleus device in treating lumbar degenerative disc disease with disc herniations / M. Sasani, A.L. Aydin, T. Oktenoglu, M. Cosar, Y. Ataker, T. Kaner, A.F. Ozer // *SAS Journal*. – 2008. – Vol. 2 (3). – P. 130–136.

313. Sasso, R.C., Foulk, D.M., Hahn, M. Prospective, randomized trial of

metalon-metal artificial lumbar disc replacement: Initial results for treatment of discogenic pain / R.C. Sasso, D.M. Foulk, M. Hahn // *Spine*. – 2008. – Vol. 33. – P. 123–131.

314. Schaeren, S., Broger, I., Jeanneret, B. Minimum four-year follow-up of spinal stenosis with degenerative spondylolisthesis treated with decompression and dynamic stabilization / S. Schaeren, I. Broger, B. Jeanneret // *Spine*. – 2008. – Vol. 33 (18). – P. E636–E642.

315. Schmidt, R., Obertacke, U., Nothwang, J., Ulrich, C., Nowicki, J., Reichel, H., Cakir, B. The impact of implantation technique on frontal and sagittal alignment in total lumbar disc replacement: a comparison of anterior versus oblique implantation / R. Schmidt, U. Obertacke, J. Nothwang, C. Ulrich, J. Nowicki, H. Reichel, B. Cakir // *Eur Spine J*. – 2010. – Vol. 19. – P. 1534–1539.

316. Schmoelz, W., Onder, U., Martin, A., Stempel, A.V. Nonfusion instrumentation of the lumbar spine with a hinged pedicle screw rod system: an in vitro experiment / W. Schmoelz, U. Onder, A. Martin, A.V. Stempel // *European Spine Journal*. – 2009. – Vol. 18 (10). – P. 1478–1485.

317. Schnake, K.J., Schaeren, S., Jeanneret, B. Dynamic stabilization in addition to decompression for lumbar spinal stenosis with degenerative spondylolisthesis / K.J. Schnake, S. Schaeren, B. Jeanneret // *Spine*. – 2006. – Vol. 31 (4). – P. 442–449.

318. Schwarzenbach, O., Berlemann, U., Stoll, T.M., Dubois, G. Posterior dynamic stabilization systems: DYNESYS / O. Schwarzenbach, U. Berlemann, T.M. Stoll, G. Dubois // *Orthopedic Clinics of North America*. – 2005. – Vol. 36 (3). – P. 363–372.

319. Selviaridis, P., Foroglou, N., Tsitlakidis, A., Hatzisotiriou, A., Magras, I., Patsalas, I. Long-term outcome after implantation of prosthetic disc nucleus device (PDN) in lumbar disc disease / P. Selviaridis, N. Foroglou, A. Tsitlakidis, A. Hatzisotiriou, I. Magras, I. Patsalas // *Hippokratia*. – 2010. – Vol. 14 (3). – P. 176–184.

320. Senegas, J. Mechanical supplementation by non-rigid fixation in degenerative intervertebral lumbar segments: the wallis system / J. Senegas // *European Spine Journal*. – 2002. – Vol. 11 (2). – P. S164–S169.

321. Sengupta, D.K. Dynamic stabilization devices in the treatment of low back pain / D.K. Sengupta // *Neurology India*. – 2005. – Vol. 53 (4). – P. 466–474.
322. Sengupta, D.K., Mulholland, R.C. Fulcrum assisted soft stabilization system: a new concept in the surgical treatment of degenerative low back pain / D.K. Sengupta, R.C. Mulholland // *Spine*. – 2005. – Vol. 30 (9). – P. 1019–1029.
323. Sengupta, D.K., Herkowitz, H.N. Pedicle screw-based posterior dynamic stabilization: literature review / D.K. Sengupta, H.N. Herkowitz // *Adv Orthop*. – 2012. – Vol. 424268.
324. Sengupta, D., Mulholland, R.C., Pimenta, L. Prospective clinical study of dynamic stabilization with the DSS system in isolated activity related mechanical low back pain, with outcome at minimum 2-year follow-up / D. Sengupta, R.C. Mulholland, L. Pimenta // *Spine Journal*. – 2006. – Vol. 6 (5). – P. 147.
325. Shibata, K.M., Kim, D.H. Historical review of Spinal arthroplasty and dynamic stabilization / K.M. Shibata, D.H. Kim // *Dynamic Reconstruction of the Spine* / ed. by D.H. Kim, Jr. F.P. Cammisa, R.G. Fessler. – New York, USA: Thieme Medical Publishers, 2006. – P. 3–15.
326. Shi, S., de Gorter, D.J.J., Hoogaars, W.M., 't Hoen, P.A., ten, Dijke P. Overactive bone morphogenetic protein signaling in heterotopic ossification and Duchenne muscular dystrophy / S. Shi, D.J.J. de Gorter, W.M. Hoogaars, P.A. 't Hoen, P. ten Dijke // *Cell Mol Life Sci*. – 2013. – Vol. 70. – P. 407–423.
327. Sieber, A.N., Kostuik, J.P. Concepts in nuclear replacement / A.N. Sieber, J.P. Kostuik // *Spine J*. – 2004 – Vol. 4. – P. 322–324.
328. Siepe, C.J., Mayer, H.M., Wiechert, K., Korge, A. Clinical results of total lumbar disc replacement with ProDisc II: three-year results for different indications / C.J. Siepe, H.M. Mayer, K. Wiechert, A. Korge // *Spine*. – 2006. – Vol. 31. – P. 1923–1932.
329. Siepe, C.J., Heider, F., Wiechert, K., Hitzl, W., Ishak, B., Mayer, M.H. Mid-to long-term results of total lumbar disc replacement: a prospective analysis with 5- to 10-year follow-up / C.J. Siepe, F. Heider, K. Wiechert, W. Hitzl, B. Ishak, M.H. Mayer // *Spine J*. – 2014. – Vol. 14. – P. 1417–1431.

330. Sjøvold, S.G., Zhu, Q., Bowden, A., Larson, C.R., de Bakker, P.M., Villarraga, M.L., Ochoa, J.A., Rosler, D.M., Crompton, P.A. Biomechanical evaluation of the Total Facet Arthroplasty System® (TFAS®): loading as compared to a rigid posterior instrumentation system / S.G. Sjøvold, Q. Zhu, A. Bowden, C.R. Larson, P.M. de Bakker, M.L. Villarraga, J.A. Ochoa, D.M. Rosler, P.A. Crompton // *Eur Spine J.* – 2012. – Vol. 21 (8). – P. 1660–1673.

331. Sköld, C., Tropp, H., Berg, S. Five-year follow-up of total disc replacement compared to fusion: a randomized controlled trial / C. Sköld, H. Tropp, S. Berg // *European Spine Journal.* – 2013. – Vol. 22 (10). – P. 2288–2295.

332. Song, J.J., Barrey, C.Y., Ponnappan, R.K., Bessey, J.T., Shimer, A.L., Vaccaro, A.R. Pedicle screw-based dynamic stabilization of the lumbar spine / J.J. Song, C.Y. Barrey, R.K. Ponnappan, J.T. Bessey, A.L. Shimer, A.R. Vaccaro // *Pan Arab Journal of Neurosurgery.* – 2010. – Vol. 14 (1). – P. 1–141.

333. Song H., Hu W., Liu Z., Hao Y., Zhang X. Percutaneous endoscopic interlaminar discectomy of L5-S1 disc herniation: a comparison between intermittent endoscopy technique and full endoscopy technique / H. Song, W. Hu, Z. Liu, Y. Hao, X. Zhang // *J Orthop Surg Res.* – 2017. – Vol. 12 (1). – P. 162.

334. Stoffel, M., Behr, M., Reinke, A., Stuer, C., Ringel, F., Meyer, B. Pedicle screw-based dynamic stabilization of the thoracolumbar spine with the Cosmic-system: a prospective observation / M. Stoffel, M. Behr, A. Reinke, C. Stuer, F. Ringel, B. Meyer // *Acta Neurochirurgica.* – 2010. – Vol. 152 (5). – P. 835–843.

335. Stokes, I.A., Frymoyer, J.W. Segmental motion and instability / I.A. Stokes, J.W. Frymoyer // *Spine.* – 1987. – Vol. 12 (7). – P. 688–691.

336. Stoll, T.M., Dubois, G., Schwarzenbach, O. The dynamic neutralization system for the spine: a multi-center study of a novel non-fusion system / T.M. Stoll, G. Dubois, O. Schwarzenbach // *European Spine Journal.* – 2002. – Vol. 11 (2). – P. S170–S178.

337. Stempel, A.V., Moosmann, D., Stoss, C., Martin, A. Stabilisation of the degenerated lumbar spine in the nonfusion technique with cosmic posterior dynamic system / A.V. Stempel, D. Moosmann, C. Stoss, A. Martin // *The Wall Street Journal.* –

2006. – Vol. 1 (1). – P. 40–47.

338. Strube, P., Tohtz, S., Hoff, E., Gross, C., Perka, C., Putzier, M. Dynamic stabilization adjacent to single-level fusion: part I. Biomechanical effects on lumbar spinal motion / P. Strube, S. Tohtz, E. Hoff, C. Gross, C. Perka, M. Putzier // *Eur Spine J.* – 2010. – Vol. 19 (12). – P. 2171–2180.

339. Suzuki, H., Ito, Y., Shinohara, M., Yamashita, S., Ichinose, S., Kishida, A., Oyaizu, T., Kayama, T., Nakamichi, R., Koda, N., Yagishita, K., Lotz, M.K., Okawa, A., Asahara, H. Gene targeting of the transcription factor Mohawk in rats causes heterotopic ossification of Achilles tendon via failed tenogenesis / H. Suzuki, Y. Ito, M. Shinohara, S. Yamashita, S. Ichinose, A. Kishida, T. Oyaizu, T. Kayama, R. Nakamichi, N. Koda, K. Yagishita, M.K. Lotz, A. Okawa, H. Asahara // *Proc Natl Acad Sci U S A.* – 2016. – Vol. 113. – P. 7840–7845.

340. Tahal, D., Madhavan, K., Chieng, L.O., Ghobrial, G.M., Wang, M.Y. Metals in Spine / D. Tahal, K. Madhavan, L.O. Chieng, G.M. Ghobrial, M.Y. Wang // *World Neurosurg.* – 2017. – Vol. 100. – P. 619–627.

341. Teli, M., Lovi, A., Brayda-Bruno, M., Zagra, A., Corriero, A., Giudici, F., Minoia, L. Higher risk of dural tears and recurrent herniation with lumbar micro-endoscopic discectomy / M. Teli, A. Lovi, M. Brayda-Bruno, A. Zagra, A. Corriero, F. Giudici, L. Minoia // *Eur Spine J.* – 2010. – Vol. 19(3). – P. 443–450.

342. Thavaneswaran, P., Vandeppeer, M. Lumbar artificial intervertebral disc replacement: a systematic review / P. Thavaneswaran, M. Vandeppeer // *ANZ J Surg.* – 2013. – Vol. 84. – P. 121–127.

343. Tortolani, P.J., Cunningham, B.W., Eng, M., McAfee, P.C., Holsapple, G.A., Adams, K.A. Prevalence of heterotopic ossification following total disc replacement. A prospective, randomized study of two hundred and seventy-six patients / P.J. Tortolani, B.W. Cunningham, M. Eng, P.C. McAfee, G.A. Holsapple, K.A. Adams // *J Bone Joint Surg Am.* – 2007. – Vol. 89. – P. 82–88.

344. Tropiano, P., Huang, R.C., Girardi, F.P., Cammisa, F.P.Jr., Marnay, T. Lumbar total disc replacement. Seven to eleven-year follow-up / P. Tropiano, R.C. Huang, F.P. Girardi, F.P.Jr. Cammisa, T. Marnay // *J Bone Joint Surg Am.* – 2005. – Vol.

87. – P. 490–496.

345. Turner, J.A., Ersek, M., Herron, L., Deyo, R. Surgery for lumbar spinal stenosis: attempted meta-analysis of the literature / J.A. Turner, M. Ersek, L. Herron L., R. Deyo // *Spine*. – 1992. – Vol. 17 (1). – P. 1–8.

346. Urban, J.P., Winlove, C.P. Pathophysiology of the intervertebral disc and the challenges for MRI / J.P. Urban, C.P. Winlove // *J Magn Reson Imaging*. – 2007. – Vol. 25 (2). – P. 419–432.

347. Urban, J.P. Swelling pressure of the intervertebral disc: influence of proteoglycan and collagen contents / J.P. Urban, J.F. McMullin // *Biorheol*. – 1985. – Vol. 22. – P. 145–157.

348. Vaga, S., Brayda-Bruno, M., Perona, F., Fornari, M., Raimondi, M.T., Petruzzi, M., Grava, G., Costa, F., Caiani, E.G., Lamartina, C. Molecular MR imaging for the evaluation of the effect of dynamic stabilization on lumbar intervertebral discs / S. Vaga, M. Brayda-Bruno, F. Perona, M. Fornari, M.T. Raimondi, M. Petruzzi, G. Grava, F. Costa, E.G. Caiani, C. Lamartina // *European Spine Journal*. – 2009. – Vol. 18 (1). – P. S40–S48.

349. Van den Eerenbeemt, K.D., Ostelo, R.W., van Royen, B.J., Peul, W.C., van Tulder, M.W. Total disc replacement surgery for symptomatic degenerative lumbar disc disease: a systematic review of the literature / K.D. Van den Eerenbeemt, R.W. Ostelo, B.J. van Royen, W.C. Peul, M.W. van Tulder // *Eur Spine J*. – 2010. – Vol. 19 – P. 1262–1280.

350. Van den Hauwe, L. Facet joint degeneration / L. Van den Hauwe // *Europ. Radiology*. – 2009. – Vol. 19 (1). – P. 19.

351. Verhoof, O.J., Bron, J.L., Wapstra, F.H., Van Royen, B.J. High failure rate of the interspinous distraction device (X Stop) for the treatment of lumbar spinal stenosis caused by degenerative spondylolisthesis / O.J. Verhoof, J.L. Bron, F.H. Wapstra, B.J. Van Royen // *European Spine Journal*. – 2008. – Vol. 17 (2). – P. 188–192.

352. Vernon-Roberts, B. Disc pathology and disease states / B. Vernon-Roberts // *The Biology of the Intervertebral Disc* / ed. by P. Gosh. – Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 1988. – P. 73–119.

353. Veruva, S.Y., Lanman, T.H., Hanzlik, J.A., Kurtz, S.M., Steinbeck, M.J. Rare complications of osteolysis and periprosthetic tissue reactions after hybrid and non-hybrid total disc replacement / S.Y. Veruva, T.H. Lanman, J.A. Hanzlik, S.M. Kurtz, M.J. Steinbeck // *Eur Spine J.* – 2015. – Vol. 24 (4). – P. S494–S501.
354. Vital, J.M., Boissière, L. Total disc replacement / J.M. Vital, L. Boissière // *Orthop Traumatol Surg Res.* – 2014. – Vol. 100. – P. S1–S14.
355. Voronov, L.I., Havey, R.M., Rosler, D.M., Sjøvold, S.G., Rogers, S.L., Carandang, G., Ochoa, J.A., Yuan, H., Webb, S., Patwardhan, A.G. L5 – S1 segmental kinematics after facet arthroplasty / L.I. Voronov, R.M. Havey, D.M. Rosler, S.G. Sjøvold, S.L. Rogers, G. Carandang, J.A. Ochoa, H. Yuan, S. Webb, A.G. Patwardhan // *SAS J.* – 2009. – Vol. 3 (2). – P. 50–58.
356. Wan, Z., Wang, S., Kozánek, M., Passias, P.G., Mansfield, F.L., Wood, K.B., Li, G. Biomechanical evaluation of the x-stop device for surgical treatment of lumbar spinal stenosis / Z. Wan, S. Wang, M. Kozánek, P.G. Passias, F.L. Mansfield, K.B. Wood, G. Li // *Journal of Spinal Disorders & Techniques.* – 2012. – Vol. 25 (7). – P. 374–378.
357. Wei, J., Song, Y., Sun, L., Lv, C. Comparison of artificial total disc replacement versus fusion for lumbar degenerative disc disease: a meta-analysis of randomized controlled trials / J. Wei, Y. Song, L. Sun, C. Lv // *Int Orthop.* – 2013. – Vol. 37 (7). – P. 1315–1325.
358. Weiler, P.J., King, G.J., Gertzbein, S.D. Analysis of sagittal plane instability of the lumbar spine in vivo / P.J. Weiler, G.J. King, S.D. Gertzbein // *Spine.* – 1990. – Vol. 15 (12). – P. 1300–1306.
359. Weinstein, J. Neurogenic and nonneurogenic pain and inflammatory mediators / J. Weinstein // *Orthop Clin North Am.* – 1991. – Vol. 22. – P. 235–246.
360. Weinstein, J. The pain of discography / J. Weinstein, W. Claverie, S. Gibson // *Spine.* – 1988. – Vol. 13. – P. 1344–1348.
361. Wilder, D.G. The biomechanics of vibration and low back pain / D.G. Wilder // *Am J. Ind Med.* – 1993. – Vol. 23. – P. 577–588.
362. Wilke, H.J., Schmidt, H., Werner, K., Schmolz, W., Drumm, J.

Biomechanical evaluation of a new total posterior element replacement system. / H.J. Wilke, H. Schmidt, K. Werner, W. Schmolz, J. Drumm // *Spine*. – 2006. – Vol. 31 (24). – P. 2790–2796.

363. Wilmink, J.T. Degenerative disc disease / J.T. Wilmink // *Europ. Radiology*. – 2009. – Vol. 19 (1). – P. 19.

364. Wiltse, L. History of pedicle screw fixation of the spine: state of the art review / L. Wiltse // *Spine (Philadelphia 1986)*. – 1992. – Vol. 6. – P. 1–10.

365. Wosczyzna, M.N., Biswas, A.A., Cogswell, C.A., Goldhamer, D.J. Multipotent progenitors resident in the skeletal muscle interstitium exhibit robust BMP-dependent osteogenic activity and mediate heterotopic ossification / M.N. Wosczyzna, A.A. Biswas, C.A. Cogswell, D.J. Goldhamer // *J Bone Miner Res*. – 2012. – Vol. 27. – P. 1004–1017.

366. Xia, X.P., Chen, H.L., Cheng, H.B. Prevalence of adjacent segment degeneration after spine surgery: a systematic review and meta-analysis / X.P. Xia, H.L. Chen, H.B. Cheng // *Spine*. – 2013. – Vol. 38 (7). – P. 597–608.

367. Xu, H.Z., Wang, X.Y., Chi, Y.L., Zhu, Q.A., Lin, Y., Huang, Q.S., Dai, L.Y. Biomechanical evaluation of a dynamic pedicle screw fixation device / H.Z. Xu, X.Y. Wang, Y.L. Chi, Q.A. Zhu, Y. Lin, Q.S. Huang, L.Y. Dai // *Clinical Biomechanics*. – 2006. – Vol. 21 (4). – P. 330–336.

368. Yan, W. Theoretical investigation of wear-resistance mechanism of superelastic shape memory alloy NiTi / W. Yan // *Mater SciEng A*. – 2006. – Vol. 427. – P. 348–355.

369. Yu, A.K., Siegfried, C.M., Chew, B., Hobbs, J., Sabersky, A., Jho, D.J., Cook, D.J., Bellotte, J.B., Whiting, D.M., Cheng, B.C. Biomechanics of Posterior Dynamic Fusion Systems in the Lumbar Spine: Implications for Stabilization With Improved Arthrodesis / A.K. Yu, C.M. Siegfried, B. Chew, J. Hobbs, A. Sabersky, D.J. Jho, D.J. Cook, J.B. Bellotte, D.M. Whiting, B.C. Cheng // *Clin Spine Surg*. – 2016. – Vol. 29 (7). – P. E325–E330.

370. Yu, H.J., Bahri, S., Gardner, V., Muftuler, L.T. In vivo quantification of lumbar disc degeneration: assessment of ADC value using a degenerative scoring

system based on Pfirrmann framework / H.J. Yu, S. Bahri, V. Gardner, L.T. Muftuler // *Eur Spine J.* – 2015. – Vol. 24 (11). – P. 2442–2448.

371. Yue, J.J., Timm, J.P., Panjabi, M.M., Jaramillo-de la Torre, J. Clinical application of the Panjabi neutral zone hypothesis: the Stabilimax NZ posterior lumbar dynamic stabilization system / J.J. Yue, J.P. Timm, M.M. Panjabi, J. Jaramillo-de la Torre // *Neurosurgical focus.* – 2007. – Vol. 22 (1). – P. E12.

372. Yue, J.J., Garcia, R., Miller, L.E. The activL(®) artificial disc: a next generation motion-preserving implant for chronic lumbar discogenic pain / J.J. Yue, R. Garcia, L.E. Miller // *Med Devices (Auckl).* – 2016. – Vol. 9. – P. 75–84.

373. Zander, T. Influence of graded facetotomy and laminectomy on spinal biomechanics / T. Zander, A. Rohlmann, C. Klockner // *Eur. Spine J.* – 2003. – Vol. 12. – P. 427–434.

374. Zigler, J.E., Delamarter, R.B. Five-year results of the prospective, randomized, multicenter, Food and Drug Administration investigational device exemption study of the ProDisc-L total disc replacement versus circumferential arthrodesis for the treatment of single-level degenerative disc disease / J.E. Zigler, R.B. Delamarter // *J Neurosurg Spine.* – 2012. – Vol. 17. – P. 493–501.

375. Zigler, J.E., Glenn, J., Delamarter, R.B. Five-year adjacent-level degenerative changes in patients with single-level disease treated using lumbar total disc replacement with ProDisc-L versus circumferential fusion / J.E. Zigler, J. Glenn, R.B. Delamarter // *J Neurosurg Spine.* – 2012. – Vol. 17. – P. 504–511.

376. Zigler, J., Delamarter, R., Spivak, J.M., Linovitz, R.J., Danielson, G.O. 3rd, T.T. Haider, F. Cammisa, J. Zuchermann, R. Balderston, S. Kitchel, K. Foley, R. Watkins, D. Bradford, J. Yue, H. Yuan, H. Herkowitz, D. Geiger, J. Bendo, T. Peppers, B. Sachs, F. Girardi, M. Kropf, J. Goldstein Results of the prospective, randomized, multicenter food and drug administration investigational device exemption study of the ProDisc®-L total disc replacement versus circumferential fusion for the treatment of 1-level degenerative disc disease / J. Zigler, R. Delamarter, J.M. Spivak, R.J. Linovitz, G.O. Danielson 3rd, T.T. Haider, F. Cammisa, J. Zuchermann, R. Balderston, S. Kitchel, K. Foley, R. Watkins, D. Bradford, J. Yue, H. Yuan, H. Herkowitz, D. Geiger, J. Bendo,

T. Peppers, B. Sachs, F. Girardi, M. Kropf, J. Goldstein // *Spine*. – 2007. – Vol. 32 (11). – P. 1155–1162.

377. Zhang, L., Shu, X., Duan, Y., Ye, G., Jin, A. Effectiveness of ISOBAR TTL semi-rigid dynamic stabilization system in treatment of lumbar degenerative disease / L. Zhang, X. Shu, Y. Duan, G. Ye, A. Jin // *Zhongguo Xiu Fu Chong JianWai Ke Za Zhi*. – 2012. – 26 (9). – P. 1066–1070.

378. Zhang Q.H., Teo E.C. Finite element application in implant research for treatment of lumbar degenerative disc disease / Zhang Q.H., Teo E.C. // *Medical Engineering and Physics*. 2008; Vol. 30 (10): P. 1246–1256.

379. Zhang, Z.M., Zhao, L., Qu, D.B., Jin, D.D. Artificial nucleus replacement: surgical and clinical experience / Z.M. Zhang, L. Zhao, D.B. Qu, D.D. Jin // *Orthop Surg*. – 2009. – Vol. 1 (1). – P. 52–57.

380. Zucherman, J.F., Hsu, K.Y., Hartjen, C.A., Mehalic, T.F., Implicito, D.A., Martin, M.J., Johnson, D.R. 2nd, Skidmore, G.A., Vessa, P.P., Dwyer, J.W., Puccio, S.T., Cauthen, J.C., Ozuna, R.M. A multicenter, prospective, randomized trial evaluating the X STOP interspinous process decompression system for the treatment of neurogenic intermittent claudication: two-year follow-up results / J.F. Zucherman, K.Y. Hsu, C.A. Hartjen, T.F. Mehalic, D.A. Implicito, M.J. Martin, D.R. Johnson 2nd, G.A. Skidmore, P.P. Vessa, J.W. Dwyer, S.T. Puccio, J.C. Cauthen, R.M. Ozuna // *Spine*. – 2005. – Vol. 30 (12). – P. 1351–1358.