

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
«РОССИЙСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
ТРАВМАТОЛОГИИ И ОРТОПЕДИИ ИМЕНИ Р.Р. ВРЕДЕНА»  
МИНИСТЕРСТВА ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

*На правах рукописи*

БАСАНКИН

Игорь Вадимович

СИСТЕМА ПРОФИЛАКТИКИ ПРОКСИМАЛЬНОГО ПЕРЕХОДНОГО КИФОЗА  
И НЕСТАБИЛЬНОСТИ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ ПРИ ХИРУРГИЧЕСКОМ  
ЛЕЧЕНИИ ПАЦИЕНТОВ С ДЕГЕНЕРАТИВНЫМ СКОЛИОЗОМ  
ПОЯСНИЧНОГО ОТДЕЛА ПОЗВОНОЧНИКА

14.01.15 – травматология и ортопедия

Диссертация на соискание ученой степени

доктора медицинских наук

Научный консультант:

доктор медицинских наук, профессор

Пташников Дмитрий Александрович

Санкт-Петербург – 2019

ВВЕДЕНИЕ	6
ГЛАВА 1. КЛИНИКО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОКСИМАЛЬНОГО ПЕРЕХОДНОГО КИФОЗА И НЕСТАБИЛЬНОСТИ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИИ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)	18
1.1. Терминологические аспекты понятий проксимального переходного кифоза и нестабильности металлоконструкции	19
1.2. Эпидемиология и патогенез развития проксимального переходного кифоза и нестабильности металлоконструкции	22
1.3. Диагностические критерии и классификации проксимального переходного кифоза и нестабильности металлоконструкции	27
1.4. Факторы риска развития проксимального переходного кифоза и нестабильности металлоконструкции	32
1.4.1. Хирургические факторы риска развития проксимального переходного кифоза	34
1.4.2. Рентгенологические факторы риска развития проксимального переходного кифоза	38
1.4.3. Пациент-ассоциированные факторы риска развития проксимального переходного кифоза	41
1.4.4. Факторы риска развития нестабильности металлоконструкции	42
1.4.5. Хирургические факторы риска развития нестабильности металлоконструкции	43
1.4.6. Рентгенологические факторы риска развития нестабильности металлоконструкции	48
1.4.7. Пациент-ассоциированные факторы риска развития нестабильности металлоконструкции	50
1.5. Принципы профилактики проксимального переходного кифоза	51

1.5.1 Сохранение заднего капсульно-связочного комплекса	51
1.5.2 Предотвращение преднагрузки на импланты в проксимальной зоне фиксации	51
1.5.3 Профилактическая вертебропластика	52
1.5.4 Увеличение минеральной плотности костной ткани	53
1.5.5 Выбор оптимального уровня и способа фиксации проксимального позвонка	53
1.5.6 Достижение оптимальных позвоночно-тазовых соотношений	55
1.5.7 Профилактическая фиксация ребер	57
1.5.8 Фиксация остистых отростков	58
1.6. Принципы профилактики нестабильности металлоконструкции	58
1.6.1 Воссоздание передней опорной колонны	59
1.6.2 Увеличение минеральной плотности костной ткани	59
1.6.3 Установка транспедикулярных винтов на цемент	60
1.7 Принципы лечения пациентов с проксимальным переходным кифозом и проксимальной переходной несостоятельностью	61
1.8 Принципы лечения пациентов с нестабильностью металлоконструкции	63
1.9. Резюме	63
ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	66
2.1. Структура и общая характеристика диссертационного исследования	66
2.2. Общая характеристика больных	69
2.3. Инструментальные методы исследования	75
2.3.1. Рентгенологические методы исследования	75
2.3.1.1. Рентгенография	75
2.3.1.2. Компьютерная томография	79

2.3.1.3. Магнитно-резонансная томография	80
2.3.1.4. Денситометрия	82
2.3.2. Другие методы исследования	82
2.4. Анкетирование больных	83
2.5. Статистическая обработка полученных количественных данных	84
<b>ГЛАВА 3.ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ФАКТОРОВ РИСКА РАЗВИТИЯ ПРОКСИМАЛЬНОГО ПЕРЕХОДНОГО КИФОЗА И НЕСТАБИЛЬНОСТИ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИИ</b>	<b>86</b>
3.1.Клинико-рентгенологические особенности патологических изменений при формировании проксимального переходного кифоза	86
3.2.Анализ факторов риска развития проксимального переходного кифоза	91
3.3. Клинико-рентгенологические особенности патологических изменений при развитии нестабильности металлоконструкции	100
3.4. Анализ факторов риска развития нестабильности металлоконструкции	104
3.5. Обсуждение полученных результатов	110
3.6. Усовершенствование диагностической программы у пациентов с дегенеративным сколиозом	113
<b>ГЛАВА 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОФИЛАКТИЧЕСКОЙ ВЕРТЕБРОПЛАСТИКИ И ЛАМИНАРНОЙ ФИКСАЦИИ ВЫШЕЛЕЖАЩЕГО ПОЗВОНКА С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ РАЗВИТИЯ ПРОКСИМАЛЬНЫХ ПЕРЕХОДНЫХ КИФОЗОВ</b>	<b>117</b>
4.1. Анализ материала экспериментальной части исследования	117
4.2. Методика выполнение экспериментальной части исследования	118
4.3. Результаты, полученные в ходе экспериментальной части исследования	122
4.4. Оценка и обсуждение результатов, полученных в ходе экспериментальной части исследования	130

ГЛАВА 5. ОСОБЕННОСТИ ХИРУРГИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ ПАЦИЕНТОВ С ДЕГЕНЕРАТИВНЫМИ СКОЛИОЗАМИ	135
5.1. Особенности техники хирургического вмешательства при лечении дегенеративного сколиоза	138
5.1.1. Разработка реконструкции поясничного позвоночно-двигательного сегмента	140
5.1.2. Особенности имплантации стабилизирующей системы и коррекции деформации	144
5.1.3. Разработка способа профилактики переломов смежных позвонков при транспедикулярной фиксации на фоне остеопороза	148
5.2. Интраоперационный контроль за качеством выполнения коррекции деформации и адекватностью декомпрессии	152
5.3. Общая характеристика пациентов проспективного исследования	154
5.4. Анализ рентгенологических параметров у пациентов проспективных групп	184
5.5. Анализ результатов лечения пациентов проспективных групп	188
5.6. Анализ осложнений хирургического лечения пациентов проспективных групп	193
5.7. Обсуждение результатов лечения пациентов в проспективных группах. Обоснование системы профилактики проксимального переходного кифоза и нестабильности металлоконструкции при хирургическом лечении пациентов с дегенеративным сколиозом	198
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	204
ВЫВОДЫ	211
ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ	213
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ	214
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	216

## ВВЕДЕНИЕ

### Актуальность темы исследования

Инструментальная фиксация позвоночно-двигательных сегментов (ПДС), получившая широкое распространение на протяжении последних десятилетий, на сегодняшний день является неотъемлемой частью хирургических вмешательств, направленных на формирование спондилодеза (Ветрилэ С.Т., 2004; Бывальцев В.А. с соавт., 2015; Колесов С.В. с соавт., 2016; Макаревич С.В., 2018; Vassago A.R. et al., 2000). При этом спондилосинтез с использованием систем транспедикулярной фиксации (ТПФ) является золотым стандартом в лечении патологии позвоночника, требующей стабилизации или коррекции деформации (Ахметьянов Ш.А., Крутько А.В., 2015; Губин А.В., Рябых С.О., Бурцев А.В. 2015). Наибольший опыт использования инструментальной фиксации, по данным мировой литературы, накоплен на основании хирургического лечения дегенеративной патологии у взрослых. По результатам многочисленных исследований данная нозологическая группа занимает первое место по частоте среди всей патологии позвоночника, значительно снижая качество жизни пациентов (Коновалов Н.А. с соавт., 2009; Маркин С.П. 2009; Калинин А.А. с соавт., 2015; Гуца А.О. с соавт., 2015; 2017; Bridwell К.Н. et al., 2007). При этом ее прогрессирование приводит к формированию дегенеративного сколиоза поясничного отдела, а при отсутствии хирургического лечения, к необратимым изменениям в структуре нервного волокна с развитием парезов и стойкой потерей трудоспособности.

Вместе с тем, по мнению большинства исследователей, изолированные декомпрессивные вмешательства без фиксации не позволяют добиться удовлетворительного результата лечения в связи с наличием нестабильности ПДС или нарушений глобального баланса позвоночника (Ахметьянов Ш.А., Крутько А.В., 2015; Bridwell К.Н. et al., 2007; Remi С. et al., 2008; Kim Y.J. et al., 2016). Именно высокий риск развития нестабильности ПДС и прогрессирования

деформации позвоночника обуславливает необходимость инструментальной фиксации (Амин Ф.И., 2009; Васильев А.И., 2016; Продан А.И. с соавт., 2008).

С другой стороны, увеличение продолжительности жизни за последние десятилетия привело к общему росту частоты дегенеративно-дистрофической патологии позвоночника и увеличению ее доли в популяции в связи с очень высоким распространением среди лиц пожилого возраста (Продан А.И., с соавт., 2008; Климов В.С. с соавт., 2018). В тоже время, совершенствование анестезиологического и хирургического пособия в последнее время обусловило повышению хирургической активности в лечении особенно пациентов пожилого и старческого возраста (Крутько А.В. с соавт., 2014). Данные факторы во многом способствовали накоплению опыта, как в лечении данной категории пациентов в целом, так и изучению отдаленных результатов именно хирургического этапа с инструментальной фиксацией ПДС.

Помимо этого, расширение возможностей хирургического этапа позволило эффективно решать как нейрохирургические, так и ортопедические задачи оперативного вмешательства. Так, изолированные декомпрессивные методики в лечении рассматриваемой патологии, закономерно уступили свое место полноценным хирургическим техникам с использованием систем ригидной фиксации ПДС.

Таким образом, на сегодняшний день хирургическое лечение дегенеративных сколиозов поясничного отдела позвоночника помимо нейрохирургического этапа, заключающегося в декомпрессии невральных структур, в подавляющем большинстве случаев, включает в себя ортопедический этап со стабилизацией ПДС и полноценной коррекцией деформации.

В тоже время хирургическое лечение у пациентов изучаемой категории сопровождается высоким (более 50%) процентом неудовлетворительных результатов, что связано, прежде всего, с высокой частотой осложнений, как в раннем, так и в отдаленном периодах наблюдения (Аскарлов А.А. с соавт., 2012; Афаунов А.А. с соавт., 2014, Бердюгин К.А. с соавт., 2010; Радченко В.А. с соавт., 2011; Козлов Д.М. с соавт., 2011; Kazunori Y. et al., 1996; Berjano P. et al., 2013;

Baron E.M. et. al., 2006). При этом большинство из них непосредственно связаны с имплантируемой металлоконструкцией. Значительная роль в структуре данных осложнений принадлежит формированию проксимального переходного кифоза (ППК) и развитию нестабильности металлоконструкции (НМК) (Левченко С.К. с соавт., 2011; Михайловский М.В. с соавт., 2014).

Эти осложнения сопровождаются резким снижением качества жизни пациентов, зачастую ниже предоперационного уровня, а также необходимостью повторного хирургического лечения.

Анализ факторов, ассоциированных с развитием ППК и НМК, выявил огромное количество параметров, описываемых в литературе с различной, а иногда прямо противоположной, степенью значимости. Такое разнообразие факторов риска может говорить либо о полиэтиологичности данной патологии, либо о малой изученности проблемы (Сергунин А.Ю. с соавт., 2015).

В целом анализ мировой литературы показывает то, что механизмы развития ППК и НМК, а также факторы риска развития данных патологических состояний изучены недостаточно и продолжают обсуждаться в современной научной литературе. При этом весьма актуальным является обоснование и разработка диагностической программы, а также рационального подхода к выбору метода хирургического лечения пациентов с выраженными дегенеративно-дистрофическими заболеваниями позвоночника с учетом профилактики развития ППК и НМК. Практическая важность этих нерешенных вопросов определили цель и задачи нашего диссертационного исследования.

**Цель исследования** – обосновать и апробировать в клинике систему хирургического лечения пациентов с дегенеративным сколиозом поясничного отдела позвоночника, учитывающую факторы риска развития проксимального переходного кифоза и нестабильности металлоконструкций, направленную на их профилактику.



### **Задачи исследования**

1. Оценить посредством ретроспективного анализа собственного клинического материала значимость факторов риска развития проксимального переходного кифоза и нестабильности металлоконструкций при хирургическом лечении пациентов с дегенеративным сколиозом поясничного отдела позвоночника.

2. Усовершенствовать диагностическую программу у профильных пациентов с учетом необходимости выявления установленных значимых факторов риска развития изучаемых осложнений после хирургического лечения.

3. Оценить в эксперименте на нефиксированном анатомическом материале эффективность профилактической вертебропластики и ламинарной фиксации вышележащего позвонка для предупреждения развития проксимальных переходных кифозов после хирургического лечения пациентов с дегенеративным сколиозом поясничного отдела позвоночника.

4. Провести сравнительный анализ эффективности различных вариантов хирургического лечения профильных пациентов в рамках проспективного клинического исследования с учетом выявленных факторов риска развития и способов профилактики изучаемых осложнений.

5. На основании анализа собственного клинического материала и соответствующих научных публикаций обосновать алгоритм выбора тактики хирургического лечения профильных пациентов, направленный на профилактику проксимального переходного кифоза и нестабильности металлоконструкций.

### **Научная новизна исследования**

1. Получены новые сведения о наиболее значимых факторах риска развития проксимального переходного кифоза и нестабильности металлоконструкций после инструментальной фиксации грудного и поясничного отделов позвоночника у профильных пациентов.

2. Впервые научно обоснован факт влияния показателя проксимального переходного угла на риск развития проксимального переходного кифоза, достоверно определены его пороговые значения.

3. Впервые экспериментальным путем доказана эффективность профилактических хирургических мероприятий для повышения прочностных характеристик позвонков в смежной с металлоконструкцией зоне.

4. Обоснованы и успешно внедрены в клиническую практику новые способы реконструкции поясничного позвоночно-двигательного сегмента (патент РФ на изобретение № 2527150) и профилактики переломов смежных позвонков при транспедикулярной фиксации на фоне остеопороза (патент РФ на изобретение № 2669028) у пациентов с изучаемой патологией.

5. Впервые дана оценка степени коррекции сагиттального профиля и позвоночно-тазовых взаимоотношений, а также определены показания к использованию профилактических хирургических способов предупреждения развития проксимального переходного кифоза.

6. Обоснован собственными исследованиями и успешно апробирован в клинике оригинальный алгоритм выбора тактики хирургического лечения профильных пациентов, направленный на профилактику развития проксимального переходного кифоза и нестабильности металлоконструкций.

### **Практическая значимость**

1. Выявленные в ходе ретроспективной клинической части нашего исследования значимые факторы риска развития проксимального переходного кифоза и нестабильности металлоконструкций после оперативного лечения пациентов с дегенеративными сколиозами поясничного отдела позвоночника послужили основой для разработки обоснованной системы их профилактики.

2. Усовершенствованная диагностическая программа предоперационного обследования профильных пациентов позволяет выявлять и учитывать в ходе предоперационного обследования значимые факторы риска развития изученных осложнений и, соответственно, предпринимать меры по их предупреждению.

3. Экспериментальное изучение влияния ламинарной двусторонней фиксации системой «Universal Clamp» и профилактической цементной ветребропластики тел позвонков на прочность фиксируемых позвоночно-двигательных сегментов создали необходимые предпосылки для целенаправленного использования этих хирургических технологий в клинике с целью профилактики наиболее частых осложнений оперативного лечения пациентов изученного профиля.

4. Внедрение в клиническую практику обоснованных в ходе проведенного исследования рекомендаций по методике инструментальной фиксации грудного и поясничного отделов позвоночника с коррекцией определенных позвоночно-тазовых взаимоотношений, а также новых способов хирургического лечения больных изученного профиля направлены на снижение частоты изученных осложнений, улучшение функциональных исходов лечения и качества их жизни.

5. Предложенный и успешно прошедший клиническую апробацию оригинальный алгоритм выбора тактики хирургического лечения пациентов с дегенеративными сколиозами поясничного отдела позвоночника позволяет обоснованно планировать оперативное лечение с учетом выявленных факторов риска осложнений и, благодаря этому, способствует уменьшению частоты развития в отдаленном послеоперационном периоде проксимального переходного кифоза и нестабильности металлоконструкций.

### **Методология и методы исследования**

Представленное диссертационное исследование включало три последовательно выполненные части, объединенные общей целью: ретроспективную клиническую, экспериментальную и проспективную клиническую.

Ретроспективное клиническое исследование было проведено в рамках первой части нашей диссертационной работы и включало анализ медицинской документации а также целенаправленные осмотры 382 пациентов с дегенеративным сколиозом поясничного отдела позвоночника, проходивших

хирургическое лечение в клинике ФГБУ «РНИИТО им. Р.Р. Вредена» Минздрава России и в стационаре ГБУЗ «НИИ – Краевая клиническая больница № 1 им. С.В. Очаповского» Минздрава Краснодарского края в период с 2009 по 2015 год.

На первом этапе нашего ретроспективного клинического исследования в рамках решения первой задачи диссертационной работы были целенаправленно проанализированы особенности и причины развития у профильных пациентов двух наиболее частых осложнений операций инструментальной фиксации позвоночно-двигательных сегментов: проксимального переходного кифоза и нестабильности металлоконструкций. Для этого все наши пациенты были разделены на несколько клинических групп: с клинико-рентгенологическими проявлениями ППК или НМК и без таковых на основании двухлетнего периода наблюдения после выполненных операций.

Далее был проведен комплексный анализ результатов клинического и рентгенологического обследования пациентов указанных групп, а также количественная оценка выраженности болевого синдрома, качества жизни и функционального состояния. Для этого были использованы шкалы VAS, ODI и Nurick. Диагностику развития ППК и НМК проводили на основании клинической картины, физикального обследования, неврологического статуса, данных рентгенографии и компьютерной томографии (КТ). Кроме того, были целенаправленно определены основные механизмы развития этих осложнений и сроки их возникновения. Выявление факторов риска развития изучаемых осложнений и определение их значимости было проведено в описанных выше клинических группах с использованием статистических методик регрессии Кокса и ROC анализа.

Затем на втором этапе нашего исследования в рамках решения второй задачи диссертационной работы на основании анализа материалов ретроспективной клинической группы была оценена и уточнена клиническая эффективность различных методов лучевой диагностики: рентгенография стоя в полный рост, функциональные рентгенограммы для определения мобильности или ригидности грудного кифоза и поясничного лордоза, определение

проксимального переходного угла (ППУ)/Proximal Junctional Angle (PJA) и прочее, применительно к возможностям выявления значимых факторов риска развития ППК и НМК после проведенных операций у профильных больных. Эти факторы риска и методики их выявления были определены по результатам проведения первого этапа нашего ретроспективного клинического исследования. Благодаря этому, на втором этапе работы удалось усовершенствовать диагностическую программу предоперационного обследования пациентов изучаемого нами профиля.

Третья задача нашей диссертационной работы решалась в ходе третьего этапа исследования – в экспериментальной его части. На этом этапе на специальном нефиксированном анатомическом материале – нефиксированных блоках позвоночника, включающих 7 позвонков (Th<sub>10</sub>–L<sub>4</sub>) с сохраненными межпозвонковыми дисками и капсульно-связочным аппаратом, были воссозданы условия повышенного риска развития ППК и НМК на основании выводов, полученных в ретроспективной части исследования. Далее на указанных блоках оценивали посредством специальных нагрузочных проб возможности повышения прочности позвонков посредством моделирования операций двусторонней фиксации системой «Universal Clamp» и профилактической цементной вертебропластики тел позвонков. Результаты экспериментов на анатомическом материале послужили надежной основой для последующего успешного использования указанных операций в ходе третьей – проспективной клинической части нашего диссертационного исследования.

В рамках третьей части и, соответственно, четвертого этапа нашей диссертационной работы для решения ее четвертой задачи в ходе проспективного клинического исследования были оценены в сравнительном плане результаты лечения 140 пациентов с дегенеративным сколиозом поясничного отдела позвоночника, которые были разделены на 4 клинические группы в зависимости от методов их хирургического лечения с учетом выявленных факторов риска развития изучаемых осложнений: ППК и НМК. В частности: 1-я группа: включала 36 пациентов, которым выполняли коррекцию поясничного лордоза не более 30°;

2-я группа: состояла из 24 пациентов, которым проводили коррекцию поясничного лордоза не более  $30^{\circ}$  и дополнительно устанавливали ламинарные фиксаторы; 3-я группа: включала 20 профильных больных с полным восстановлением сагиттального и фронтального баланса позвоночника вне зависимости от выявленных факторов риска, которым дополнительно выполняли профилактическую цементную вертебропластику; 4-я группа: состояла из 60 пациентов с полным восстановлением сагиттального и фронтального баланса позвоночника вне зависимости от выявленных факторов риска.

Все перечисленные клинические группы наших пациентов были обследованы и проанализированы по основным клиничко-рентгенологическим параметрам до операции, а также в сроки через 3, 6, 12 и 24 месяца после хирургического лечения. Сравнительный анализ полученных количественных данных по результатам лечения пациентов указанных клинических групп был выполнен с использованием непараметрических статистических методов.

Наконец, на заключительном – пятом этапе нашего диссертационного исследования в рамках третьей его части решали последнюю – пятую задачу. На данном этапе в ходе обобщения всех материалов проведенных клинических и экспериментальных исследований, а также анализа профильных научных публикаций была обоснована и успешно апробирована в клинике система профилактики проксимального переходного кифоза и нестабильности металлоконструкции при хирургическом лечении пациентов с дегенеративными сколиозами поясничного отдела позвоночника, что и являлось целью нашего диссертационного исследования. Для этого, в частности, был разработан и проверен клинической практикой оригинальный алгоритм выбора тактики хирургического лечения профильных пациентов, направленный на профилактику проксимального переходного кифоза и нестабильности металлоконструкций с учетом установленных нами значимых факторов риска развития указанных осложнений.

## Основные положения, выносимые на защиту

1. Факторы риска развития проксимального переходного кифоза и нестабильности металлоконструкций после оперативного лечения пациентов с дегенеративным сколиозом поясничного отдела позвоночника, определенные посредством математического и статистического анализа, могут быть эффективно использованы для профилактики указанных осложнений в ходе целенаправленного предоперационного планирования.

2. Усовершенствованная диагностическая программа обследования пациентов изученного профиля позволяет детализировать имеющиеся изменения в зоне операции, а также выявлять и учитывать факторы риска указанных осложнений инструментальной фиксации позвоночника, что обеспечивает выбор рациональной тактики хирургического лечения.

3. Выполненное экспериментальное обоснование применения хирургических технологий ламинарной двухсторонней фиксации позвоночно-двигательных сегментов и цементной вертебропластики для повышения прочности тел позвонков позволило эффективно использовать их в клинической практике для профилактики развития в послеоперационном периоде проксимального переходного кифоза у пациентов с изученной патологией.

4. У пациентов с нарушениями позвоночно-тазовых взаимоотношений и высоким риском развития проксимального переходного кифоза или нестабильности металлоконструкций объем стандартного хирургического лечения целесообразно дополнять ламинарной фиксацией позвоночно-двигательных сегментов и/или цементной вертебропластикой, продемонстрировавшими в ходе проспективной части нашего клинического исследования высокую эффективность в плане профилактики указанных осложнений в послеоперационном периоде.

5. Предложенный в результате проведенного нами исследования алгоритм выбора тактики хирургического лечения пациентов с дегенеративным сколиозом поясничного отдела позвоночника, направленный на профилактику наиболее частых осложнений – проксимального переходного кифоза и нестабильности металлоконструкций, успешно прошел клиническую апробацию и обеспечил

достоверное улучшение отдаленных результатов лечения профильных пациентов, что позволяет рекомендовать его к более широкому клиническому использованию.

### **Апробация и реализация диссертационной работы**

Основные результаты диссертационного исследования доложены на всероссийском конгрессе с международным участием «Медицинская помощь при травмах и неотложных состояниях в мирное и военное время. Новое в организации и технологиях» (Санкт-Петербург, 2016, 2018); Евразийском ортопедическом форуме (Москва, 2017); VII, VIII, IX съезды хирургов-вертебрологов (Москва, 2016, Иркутск, 2017, Санкт-Петербург, 2018); II форум нейрохирургов Сибири (Новосибирск, 2018); Международном конгрессе Eurospine (Копенгаген, 2015); международном конгрессе Spine week (Сингапур, 2016), а также на международных конгрессах Global Spine Congress (Буэнос Айрес, 2015; Дубай, 2016, Милан, 2017, Сингапур, 2018).

По теме диссертации опубликованы 21 печатная работа, в том числе 15 статей в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК РФ для публикации результатов диссертационных исследований. Получено 2 патента РФ на изобретения, связанные с темой диссертационной работы. Лечение и обследование пациентов проводилось квалифицированным персоналом при использовании сертифицированного оборудования в соответствии с принятыми на территории Российской Федерации стандартами.

Все исследования проведены в соответствии с этическими стандартами Хельсинской декларации Всемирной медицинской ассоциации «Этические принципы проведения научных исследований с участием человека», с поправками. Всеми пациентами или их законными представителями было подписано информированное согласие на публикацию данных, полученных в результате исследований, без идентификации личности.

Клиническая часть работы выполнялась в ГБУЗ НИИ ККБ №1 им проф. С.В. Очаповского МЗ Краснодарского края и ФГБУ «РНИИТО им. Р.Р. Вредена»



Минздрава России, где были апробированы и внедрены в практику разработанные алгоритмы предоперационного обследования. Материалы диссертационного исследования используются при чтении лекций и проведении семинарских занятий с клиническими ординаторами и аспирантами, а также врачами, проходящими усовершенствование по программам дополнительного профессионального образования на базе ФГБОУ Кубанского Государственного Медицинского Университета МЗ Российской Федерации, а также на базе ФГБУ «РНИИТО им. Р.Р. Вредена» Минздрава России.

### **Объем и структура диссертации**

Диссертация изложена на 239 страницах текста и состоит из введения, пяти глав (обзор литературы, характеристика материала и методов исследования, собственные результаты и их обсуждение), заключения, выводов, практических рекомендаций. Список литературы содержит 200 источников, в том числе 44 отечественных и 156 иностранных авторов. Работа иллюстрирована 66 рисунками и 42 таблицами.

**ГЛАВА 1****КЛИНИКО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОКСИМАЛЬНОГО  
ПЕРЕХОДНОГО КИФОЗА И НЕСТАБИЛЬНОСТИ  
МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИИ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)**

Цель фиксации ПДС при дегенеративно-дистрофическом поражении позвоночника заключается в прекращении движений в болезненном сегменте для уменьшения болевого синдрома и повышения функциональной активности пациентов (Esses S.I. et al., 1993; Bennett G.J. et al., 1997; Schnee C.L. et al., 1997; Hu K. et al., 2016). При этом в случае лечения выраженной дегенеративной патологии помимо ортопедического этапа, направленного на стабилизацию ПДС, не менее важную роль играет декомпрессия неврологических структур, так называемый нейрохирургический этап. Крайняя степень дегенеративно-дистрофического поражения позвоночника, проявляющаяся в дегенеративном сколиозе, требует, на сегодняшний день, не только декомпрессии и стабилизации, но и коррекции деформации (Бурцев А.В., Рябых С.О., 2017; Arlet V. et al., 2013; Berjano P. et al., 2013; Pumberger M. et al., 2018).

В последние десятилетия в лечении пациентов данного профиля резко возросла частота использования транспедикулярных систем, что обусловлено, прежде всего, высокой степенью первичной стабильности данного типа фиксации и широкими возможностями управляемой коррекции. При этом, несмотря на все преимущества ригидного транспедикулярного спондилосинтеза сохраняются риски развития характерных осложнений в отдаленном периоде наблюдения, особенно у пациентов со снижением минеральной плотности костной ткани (Продан А.И. с соавт., 2009; Крутько А.В., 2012; Бывальцев В.А., 2018; Faraj A. A. et al., 1997; Duncan J.D. et al., 1998; Mohi Eldin M.M. et al., 2014).

## **1.1. Терминологические аспекты понятий проксимального переходного кифоза и нестабильности металлоконструкции**

Для изучения отдаленных результатов хирургического лечения пациентов необходимо точное понимание определений и терминологии описываемых осложнений, особенно в случаях анализа такой комплексной патологии как ППК или НМК. В ранних публикациях, описывающих возникновение ППК, данная патология определялась как ненормальная кифотическая деформация, возникающая на уровне верхнего фиксированного позвонка. Некоторое время в литературе было распространено определение G.A. Lee с соавторами (1999), в котором ППК был описан как кифоз на  $5^\circ$  превышающий величину параметров нормы сагиттального сегментарного профиля на уровне проксимальной фиксации после заднего спондилодеза. Однако единого утвержденного определения ППК не существовало, и авторы предлагали к использованию значительное количество вариантов. Так R.C. Glattes с соавторами (2005) диагностировали ППК в тех случаях, когда проксимальный переходный сагиттальный угол Кобба, который определялся как угол между нижней замыкательной пластинкой проксимального фиксированного позвонка и верхней замыкательной пластинкой второго свободного позвонка над зоной фиксации, был на  $10^\circ$  больше предоперационного значения. M.D. Helgeson с соавторами (2010) утверждал, что в случае ППК патологическая кифотическая деформация должна быть более  $15^\circ$  и определяться на основании измерения соответствующего угла по верхней замыкательной пластике позвонка непосредственно выше зоны фиксации. Авторы предположили, что стандартное измерение проксимального переходного угла на уровне второго позвонка над зоной инструментальной фиксации не соответствует физиологическим основам, а интраоперационное повреждение капсулы фасеточных суставов или межкостистой связки может приводить к развитию ППК. Однако R. Hostin с соавторами (2013), на основании многоцентрового ретроспективного исследования, определили ППК как деформацию более  $15^\circ$  при измерении угла на уровне двух ПДС краниальнее окончания инструментальной

фиксации. Кроме того, данное определение применялось во многих научных работах того же периода (Kim Y.J. et al., 2005; Kim Y.J. et al., 2007; Wang J. et al., 2010; Mendoza-Lattes S. et al., 2011; Yagi M. et al., 2011; Kim H.J. et al., 2012; Yagi M. et al., 2012; Hart R. et al., 2013; Maruo K. et al., 2013). В.А. O'Shaughnessy с соавторами (2012) и К.Н. Bridwell с соавторами (2013) определяли ППК в случае наличия кифотического компонента деформации более  $20^\circ$  на основании измерения угла Кобба по верхней замыкательной пластинке второго позвонка над зоной фиксации. При этом К.Н. Bridwell с соавторами (2013) утверждали, что деформация более  $20^\circ$  может не быть показанием для ревизионного хирургического лечения, однако является пороговым значением ухудшения состояния пациентов.

С. Sacramento-Dominguez с соавторами (2009) выполнили 152 измерений у 19 пациентов с сколиозом и сравнили воспроизводимость показателей переходных углов на одном и двух уровнях выше проксимальной точки фиксации. Статистический анализ полученных данных показал колебания коэффициента взаимной корреляции от 0,78 до 0,92, что соответствовало очень высокой степени воспроизводимости результатов. Таким образом, обе методики измерения показали положительные результаты воспроизводимости и в равной степени могут быть использованы для диагностики ППК.

В последние годы было предложено рабочее определение ППК на основании двух обязательных критериев: проксимальный переходный угол (ППУ), измеряемый на втором ПДС, более  $10^\circ$ , при этом данный угол должен быть как минимум на  $10^\circ$  больше предоперационного значения (Wang H., et al., 2016).

Таким образом, на сегодняшний день не существует четкого общепринятого определения ППК, что не способствует обобщению огромного материала по данной проблеме и созданию единых подходов к диагностике, профилактике и лечению данного осложнения. Однако в настоящее время, большинство авторов определяют ППК как кифотический компонент деформации превышающий

предоперационные значения минимум на  $10^\circ$  (Glattes R.C. et al., 2005; Cho S.K. et al., 2014; Han S. et al., 2017; Park S.J. et al., 2017).

Также, в мировой литературе разделяют понятия проксимальный переходный кифоз (ППК; PJK, Proximal Junctional Kyphosis) и проксимальная переходная несостоятельность (ППН; PJF, Proximal Junctional Failure). ППН принято считать прогрессирующей формой ППК, включающей в себя переломы тел позвонка на уровне проксимальной точки фиксации или позвонка над ним, подвывих позвонка краниальнее зоны фиксации, миграцию проксимальной части металлоконструкции, нарастание неврологического дефицита, требующие ревизионного хирургического лечения с увеличением протяженности фиксации (Yagi M. et al., 2011; Hostin R. et al., 2013; Smith M.W. et al., 2013; Park S.J. et al., 2017). М. Yagi с соавторами (2014) определяли ППН как симптоматический ППК требующий ревизионного лечения любого вида. При этом структурные изменения могут быть представлены переломами тел позвонков, нестабильностью МК и несостоятельностью заднего связочного комплекса (Hart R. et al., 2013; Hostin R. et al., 2013). Также на сегодняшний день доказано, что пациенты с развитием ППН имеют более выраженную клиническую картину и статистически значимое снижение качества жизни по сравнению с пациентами с ППК (Kim Y.J. et al., 2008; Yagi M. et al., 2012).

Другие термины, используемые для описания ППН, отражают конкретный вид патологии или подчеркивают тяжесть состояния: синдром отсутствия вершины (“topping off syndrome”), проксимальный переходный перелом (“proximal junctional fracture”) и проксимальный переходный острый коллапс (“proximal junctional acute collapse”) (Nguyen N.L. et al., 2016).

Понятие нестабильности металлоконструкции активно обсуждается в мировой литературе с периода начала широкого использования различных имплантов. Тем не менее, до последних публикаций сохраняются противоречия и полярность мнений ряда авторов по данному вопросу. В настоящее время, к описываемому типу осложнений при транспедикулярной фиксации, большинство авторов относят переломы фиксирующих элементов металлоконструкции (МК),

миграцию МК и появление зон остеолита вокруг установленных винтов (Aghayev E. et al., 2014). При этом наибольшее число споров разворачивается относительно резорбции костной ткани вокруг транспедикулярных винтов. Это обусловлено, прежде всего, отсутствием общепризнанного определения данной патологии и единых критериев диагностики. Также, в отличие от остальных типов нестабильности МК, появление зон остеолита зачастую протекает бессимптомно и на начальных этапах не приводит к нарушениям жесткости фиксации. Несмотря на это, некоторые авторы рассматривают остеолит в рамках осложнений оперативного лечения, вне зависимости от степени клинических проявлений, так как в значительной части случаев резорбция костной ткани принимает прогрессирующее течение (McAfee P.C. et al., 1991; Esses S.I. et al., 1993; Soini J. et al., 1993; Ohlin A. et al., 1994; Yuan H.A. et al., 1994; Pihlajamaki H. et al., 1997; Wu J.C. et al., 2011; Nakashima H. et al., 2012).

Таким образом, несмотря на отсутствие единой терминологии, большинство авторов подтверждают высокую значимость изучаемой патологии и необходимость проведения исследований направленных, как на оценку факторов риска, так и на профилактику развития данных осложнений.

## **1.2. Эпидемиология и патогенез развития проксимального переходного кифоза и нестабильности металлоконструкции**

Значимость изучаемых осложнений переоценить достаточно сложно, несмотря на то, что среди экспертов продолжаются споры о том, когда ППК и нестабильность МК можно считать исключительно рентгенологическим диагнозом, а когда эти состояния имеют потенциальные клинические последствия для пациентов (Yagi M. et al., 2011; Kim H.J. et al., 2012; Mohi Eldin M.M. et al., 2014; Nguyen N.L. et al., 2016).

Частота развития ППК после хирургического лечения деформаций позвоночника и выраженной дегенеративной патологии, по мнению различных авторов, находится в пределах от 17% до 61,7% (Glattes R.C. et al., 2005; Kim Y.J.

et al., 2008; Hyun S.J. et al., 2010; Mendoza-Lattes S. et al., 2011; Yagi M. et al., 2011; Kim H.J. et al., 2012; Ha Y. et al., 2013; Lee J.H. et al., 2014).

Некоторые авторы отмечают зависимость частоты развития ППК от продолжительности периода наблюдения, в то время как нестабильность МК, по мнению ряда авторов, наступает с 90% вероятностью в течение первого года после операции (Schlenk R.P. et al., 2003; Kim Y.J. et al., 2008; Hyun S.J. et al., 2010; Yagi M. et al., 2011; Kim H.J. et al., 2012; Lee J.H. et al., 2014; Mohi Eldin M.M. et al., 2014). Так H.J. Kim с соавторами, анализируя трехлетние результаты лечения пациентов с идиопатическим сколиозом выявили развитие ППК в 42 из 249 случаев, что составило 17% (2012). M. Yagic соавторами отметили частоту появления ППК в 20% после среднего периода наблюдения в 4,3 года (2011). S.J. Hyun и S.C. Rhim в своем ретроспективном мультицентровом исследовании с 6-летним периодом наблюдения сообщили о 23% частоте развития ППК у пациентов с сагиттальным дисбалансом, которым выполнялась коррекция сагиттального профиля посредством остеотомии ножек позвонка (PSO, pedicle subtraction osteotomy) (Hyun S.J. et al., 2010). Y.J. Kim с соавторами проанализировав отдаленные результаты лечения 161 взрослого пациента с дегенеративными деформациями позвоночника в среднем через 7,8 лет, сообщили о выявлении 39% ППК в исследуемой когорте (2008). J.H. Lee с соавторами также проведя анализ результатов лечения пациентов с деформациями поясничного отдела на фоне выраженной дегенеративной патологии позвоночника, выявили частоту ППК более 60% после 3,8 лет наблюдения в группе из 47 человек (2014).

Частота развития ППН ниже и описывается в пределах 1,4 - 35% (Hostin R. et al., 2013; Yagi M. et al., 2014; Smith M.W. et al., 2015). M. Yagic соавторами в своем исследовании отдаленных результатов хирургического лечения деформаций позвоночника у взрослых отмечают возникновение ППН в 23 случаях (1,4%) среди 1668 прооперированных пациентов (2014). В то время как Smith с соавторами говорят о 35% частоте развития ППН при анализе результатов лечения 173 пациентов с нарушениями сагиттального профиля в результате выраженной дегенеративной патологии позвоночника (2015).

Изучая патогенетические аспекты ППН, R. Hostin с соавторами получили приблизительно равную частоту развития осложнения за счет переломов тел позвонков и несостоятельности капсульно-связочного комплекса с подвывихом позвонка (47% и 44% соответственно) (2013). Авторы также сообщали, что у 9% пациентов ППН развивалась вследствие травмы с вырыванием винтов проксимального участка фиксации (2013). Данные механизмы развития ППН объясняют тяжесть состояния пациентов и выраженность клинических проявлений данного осложнения.

Кроме того, во многих исследованиях не было получено статистически значимого влияния ППК на клиническую картину (Glattes R.C. et al., 2005; Kim Y.J. et al., 2008; Hyun S.J. et al., 2010; Yagi M. et al., 2011; Kim H.J. et al., 2012). Позднее данное влияние было отмечено К.Н. Bridwell с соавторами на основании результатов опросника SRS-22, только при использовании порогового значения ППУ в 20° для определения ППК (2013). Также H.J. Kim с соавторами в большом ретроспективном исследовании продемонстрировали более высокую частоту болевого синдрома у пациентов с ППК (29,4%) по сравнению с пациентами без него (0,9%) (2013). Кроме того, авторы подчеркивали, что ППК может иметь прогрессивное течение и увеличение абсолютных значений ППУ напрямую коррелирует с болевым синдромом и обратно с функциональной активностью пациента (Kim H.J. et al., 2013).

Анализ современной литературы показывает, что разделение ППК и ППН на две отдельные патологии выглядит крайне упрощенно. Более целесообразной представляется модель концептуализации ППК и ППН как синдромокомплекса, включающего различные клинические состояния патологии проксимального контактного сегмента. Так с увеличением ППУ при ППК у пациентов могут появляться структурные изменения, характеризующие ППН. Это может сопровождаться усилением болей, появлением неврологического дефицита, затруднениями при ходьбе, сагиттальным дисбалансом, снижением трудоспособности и социальной изоляцией. Несмотря на то, что ППК может не сопровождаться клиническими проявлениями, R. Hartz с соавторами определили,



что около половины (47,4%) всех пациентов, у которых остро развилась ППН, нуждались в ревизионном оперативном лечении в течение 6 месяцев после появления ППК (2013).

Частота развития нестабильности МК напрямую связана с образованием (точнее нарушением формирования) полноценного костного блока в зоне оперативного вмешательства, без наличия которого любая форма ригидной фиксации в конечном итоге может стать несостоятельной (Abumi K. et al., 1997; Cunningham B.W. et al., 1997; Parker J.W. et al., 2000). При этом усталостный перелом МК может произойти даже при отсутствии каких-либо клинических и рентгенологических признаков ее нестабильности на фоне замедленного образования костного блока (Abumi K. et al., 1997; Faraj A.A. et al., 1997; Duncan J.D. et al., 1998; Kowalski R.J. et al., 2001). Данный вывод подтверждается рядом авторов, отмечающих, что нестабильность МК в 90% случаев развивается в первые 6 месяцев после операции и в 10% в последующие 6 месяцев (Schlenk R.P. et al., 2003; Mohi Eldin M.M. et al, 2014). При этом нестабильность МК, возникающая более чем через 6 месяцев после операции, развивается зачастую на фоне травмы или чрезмерной физической нагрузки (Lonstein J.E. et al., 1999).

В целом, по данным литературы частота развития нестабильности МК, обусловленная переломами фиксирующих элементов, находится в пределах от 2,6–4,9% до 9–36%, в единичных исследованиях достигая 60% от всех случаев нестабильности (Schnee C.L. et al., 1997; Duncan J.D. et al., 1998; Gaines R.W. Jr., 2000; Chiu Y.C. et al., 2011; Mohi Eldin M.M. et al, 2014). При этом усталостные переломы элементов стабилизирующих конструкций возникают вследствие постоянной переменной нагрузки на металл в условиях наличия несостоятельного костного блока или псевдоартроза (Remi C. et al, 2008; Goldstein C.L. et al., 2014; Mohamed M. Mohi Eldin M.M. et al, 2014).

Нестабильность МК, возникающая вследствие резорбции костной ткани вокруг транспедикулярных винтов, также вызывает некоторые разногласия среди авторов. Некоторые исследователи отмечают, что данный вид нестабильности является наиболее часто описываемым в литературе осложнением

транспедикулярной фиксации, требующим ревизионного вмешательства (Вокон А. et al., 2018). Так частота развития данной патологии при ригидной фиксации описывается в пределах от 0,6% до 27% и, по некоторым данным, доходит до 60% в случае наличия остеопороза (Okuyama K. et al., 2000; Rollinghoff M. et al., 2010; Wu Z.X. et al., 2012; Aghayev E. et al., 2014; Galbusera F. et al., 2015; Kim J.B. et al., 2015).

Механизм развития остеолита вокруг винтов впервые был описан J. Schatzker с соавторами в 1975 г. Согласно мнению авторов, в результате подвижности костного винта происходит формирование вокруг него фиброзной ткани, которая рентгенологически определяется в виде зоны просветления. Современный взгляд на данную проблему отмечает несколько ведущих механизмов развития резорбции костной ткани вокруг установленных транспедикулярных винтов. К данным механизмам относят процессы ремоделирования костной ткани в результате снижения локальной нагрузки на кость с явлениями стресс-шилдинга (stress shielding) и возрастания нагрузки на границе кость – металл при отсутствии адекватной опорной колонны спереди (Sandén B. et al., 2004; Galbusera F. et al., 2015). Некоторые авторы описывают феномен “переключателя”, заключающийся в дегенерации костной ткани вокруг нефиксированной части винта вследствие постоянных движений винта под действием осевой нагрузки (Gaines R.W. et al., 1987; McLain R.F. et al., 1993; Dick J.C. et al., 1997; Barber J.W. et al., 1998). Т. Mizuno с соавторами также отмечают важность циклических переменных и ротационных микродвижений тела позвонка относительно транспедикулярных винтов в развитии остеолита (2016). Кроме того, некоторые авторы подчеркивают значимость заднего опорного комплекса, показывая возрастание ротационного компонента нагрузки и, как следствие, увеличение частоты резорбции костной ткани вокруг винтов в случаях двустороннего удаления дугоотростчатых суставов (Вокон А. et al., 2018).

Также некоторые авторы отмечают остеолит, вызванный непосредственно влиянием самих винтов на костную ткань (Galbusera F. et al., 2015). Данный тип

остеолиза был выявлен при использовании винтов из различных сплавов сопровождающийся также явлениями металлоза.

Кроме того, необходимо отметить, что остеолиз вокруг винтов не является непосредственно нестабильностью МК, однако представляет высокую угрозу развития данного осложнения.

Таким образом, высокая частота развития изучаемых осложнений и их клиническая манифестация в течение первых лет после оперативного лечения подчеркивают значимость данной патологии в хирургии позвоночника и способствуют увеличению интереса со стороны экспертов соответствующих областей.

### **1.3. Диагностические критерии и классификации проксимального переходного кифоза и нестабильности металлоконструкции**

На сегодняшний день не существует единых стандартов, определяющих какие пациенты с ППК нуждаются в ревизионном хирургическом лечении. Тем не менее, экспертами предложены 2 рабочие классификации, позволяющие определять степень тяжести данного осложнения и, на основании этого, оценивать риски прогрессирования кифотической деформации и устанавливать показания к оперативному лечению. Впервые такую классификацию опубликовали О. Voachie-Adjei с соавторами в 2011 г., которую дополнили М. Yagi с соавторами в 2014 г. (табл. 1) (Voachie-Adjei O. et. al., 2011; Yagi M. et al., 2014).

В своем исследовании авторы отметили, что чаще всего встречается патология ППК типа 2N (перелом позвонка без его смещения), а неврологические осложнения возникают при ППК типа 2S (перелом со смещением позвонка) (Yagi M. et. al., 2011). Преимущество данной классификации в том, что на основании небольшого количества исходных данных, представляется возможным описать тип и относительную тяжесть ППК, что позволяет создать объективное

представление о данной патологии и способствует более высокому уровню меж- и внутриэкспертного соглашения (Lau D. et al., 2014).

Таблица 1

Классификация типа и степени тяжести ППК по O. Voachie-Adjei et al. (2011)

Тип	Описание
1	Несостоятельность м/п диска и/или связочного комплекса
2	Несостоятельность кости (перелом)
3	Несостоятельность на границе кость-имплант
Степень	
A	Увеличение ППУ на 10°-19°
B	Увеличение ППУ на 20°-29°
C	Увеличение ППУ на 30° и более
Спондилолистез	
RJF-N	Нет признаков спондилолистеза над зоной фиксации
RJF-S	Спондилолистез над зоной фиксации

ППУ – проксимальный переходный угол

Однако, несмотря на то, что предложенная классификация достаточно проста в использовании, ей не хватает прогностической ценности и критериев для выбора тактики лечения. Данная классификация показывает склонных к симптоматике пациентов, но не представляет информации относительно естественного течения и абсолютной тяжести заболевания. Таким образом, при использовании описываемой классификации возникают естественные трудности при определении показаний к ревизионному лечению (Hyun S.J. et al., 2013).

В 2013 году R. Hart с соавторами совместно с международной исследовательской группой вертебрологов (International Spine Study Group; ISSG) предложили новую классификацию ППК направленную, прежде всего, на выбор тактики лечения (2013). Бальная шкала оценки тяжести ППК в данной классификации складывается из 6 различных компонентов, таких как неврологический дефицит, уровень болевого синдрома, стабильность МК,

изменения кифоза, повреждение заднего связочного комплекса, тип перелома и проксимальный уровень окончания фиксации, которые наиболее важны при анализе изучаемой патологии (табл. 2).

Таблица 2

## Классификация степени тяжести ППКHart - ISSG2013.

Параметр	Признак	Уровень тяжести
Неврологический дефицит	нет	0
	корешковые боли	2
	миелопатия / двигательные нарушения	4
Локальный болевой синдром	нет	0
	ВАШ $\leq 4$	1
	ВАШ $\geq 5$	3
Проблемы инструментальной фиксации	нет	0
	частичная потеря фиксации	1
	выстояние МК	1
	полная потеря фиксации	2
Изменение кифоза / вовлечение ЗСК	0°-10°	0
	10°-20°	1
	>20°	2
	несостоятельность ЗСК	2
Перелом ВИП / ВИП + 1	нет	0
	компрессионный перелом	1
	взрывной перелом	2
	трансляция позвонка	3
Уровень ВИП	грудопоясничный переход	0
	верхнегрудной отдел	1

ВАШ – визуально аналоговая шкала; ЗСК – задний связочный комплекс; ВИП – верхний инструментированный позвонок.

Они предложили классифицировать каждый из предложенных компонентов по баллам, которые впоследствии можно суммировать для определения итогового значения, характеризующего степень тяжести данного состояния. Предложенная

шкала R. Hart – ISSG показала высокую надежность и точность в определении степени тяжести ППК. Экспертами был выявлен статистически значимый уровень корреляции итоговых значений шкалы с качеством жизни пациентов согласно опроснику HRQOL (health-related quality of life) и показаниями к ревизионному лечению. Так итоговая сумма баллов  $\geq 7$ , по R. Hart – ISSG, является показанием к оперативному вмешательству. В настоящее время данный критерий находит подтверждение в масштабном проспективном исследовании (Hyun S.J. et al., 2013).

Диагностические ошибки, приводящие к позднему выявлению ППН или невозможности его отличия от ППК, приводят к неверной тактике лечения и, зачастую, ставят пациента под угрозу развития неврологического дефицита. В своем классическом течении патология, лежащая в основе ППН, является острым структурным событием, наиболее типичным для раннего послеоперационного периода, однако возможны варианты течения в виде прогрессирования деформации в течение нескольких месяцев или лет (Hart R.A. et al., 2008; O’Leary P.T. et al., 2009; Watanabe K. et al., 2010; Hart R.A. et al., 2013; Hostin R. et al., 2013). При этом сложности в диагностике могут возникнуть вследствие того, что пациенты с ППН нередко в качестве активных жалоб предъявляют только болевой синдром (Hart R.A. et al., 2008; O’Leary P.T. et al., 2009; Watanabe K. et al., 2010; Hart R. et al., 2013; Hostin R. et al., 2013). Во время физикального обследования необходимо особое внимание обратить на позу пациента в различных положениях и сравнить ее с таковыми на предыдущих осмотрах. Должны быть оценены кифотическая деформация, реакция на пальпацию в области проксимального конца фиксации, выступание имплантов и состояние кожных покровов над соответствующей зоной. Тщательная оценка неврологического статуса позволяет выявить признаки радикуло- и миелопатии. Объективная оценка ППК возможна в первую очередь на основании рентгенографии позвоночника стоя с использованием длинных кассет или slot-режима, т.н. телерентгенография. С целью детализации патологического

состояния также возможно выполнение компьютерной и магнитно-резонансной томографии (Nguyen N.-L.M. et al., 2017).

Диагностика нестабильной МК в случае ее перелома или миграции как правило не вызывает трудностей и зачастую ограничивается стандартной рентгенографией. Лишь в некоторых случаях используют нестандартные косые проекции или компьютерную томографию. Однако перелом элемента фиксации не всегда сопровождается развитием нестабильности МК, а лишь вызывает угрозу ее возникновения. Вследствие этого от 14% до 22% выявленных при контрольных исследованиях случаев переломов фиксирующих элементов протекают бессимптомно (Chiu Y.C. et al., 2011; Mohi Eldin M.M. et al., 2014).

В отдельную форму нестабильности МК, как правило, относят первичную нестабильность вследствие некорректной установки фиксирующих элементов. По данным мировой литературы некорректная установка транспедикулярных винтов встречается от 0–2% до 25–95% у пациентов с деформациями позвоночника различной степени тяжести и приблизительно в 4–6% случаях у пациентов с дегенеративной патологией (Schnee C.L. et al., 1997; Gomez C.H. et al., 1998; Mohi Eldin M.M. et al., 2014).

Помимо нестабильности МК вследствие некорректной позиции транспедикулярных винтов, исследователи нередко выделяют 3 варианта данной патологии: нестабильность аксиальных компонентов (винтов), нестабильность продольных компонентов (стержней, пластин) и нестабильность в соединении двух компонентов (Mohi Eldin M.M. et al., 2014).

Наибольшие разногласия среди авторов вызывают диагностические критерии нестабильности транспедикулярных винтов вследствие резорбции костной ткани. Несмотря на то, что большинство авторов предлагают рассматривать в качестве признака нестабильности рентгенологический критерий просветления вокруг винта (“halo sign”) диаметром на 1мм шире диаметра импланта, это не всегда отражает действительную картину (Aghayev E. et al., 2014). Объективность данного критерия снижается, так как его оценка зависит от конкретного наблюдателя и качества рентгенограммы. В. Sanden с соавторами

отметили, что чувствительность этого метода составляет всего 64%, хотя, как сообщается, его специфичность составляет 100% (2004). E. Aghayev с соавторами в своем ретроспективном анализе показали, что изменение угла между осью винта и краниальной концевой пластинкой в контрольном исследовании по сравнению с послеоперационными значениями, является более чувствительным методом определения нестабильности МК (2014). Так изменение данного угла на 2° и более доказывало нестабильность винтов с 75% чувствительностью и 89% специфичностью для периода наблюдения в 2 месяца и с 79% чувствительностью и 92% специфичностью в случае продолжительности наблюдения в 1 год (Aghayev E. et al., 2014). Также перспективным методом выявления данной патологии, по мнению F. Galbusera с соавторами, является использование КТ сканирования с низкой дозой облучения (2015).

В 2008 году Y. Tokuhashi с соавторами, изучая клиническое значение рентгенологических зон просветления вокруг винтов, показали, что наличие таких зон не всегда означает наличие нестабильности и псевдоартроза (2008). Однако зоны просветления, сохраняющиеся на протяжении двух лет после операции, являются показателем крайне высокого риска развития ложного сустава. E. Aghayev с соавторами в своем исследовании также отметили, что лишь у 16% пациентов с нестабильностью транспедикулярных винтов были выявлены четкие признаки остеолита (2014).

#### **1.4. Факторы риска развития проксимального переходного кифоза и нестабильности металлоконструкции**

Учитывая тот факт, что распространенность выраженного грудного кифоза в популяции составляет от 20 до 40% и намного чаще встречается у пожилых, некоторые авторы доказывают, что ППК развивается скорее вследствие естественных процессов старения, нежели является осложнением оперативного лечения. Это утверждение поддерживается тем фактом, что многие рентгенологические проявления ППК соответствуют естественным признакам



возрастного развития кифоза. Данные проявления включают в себя остеопению, дегенеративные изменения дугоотростчатых суставов, снижение высоты межпозвонковых дисков, а также деформацию позвонков на фоне компрессионных переломов (Lee G.A. et al., 1999; Glattes R.C. et al., 2005).

Большинство исследователей, изучающих данную патологию, склоняются к тому, что этиология ППК и ППН имеет многофакторную природу с неоспоримым ятрогенным влиянием оперативного вмешательства, наряду с прогрессированием деформации и процессами естественного старения (Михайловский М.В., 2014; Glattes R.C. et al., 2005; Hollenbeck S.M. et al., 2008; Kim Y.J. et al., 2008; Denis F. et al., 2009; Helgeson M.D. et al., 2010; Watanabe K. et al., 2010; Mendoza-Lattes S. et al., 2011; Kim H.J. et al., 2012; Yagi M. et al., 2012; Arlet V. et al., 2013; Yagi M., et al., 2014; Zhang C. et al., 2016; Han S. et al., 2017; Han S., Hyun S.J., et al., 2017). Так, за весь период изучения данной проблемы, не было опубликовано ни одного исследования, в котором бы была определена единственная переменная, статистически значимо повышающая риск развития ППК или ППН (Nguyen N.-L.M. et al., 2017). Однако в мировой литературе описано и статистически подтверждено большое количество факторов риска, ассоциированных с развитием ППК и ППН. Классически такие факторы принято классифицировать на хирургические, рентгенографические и связанные с пациентом (Hyun S.J. et al., 2013). К хирургическим факторам относят повреждение мягких тканей при заднем доступе, комбинированные передние и задние вмешательства, включение в зону фиксации крестца или подвздошных костей, использование систем транспедикулярной фиксации, значительную степень коррекции деформации и торакопластику. Также на развитие данной патологии оказывает влияние жесткость используемых стержней и выбор уровня проксимальной точки фиксации (Glattes R.C. et al., 2005). К рентгенографическим факторам риска большинство авторов относят предоперационный локальный сагиттальный дисбаланс и нарушение позвоночно-тазовых соотношений с нарушением глобального дисбаланса (Lee G.A. et al., 1999; Kim Y.J. et al., 2007; Wang J. et al., 2010; Yagi M. et al., 2012; Hostin R. et al., 2013; Maruo K. et al., 2013; Park S.J. et al.,

2017). Факторы риска, связанные с пациентом, включают в себя возраст, индекс массы тела и дефицит минеральной плотности костной ткани (Kim Y.J. et al., 2008; Bridwell K.H. et al., 2013; Kim H.J. et al., 2014). По другой, также распространенной, классификации факторы риска делят на потенциально модифицируемые и не модифицируемые. К потенциально модифицируемым принято относить значительную величину коррекции деформации, комбинированные передние и задние вмешательства, включение в зону спондилодеза крестца или подвздошных костей и остаточный сагиттальный дисбаланс (Кудяшев А.Л. с соавт., 2017; Lowe T.G. et al., 1994; Kim Y.J. et al., 2007; Lonner B.S. et al., 2007; Yagi M. et al., 2011; Yagi M. et al., 2012; Bridwell K.H. et al., 2013; Maruo K. et al., 2013; Cammarata M. et al., 2014; Kim H.J. et al., 2014; Bjerke-Kroll B. et al., 2015; Smith M.W. et al., 2015). К немодифицируемым факторам, оказывающим статистически значимое влияние на частоту развития ППК и ППН, относят возраст старше 55 лет и выраженный предоперационный сагиттальный дисбаланс (Kim Y.J. et al., 2008; O'Leary P.T. et al., 2009; Bridwell K.H. et al., 2013; Smith M.W. et al., 2015). Другие, менее обоснованные, однако достаточно широко обсуждаемые факторы риска включают в себя дефицит минеральной плотности костной ткани, сопутствующую соматическую патологию и избыточную массу тела (O'Leary P.T. et al., 2009; Yagi M. et al., 2012; Bridwell K.H. et al., 2013; Nguyen N.-L.M. et al., 2017).

#### **1.4.1. Хирургические факторы риска развития проксимального переходного кифоза**

Повреждение заднего комплекса мягких тканей неминуемо происходит как во время хирургического доступа, так и непосредственно при выполнении этапов оперативного вмешательства. Значимость несостоятельности заднего капсульно-связочного аппарата в развитии ППК достаточно широко обсуждается в литературе (Glattes R.C. et al., 2005; Kim Y.J. et al., 2008; Denis F. et al., 2009; Kim H.J. et al., 2012; Yagi M. et al., 2012; Yagi M. et al., 2014; Han S. et al., 2017; Han S.,

Hyun S.J. et al., 2017). Так, авторы указывают на то, что данные интраоперационные повреждения являются необратимыми, а недостаточность межкостистой связки непосредственно над зоной фиксации и повреждение параспинальной мускулатуры может способствовать развитию ППК (Yagi M. et al., 2012, Arlet V. et al., 2013). S.J. Hyun с соавторами недавно сообщили, что даже предоперационная слабость мышечной ткани и ее жировая дегенерация на уровне грудопоясничного перехода может быть причиной развития ППК (2016).

Некоторыми авторами также сообщается о влиянии хирургического вмешательства выполняемого одномоментно из переднего и заднего доступов (Kim H.J. et al., 2012). Так H.J. Kim с соавторами утверждают, что ППК развивается в 3 раза чаще у пациентов после комбинированного передне-заднего вмешательства, чем у пациентов, прооперированных только из заднего доступа (2012).

Включение в зону инструментальной фиксации нижних сегментов поясничного отдела, а также крестца или костей таза приводит, по мнению ряда авторов, к увеличению рисков развития ППК (Wang J. et al., 2010; Mendoza-Lattes S. et al., 2011; Yagi M. et al., 2011; Ohtori S. et al., 2012; Yagi M. et al., 2012). Биомеханически это подтверждается тем, что после ригидной фиксации поясничного отдела туловище по-прежнему пытается контролировать баланс, изменяя величину физиологических изгибов позвоночника. Однако фиксированный отдел препятствует данным движениям, вызывая перегрузку смежных сегментов и, впоследствии, приводя к развитию ППК (Wang J. et al., 2010).

Протяженность инструментальной фиксации в целом также достаточно часто рассматривается в качестве фактора, влияющего на развитие ППК. При этом в литературе присутствуют исследования, демонстрирующие, что как большее, так и меньшее количество фиксированных уровней является фактором риска развития ППК (Yagi M. et al., 2012; Bridwell K.H. et al., 2013).

По мнению ряда авторов, использование систем транспедикулярной фиксации также является одним из факторов риска развития ППК (Михайловский

M.B., 2014; Kim Y.J. et al., 2005; Kim Y.J. et al., 2007; Helgeson M.D. et al., 2010, Wang J. et al., 2010). M.D. Helgeson с соавторами в своем исследовании отметили, что применение МК, состоящих исключительно из транспедикулярных фиксирующих элементов, оказывает статистически значимое влияние на развитие ППК в сравнении с гибридными системами с ламинарными и транспедикулярными опорными точками фиксации (2010). Причиной этому, по мнению некоторых авторов, являлось повышение ригидности позвонка после введения в него транспедикулярных винтов, что вызывало значительную разницу жесткости в переходном сегменте и способствовало нарастанию кифотического компонента (Kim Y.J. et al., 2005; Kim Y.J. et al., 2007). Однако на сегодняшний день большинством авторов было показано, что использование стандартных ламинарных и транспедикулярных элементов, а также ламинарных фиксаторов на основе полимерных лент не оказывает влияние на частоту развития ППК (Kim Y.J. et al., 2005; Kim Y.J. et al., 2007; Helgeson M.D. et al., 2010; Wang J. et al., 2010; Kim H.J. et al., 2012; Cammarata M. et al., 2014).

Значимость жесткости стержней в развитии ППК также неоднократно обсуждалась в мировой литературе. S. Han с соавторами в ретроспективном исследовании выявили, что использование стержней повышенной ригидности (CoCr) приводило к более высокой частоте развития ППК в сравнении со стандартными стержнями из титана (60% и 26,5% соответственно) (2017). В другом исследовании авторы также отметили, что ППК развивался более чем в 2 раза чаще у пациентов с фиксацией стержнями повышенной ригидности по сравнению с менее жесткими системами (46% и 18% соответственно) (Han S. et al., 2017).

Достаточно активное обсуждение в литературе ведется относительно влияния выбора проксимального уровня фиксации на частоту развития ППК (Glattes R.C. et al., 2005, Hyun S.J. et al., 2013). Так окончание инструментальной фиксации на уровне верхнегрудного отдела позвоночника, по мнению большинства авторов, сопровождается более низкой частотой возникновения ППК по сравнению с фиксацией до нижнегрудного отдела (Bridwell K.H. et al.,

2013). При этом ППК в верхнегрудном отделе преимущественно формировался за счет подвывиха позвонка и повреждения связочных структур, в то время как в нижнегрудном отделе данная патология развивалась за счет переломов тел позвонков (Hostin R. et al., 2013; Maruo K. et al., 2013). Однако в мировой литературе также существуют исследования с противоположными результатами, показывающие статистически значимое влияние окончания фиксации на верхнегрудном отделе с увеличением частоты развития ППК (Denis F. et al., 2009; Wang J. et al., 2010). Также рядом авторов отмечается зависимость частоты развития данной патологии от конкретного уровня проксимальной фиксации в нижнегрудном отделе и грудопоясничном переходе (Annis P. et al., 2014; Wang J. et al., 2016). Так, P. Annis с соавторами в своем исследовании выявили, что окончание фиксации на уровне Th 9-10 приводит к достоверно более частому развитию ППК, чем окончание фиксации на уровне Th 11-12 и L1-L3 (2014).

Значительная величина коррекции деформации позвоночника и, прежде всего, его сагиттального профиля описывается в ряде публикаций как фактор, ассоциированный с появлением ППК (Mendoza-Lattes S. et al., 2011; Maruo K. et al., 2013; Kim H.J. et al., 2014). Биомеханика развития ППК в данных условиях заключается в тенденции к компенсации туловищем величины коррекции с нарастанием кифотической деформации проксимальнее уровня фиксации (Wang J. et al., 2010). Значительная коррекция сагиттальной вертикальной оси или поясничного лордоза, по мнению ряда авторов, может приводить к развитию ППК (Maruo K. et al., 2013, Annis P. et al., 2014). К. Мауро с соавторами показали, что коррекция поясничного лордоза более чем на 30° являлась статистически значимым фактором риска развития ППК (2013). J.M. Mac-Thiong с соавторами также подчеркивали значимость не только недостаточного восстановления сагиттального профиля позвоночника, но и его избыточной коррекции (2010). Гиперкоррекция поясничного лордоза может приводить к отрицательному сагиттальному балансу, что сопровождается компенсаторным увеличением грудного кифоза с перегрузкой переходного отдела и повышением рисков переломов позвонков особенно на фоне остеопороза (Mac-Thiong J.M. et al., 2010).

По мнению J. Wang с соавторами, выполнение торакопластики может провоцировать развитие ППК (2010). Авторы отмечали, что данное оперативное вмешательство вызывает повреждение анатомически стабильной структуры «грудина – ребро – позвонок», в связи с этим возрастает нагрузка на позвоночный столб с последующим формированием ППК (Wang J. et al., 2010).

#### **1.4.2. Рентгенологические факторы риска развития проксимального переходного кифоза**

К рентгенологическим факторам, влияющим на возникновение ППК, большинство авторов относят предоперационное нарушение сагиттального баланса и позвоночно-тазовых соотношений (Борзых К.О, Рерих В.В., Самохин А.Г., 2018; Lee G.A. et al., 1999; Glassman, S.D. et al., 2005; Kim Y.J. et al., 2007; Wang J. et al., 2010; Yagi M. et al., 2012; Hostin R. et al., 2013, Maruo K. et al., 2013; Kim J.Y. et al., 2016; Park S.J. et al., 2017). S.J. Park с соавторами в своем исследовании отдаленных результатов оперативного лечения взрослых пациентов с деформациями позвоночника, отмечали важность сагиттального дисбаланса в целом в развитии ППК и ППН (2017). К. Мауро с соавторами, изучая значимость позвоночно-тазовых параметров в развитии данных осложнений, показали, что частота ППК увеличивалась не только у пациентов с предоперационными нарушениями величин грудного кифоза, тазового индекса и поясничного лордоза, но и ППУ (2013).

Последнее время именно значению ППУ непосредственно после оперативного вмешательства, наравне с важностью сагиттального профиля, придается большое значение. Так, по мнению ряда авторов, ППУ более 5° является статистически значимым фактором риска развития ППК и ППН (Lee G.A. et al., 1999; Denis F. et al., 2009; Hart R. et al., 2013) (рис. 1).

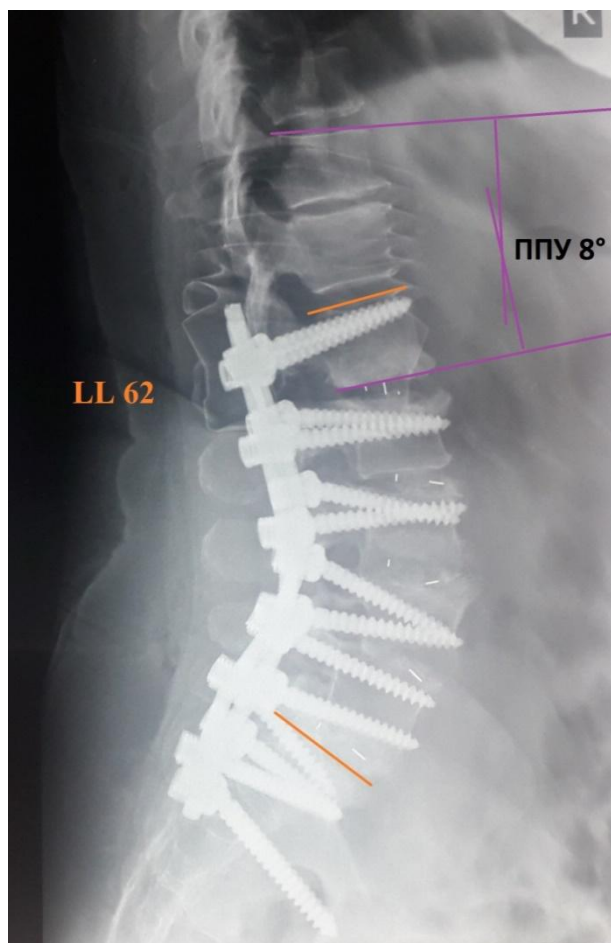


Рисунок 1. Принцип измерения ППУ

S.J. Lewis с соавторами также описывали важность ППУ и величины грудного кифоза в целом в патогенезе развития патологии смежного уровня (2016). Авторы проводили интраоперационную рентгенологическую оценку ППУ и отмечали связь данного параметра с частотой развития ППК. Биомеханическое обоснование данной концепции заключалось в концентрации осевой нагрузки в передних отделах позвонка проксимальной точки фиксации при увеличении ППУ. Таким образом, нагрузка на единицу площади позвонка была выше, чем в случае равномерного ее распределения по всей поверхности замыкательной пластинки (Lewis S.J. et al., 2016).

Многие авторы, изучая значение рентгенологических параметров в развитии ППК, отмечают важность тазового угла (PI, pelvic incidence) и его разницы с поясничным лордозом (LL, lumbar lordosis). Однако изолированно оценить

значимость тазового индекса в возникновении описываемой патологии достаточно сложно. Данный параметр является индивидуальным и практически не меняется в течение жизни. При этом существует прямая корреляция между поясничным лордозом и тазовым углом. В норме величина поясничного лордоза должна быть эквивалентна тазовому углу  $\pm 10^\circ$ . Таким образом высокий тазовый угол обычно свидетельствует о выраженном поясничном лордозе, который, в свою очередь, компенсируется значительным грудным кифозом. В случае уменьшения величины поясничного лордоза из-за прогрессирования дегенеративного заболевания у пациента с высоким показателем тазового угла, грудной кифоз компенсаторно также уменьшается. Однако у пациентов старшей возрастной категории компенсаторные возможности грудного отдела позвоночника ограничены, особенно в условиях наличия передних остеофитов. Повышенная ригидность грудного отдела в этом случае неизбежно приводит к смещению сагиттальной вертикальной оси кпереди с формированием выраженного положительного сагиттального баланса (Бурцев А.В., Рябых С.О. с соавт., 2017; Крутько А.В. с соавт., 2018; Arlet V., Aebi M., 2013; Wang H. et al., 2016).

Кроме того, высокие значения показателя разницы тазового угла и поясничного лордоза оказывают прямое влияние как на развитие дегенеративной патологии поясничного отдела в целом, так и на декомпенсацию патологических изменений в смежном с фиксированном отделе вследствие перегрузки позвоночно-двигательных сегментов. Так, у пациентов с разницей показателя PI-LL более  $10^\circ$  (тип В по D.A. Rothenfluh, 2015) на фоне положительного сагиттального баланса риски раннего развития ППК достоверно выше, чем у пациентов с типом А ( $PI-LL \leq 10^\circ$ ) (рис. 2).



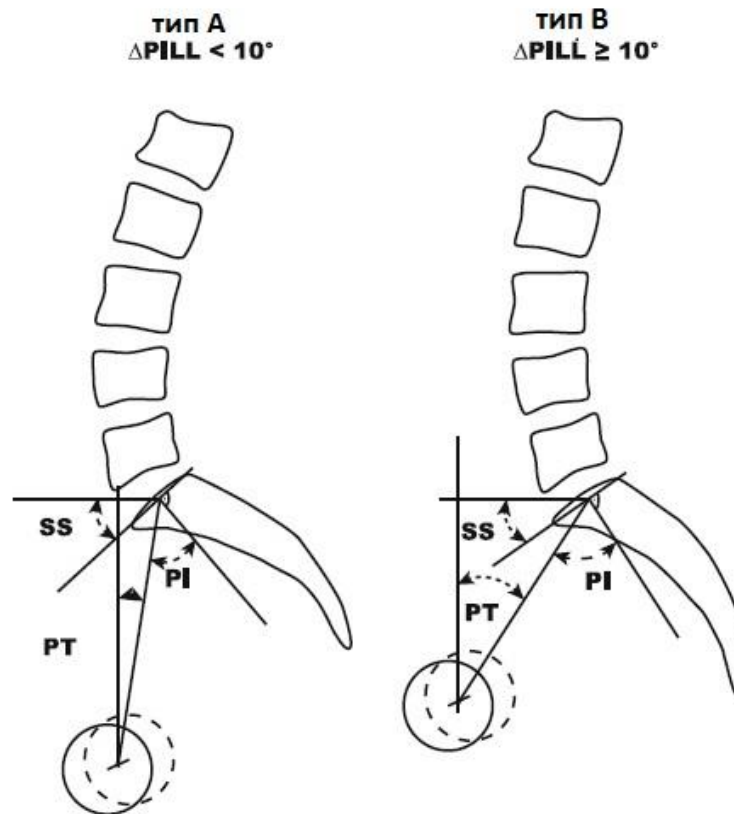


Рисунок 2. Типы позвоночно-тазовых соотношений по D.A. Rothenfluh

### 1.4.3. Пациент-ассоциированные факторы риска развития проксимального переходного кифоза

К факторам риска, связанным с пациентом, традиционно относят возраст старше 55 лет, высокий индекс массы тела и остеопороз (Kim Y.J. et al., 2008; Bridwell K.H. et al., 2013; Kim H.J. et al., 2014). Так Y.J. Kim с соавторами отмечали, что с возрастом естественные процессы дегенерации и атрофии мышечной ткани приводят к нарастанию кифоза в грудном отделе и повышению нагрузки на позвоночный столб в целом, что в условиях протяженной фиксации ведет к перегрузке сегмента краниального расположению МК и увеличению рисков развития ППК (2008).

По данным мировой литературы, влияние дефицита минеральной плотности костной ткани на развитие ППК описывается во многих исследованиях посвященных данной проблеме. При этом степень значимости данного параметра оценивается достаточно высоко, а некоторыми авторами предлагается вовсе

избегать применения инструментальной фиксации при лечении пациентов с сопутствующим остеопорозом (O'Leary P.T. et al., 2009; Yagi M. et al., 2012; Bridwell K.H. et al., 2013). Кроме того, рядом авторов отмечалась значимость остеопении в развитии переломов на уровне проксимального конца фиксации (Watanabe K. et al., 2010; Hostin R. et al., 2013, Kim H.J. et al., 2013). Так, недавно М. Yagi с соавторами сообщили, что снижение минеральной плотности костной ткани ниже -1,5 по Т-критерию является фактором риска развития ППН (2017). Однако в последнее время в масштабных исследованиях с оценкой большого количества факторов риска и подробным изучением глобального баланса позвоночника снижению МПКТ придается меньшее значение (Annis P. et al., 2014).

Вместе с тем, с увеличением продолжительности жизни и технических возможностей хирургического и анестезиологического пособия число людей с сопутствующим остеопорозом, которым показано и возможно хирургическое лечение с имплантацией МК, неуклонно возрастает в общем количестве пациентов. Таким образом, определение значимости и степени влияния дефицита минеральной плотности костной ткани (МПКТ) является приоритетной задачей в исследованиях факторов риска развития изучаемых осложнений.

Индекс массы тела, по мнению некоторых авторов, является потенциальным фактором риска развития ППК. Более того К.Н. Bridwell с соавторами в своем исследовании определили статистическую значимость данного параметра и его связь с увеличением частоты ППК (2013).

#### **1.4.4. Факторы риска развития нестабильности металлоконструкции**

В мировой литературе описывается множество факторов, влияющих на стабильность установленной металлоконструкции. Данные факторы также принято классифицировать на хирургические, рентгенологические и пациент-ассоциированные. Кроме того, отдельно большинство авторов выделяют в качестве основного фактора риска, а в некоторых случаях и в качестве непосредственной причины развития нестабильности МК наличие псевдоартроза

(Abumi K. et al., 1997; Cunningham B.W. et al., 1997; Faraj A.A. et al., 1997). Так многими авторами указывается на то, что угроза нестабильности МК сохраняется до образования полноценного костного блока в зоне ригидной фиксации (Abumi K. et al., 1997; Faraj A.A. et al., 1997; Duncan J.D. et al., 1998; Kowalski R.J. et al., 2001). При этом появление признаков псевдоартроза многократно увеличивает риск развития нестабильности МК (Kowalski R.J. et al., 2001). Однако до конца установить причинно-следственную связь в развитии псевдоартроза и нестабильности МК на сегодняшний день не удается. Так некоторые авторы отмечают, что развитие псевдоартроза происходит вследствие первичной нестабильности МК (Schlenk R.P. et al., 2003; Mohi Eldin M.M. et al., 2014). Кроме того, установление диагноза псевдоартроза зачастую происходит одновременно с выявлением признаков нестабильности МК.

Таким образом, на основании анализа мировой литературы можно сделать вывод, что наличие псевдоартроза, безусловно, повышает риски развития нестабильности МК, прежде всего по типу перелома винтов или продольных стержней. Однако достоверно отнести наличие псевдоартроза к полноценному фактору риска развития нестабильности МК не представляется корректным. Несмотря на это, большинство авторов сходятся во мнении, что сама по себе инструментальная фиксация не может быть постоянной формой стабилизации, а образование костного блока должно являться непосредственной целью оперативного лечения. Только по достижению этих условий вероятность развития нестабильности МК максимально уменьшается (Donovan D.J. et al., 1996; Parker J.W. et al., 2000).

#### **1.4.5. Хирургические факторы риска развития нестабильности металлоконструкции**

Наиболее обсуждаемым хирургическим фактором риска развития нестабильности МК является протяженность инструментальной фиксации. Так, в литературе неоднократно подтверждается более высокая частота развития нестабильности МК при многоуровневой фиксации по сравнению со

стабилизацией одного ПДС (Kothe R. et al., 1997; Lynn G. et al., 1997; Parker J.W. et al., 2000). Данное утверждение обосновано в актуальном исследовании М.Мohamed с соавторами, где ученые выявили значительную разницу в частоте развития всех типов нестабильности МК между группами с различной протяженностью инструментальной фиксации (2014).

Изучая хирургические факторы риска развития данной патологии невозможно обойти вниманием нестабильность МК, возникающую вследствие неверно выбранной тактики лечения или технических ошибок во время операции (Gomez C.H. et al., 1998; Mohi Eldin M.M. et al., 2014). При этом осложнения могут возникнуть не только вследствие непосредственно ятрогенного воздействия, но и в случае выбора спорной тактики лечения, в правильности которой хирург, на момент оперативного лечения, уверен (Mohi Eldin M.M. et al., 2014). Риск развития нестабильности МК повышается в случае замедленного образования костного блока, однако и шансы на полноценное костное сращение уменьшаются при первичной несостоятельности инструментальной фиксации или исходной некорректной позиции элементов МК. На сегодняшний день достаточно большой процент нестабильности МК обусловлен тем, что понятия инструментальной фиксации и спондилодеза тождественны в представлениях многих оперирующих хирургов. С развитием и техническим совершенствованием систем транспедикулярной фиксации, а также с появлением разнообразных остеоиндуктивных материалов достаточно большое количество хирургов пренебрегает созданием условий для образования костного блока и использованием аутотрансплантатов. Однако мировыми экспертами в этой области предлагается оценивать данную тактику хирургического лечения как некорректную, а осложнения, возникающие после подобного оперативного лечения, как ятрогенные (Mohi Eldin M.M. et al., 2014; Galbusera F. et al., 2015).

Некоторыми авторами отмечается зависимость частоты развития нестабильности МК от особенностей позиционирования (траектории) транспедикулярных винтов в позвонке (Млявых С.Г. с соавт., 2017; Шевченко Е.Г. с соавт., 2018). Так, в биомеханических исследованиях была доказана более

жесткая фиксация винтов, с конвергентной траекторией введения в тело позвонка. Сопротивление к вырыванию винта пропорционально не только объему кости между его резьбой, но и углу наклона винта (рис. 3)

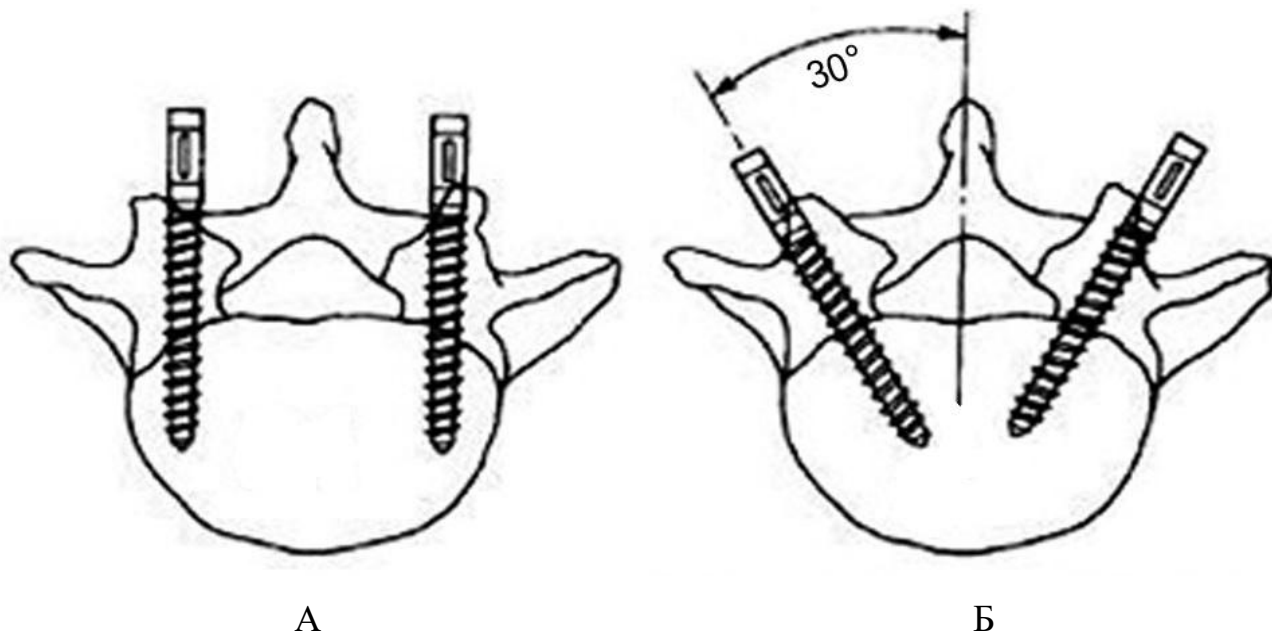


Рисунок 3. Варианты наклонов (траекторий) транспедикулярных винтов в позвонке:

А – параллельная; Б – конвергентная

Также авторами было доказано, что длина винтов, в отличие от конвергенции, не коррелирует с сопротивлением к вырыванию (Mohi Eldin M.M. et al., 2014). Кроме того, на стабильность МК оказывает влияние не только степень конвергенции винтов, но и позиция дистальных винтов относительно сагиттальной вертикальной оси. Так многие исследователи отмечали, что переломы дистальных транспедикулярных винтов возникают намного чаще (Mohi Eldin M.M. et al., 2014). При этом, на фоне повышенной нагрузки на дистальные элементы МК, решающее значение в их разрушении принадлежит динамическому распределению нагрузки в условиях различного положения транспедикулярных винтов. Так частота переломов дистальных винтов коррелировала с углом оси винта и сагиттальной вертикальной оси, а биомеханически наиболее равномерное

распределение нагрузки на винты достигалось при их параллельном положении относительно пола (рис. 4).

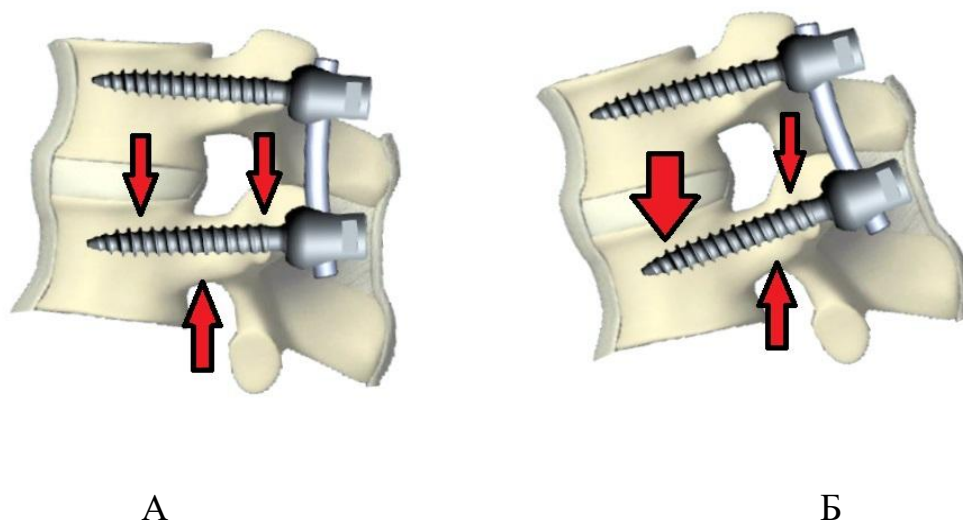


Рисунок 4. Распределение осевой нагрузки в зависимости от угловых соотношений транспедикулярных винтов: А – параллельно «полу»; Б – под углом к «полу»

Кроме того, в мировой литературе многие авторы отмечают значимость положения транспедикулярного винта относительно верхней замыкательной пластинки фиксируемого позвонка в развитии переломов винтов и остеолита вокруг них. Так частота развития нестабильности МК была значительно ниже при установке винта параллельно замыкательной пластинке (Mohi Eldin M.M. et al., 2014).

Включение в зону инструментальной фиксации крестца, также считается одним из основных факторов риска развития нестабильности МК. При этом авторы отмечают многократно возрастающую нагрузку на дистальные отделы МК, что приводит, в значительном количестве случаев, к резорбции костной ткани вокруг каудальных винтов и развитию нестабильности МК (Yu B.S. et al., 2010; Kim, J.Y. et al., 2006; Cho K.J. et al., 2019; Kim J.V. et al., 2015). Учитывая данные осложнения, на сегодняшний день, большинство авторов рекомендуют дополнять фиксацию крестца синтезом подвздошных костей (Berjano P. et al., 2013).

Также в мировой литературе не угасают споры относительно толщины и ригидности используемых стержней, и возможном влиянии этих факторов на частоту переломов данных элементов МК. Так стандартные титановые 5,5 миллиметровые стержни обладают значительной эластичностью, позволяющей использовать их без труда при коррекции деформации или восстановлении поясничного лордоза за счет педикулярной остеотомии позвонка (PSO). В тоже время применение 6 миллиметровых титановых стержней, или стержней повышенной ригидности из CoCr сплава обладающих большей жесткостью и резистентностью к переломам, рекомендуется рядом авторов в качестве альтернативы стандартным МК (Lonstein J.E. et al., 1999; O'Leary P.T. et al., 2009).

Однако более поздние рандомизированные исследования показали, что повышение жесткости фиксации за счет стержней недостаточно для предотвращения перелома МК в случае отсутствия полноценного костного блока. При этом использование данных конструкций оправдано в случаях прогнозируемого замедленного образования костного блока или при невозможности полноценного восстановления глобального баланса позвоночника (Berjano P. et al., 2013).

Кроме того, ряд авторов подчеркивает значение интраоперационного моделирования стержней, в особенности в случаях выраженной коррекции поясничного лордоза. При этом после остеотомии ножек позвонка на уровне L4 зачастую необходимо изгибать стержни под углом в  $90^\circ$  на протяжении короткого четырехсантиметрового отрезка. Короткий радиус изгиба создает компрессионное напряжение на вогнутой стороне стержня и дистракционное напряжение на выпуклой стороне, что может приводить к образованию микротрещин металла. Более того, для достижения требуемого угла изгиба стержней применяются не стандартный инструментарий, а изгибатели рычажного типа, которые оставляют на стержнях небольшие отметки, снижающие их прочность. Комбинация данных факторов на фоне снижения жесткости позвоночного столба на уровне остеотомии возможно повышает риски переломов стержней (Berjano P. et al., 2013).

#### 1.4.6. Рентгенологические факторы риска развития нестабильности Металлоконструкции

На сегодняшний день основными рентгенологическими факторами риска развития нестабильности МК являются нарушения позвоночно-тазовых соотношений (Kim J.V. et al., 2015; Vokov A. et al., 2018). Показатели послеоперационного сагиттального профиля являются, по мнению ряда авторов, ключевым фактором в определении результатов лечения (Василенко И.И. с соавт., 2015; Berjano P. et al., 2013; Schwab F.J. et al., 2013; Maier S.P. et al., 2014; Pumberger M. et al., 2018). Для оценки сагиттального баланса Р. Berjano с соавторами предлагают анализировать два основных рентгенологических параметра, описывающих позвоночно-тазовые соотношения.

Первый параметр — это сагиттальная вертикальная ось (SVA, sagittal vertical axis) определяемая на рентгенограммах в полный рост в боковой проекции как вертикальная линия, опущенная из тела С7 позвонка. Практическое значение имеет расстояние от данной линии до задне-верхнего угла S1 позвонка. У людей с нормальным сагиттальным балансом данное расстояние меньше 4,5 см. Второй ключевой параметр — это угол наклона таза к вертикали (РТ, pelvic tilt), характеризующий ориентацию таза в пространстве (рис. 5).

Ретроверсия таза является основным механизмом компенсации сагиттального дисбаланса, позволяющая смещать сагиттальную вертикальную ось кзади в проекцию крестца. При этом ротация таза кзади соответственно увеличивает показатель РТ. Тем не менее данного механизма зачастую бывает недостаточно для полноценной компенсации прогрессирующего сагиттального дисбаланса, и возрастающая нагрузка на установленную МК приводит к ее нестабильности (Barrey C. et al., 2011; Berjano P. et al., 2013).



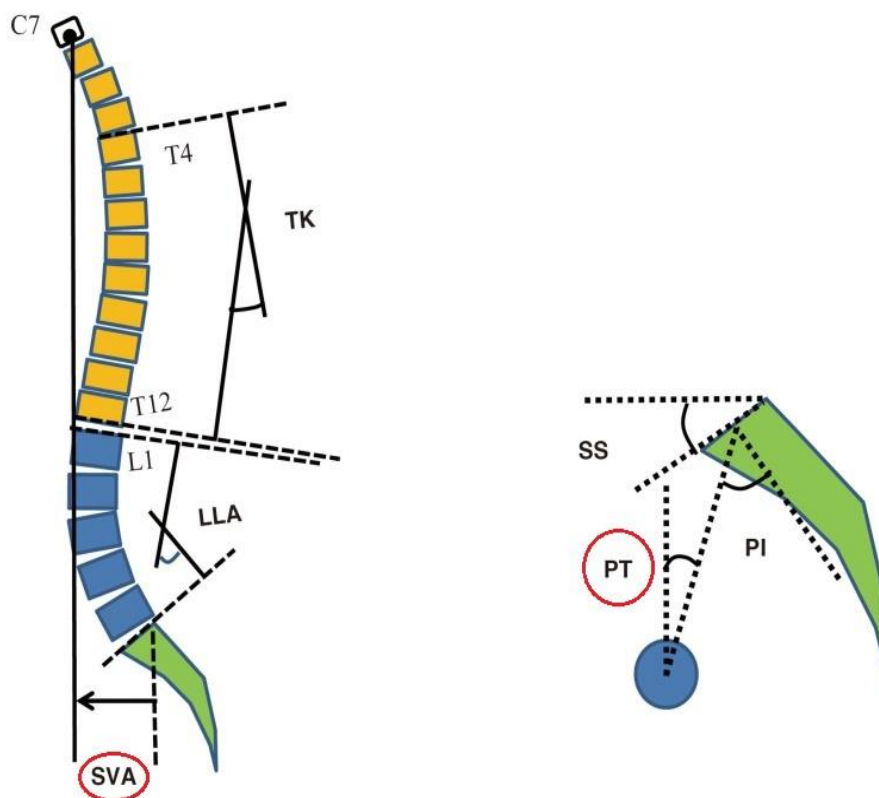


Рисунок 5. Основные параметры сагиттального профиля позвоночника:  
 SVA (sagittal vertical axis) – сагиттальная вертикальная ось позвоночника;  
 PT (pelvic tilt) - угол наклона таза к вертикали; LL (lumbar lordosis) – поясничный лордоз; ТК (thoracic kyphosis) – грудной кифоз; SS (sacral slope) – наклон крестца;  
 PI (pelvic incidence) – «падение» таза

Необходимо отметить, что смещение SVA кпереди на фоне увеличенного PT отражает неспособность компенсировать сагиттальный дисбаланс и вернуть кзади гравитационную линию тяжести. Так SVA является грубым отражением гравитационной линии, проходящей через центр тяжести тела человека и не всегда соответствует ей. У пациентов со смещением гравитационной линии кпереди как следствие возрастает нагрузка на импланты, установленные сзади. При этом перенос массы тела кпереди увеличивает рычаг нагрузки, что в свою очередь повышает циклическое напряжение на изгибы стержней (Verjano P. et al., 2013).

#### **1.4.7. Пациент-ассоциированные факторы риска развития нестабильности металлоконструкции**

К факторам риска развития нестабильности МК, связанным с пациентом, большинство экспертов относят снижение минеральной плотности костной ткани и повышение индекса массы тела (Lynn G. et al., 1997; Yu B.S. et al., 2010, Verjano P. et al., 2013).

По данным мировой литературы влияние дефицита МПКТ на развитие нестабильности МК описывается в большинстве исследований посвященных данной проблеме. При этом степень значимости данного параметра оценивается достаточно высоко, а некоторыми авторами предлагается вовсе избегать применения инструментальной фиксации при лечении пациентов с сопутствующим остеопорозом. Однако в последнее время в масштабных исследованиях с оценкой большого количества факторов риска и подробным изучением глобального баланса позвоночника снижению МПКТ придается меньшее значение (Rollinghoff M. et al., 2010; Galbusera F. et al., 2015; Kim J.B. et al., 2015).

При этом вне зависимости от полярных мнений авторов, нельзя исключать влияния качества костной ткани на плотность установки винтов и силу их вырывания (Рерих В.В., 2006; Ветрилэ С.Т., 2009; Lehman R.A. Jr. et al., 2003). Однако зависимость между снижением МПКТ и частотой развития нестабильности МК представляется сложнее прямой корреляции. Так в некоторых исследованиях отмечается статистически подтвержденная значимость дефицита МПКТ в развитии остеолита вокруг винтов в условиях нарушений глобального баланса позвоночника (Mohi Eldin M.M. et al., 2014).

Избыточная масса тела в целом увеличивает нагрузку на имплантированную МК, повышая риски ее переломов до образования костного блока (Arlet V. et al., 2013). Однако в литературе отсутствует четкое описание корреляции степени избыточной массы тела и частоты переломов транспедикулярных винтов или стержней.

## **1.5. Принципы профилактики проксимального переходного кифоза**

По данным мировой литературы, в профилактике развития ППК и ППН существует множество подходов, основывающихся на патогенетических теориях и факторах риска данных осложнений.

### **1.5.1 Сохранение заднего капсульно-связочного комплекса**

Повреждение мягких тканей вокруг позвонка проксимальной точки фиксации описывается некоторыми авторами как фактор риска формирования ППК (Cammarata M. et al., 2014). Так, сохранение во время оперативного вмешательства таких элементов заднего опорного комплекса как межостистая, надостистая связки, суставные фасетки и капсул смежных вышележащих дугоотростчатых суставов способствует, по мнению ряда авторов, уменьшению частоты развития ППК (Arlet V. et al., 2013; Cammarata M. et al., 2014). Кроме того, предоперационная рентгенологическая разметка, в настоящее время, остается эффективным методом предотвращения чрезмерного повреждения мягких тканей и необоснованного увеличения операционного разреза (Nguyen N.L. et al., 2016).

### **1.5.2 Предотвращение преднагрузки на импланты в проксимальной зоне фиксации**

Установка стержней в проксимальные винты с использованием значительных усилий или при помощи специального инструментария, создающего напряжение на стержнях, вызывает явление преднагрузки стержней и способствует развитию ППК. В связи с этим, большинством авторов рекомендуется точное моделирование стержней согласно позиции транспедикулярных винтов двух проксимальных уровней, т.н. установка “на месте” (in situ) (Nguyen N.L. et al., 2016). Отсутствие преднагрузки стержней доказывает установка блокираторов (гаек) в головки проксимальных винтов без дополнительных усилий.

### 1.5.3 Профилактическая вертебропластика

Введение костного цемента в тела позвонков проксимальнее зоны фиксации с целью предотвращения их возможных переломов активно обсуждается в мировой литературе на протяжении двух последних десятилетий (Шульга А.Е. с соавт., 2009). К.М. Kebaish с соавторами, в своем недавнем экспериментальном биомеханическом исследовании на полноценных патологоанатомических блоках, показали возможную роль профилактической вертебропластики в снижении рисков возникновения переломов данных позвонков у пациентов с остеопорозом (2013). При этом статистическая значимость была доказана только в случаях с вертебропластикой позвонка проксимальной точки фиксации и вышележащего позвонка, в то время как введение костного цемента лишь в верхний инструментированный позвонок не сопровождалось снижением частоты переломов в проксимальном переходном отделе. Ранее в клиническом исследовании R. Hart с соавторами сообщили, что профилактическая вертебропластика позвонка проксимальной точки фиксации и вышележащего позвонка не только снижает риски развития ППН, но и показывает значительную экономическую эффективность в сравнении с ревизионным оперативным лечением (2008). Несмотря на данные исследования, в современной литературе не существует единого хирургического руководства, позволяющего определить количество позвонков, требующих введения костного цемента в целях профилактики развития ППК. М.М. Kayanja с соавторами представили исследование, сравнивающее биомеханику в условиях ригидной фиксации и различного количества позвонков с цементной пластикой (2006). Авторы пришли к выводу, что наиболее важным фактором, определяющим жесткость конструкции, является минеральная плотность костной ткани, а не количество позвонков с костным цементом. При этом вертебропластика должна проводиться при наличии максимального риска, а не рутинно в позвонках проксимальной точки фиксации или вышележащих позвонках (Kayanja M.M. et al., 2006). Кроме того, в литературе имеются свидетельства негативного влияния костного цемента на смежные межпозвонковые диски. Так, вертебропластика уменьшает питание

межпозвонковых дисков и нарушает механику нагрузки, ускоряя в них дегенеративные процессы (Verlaan J.J. et al., 2004; Trout A.T. et al., 2006; Watanabe K. et al., 2010; Fernandez-Baillo N. et al., 2012).

#### **1.5.4. Увеличение минеральной плотности костной ткани**

Анализ мировой литературы показал, что подавляющее большинство работ, посвященных анализу данной патологии, описывают значение дефицита МПКТ в развитии ППК. При этом степень влияния остеопении и остеопороза на возникновение данных осложнений варьируется от достоверно значимой до абсолютно несущественной (Hyun S.J. et al., 2013; Annis P. et al., 2014; Yagi M. et al., 2017). Однако изучение роли дефицита МПКТ проводится практически в каждом исследовании факторов риска ППК. Это объясняется увеличением частоты переломов в целом со снижением плотности костной ткани. Соответственно, следуя данной логике, развитие ППК вследствие остеопороза представляется достаточно обоснованным, однако в современных масштабных исследованиях, определяющих независимое влияние факторов риска, значимость дефицита МПКТ в возникновении описываемых осложнений, снижается. Тем не менее, многие авторы рекомендуют в случаях наличия остеопороза проводить предоперационный курс терапии, направленной на повышение МПКТ. С этой целью, но с противоречивыми данными по эффективности, описано применение препаратов группы бисфосфонатов и терипаратида (Ohtori S. et al., 2012, 2013).

#### **1.5.5. Выбор оптимального уровня и способа фиксации проксимального позвонка**

По данным мировой литературы большинство авторов отмечают высокую значимость выбора точки проксимальной фиксации, однако, несмотря на это, не существует какого-либо уровня устойчивого к развитию патологии смежного сегмента. Вместе с тем, наличие выраженного кифоза в грудном отделе позвоночника вносит серьезные коррективы в предоперационное планирование, являясь широко обсуждаемым фактором риска развития ППК и ППН (Kim Y.J. et

al., 2007; Lonner B.S. et al., 2007; Wang J. et al., 2010; Yagi M. et al., 2011; Yagi M. et al., 2012; Maruo K. et al., 2013; Smith M.W. et al., 2015). Следовательно, при лечении пациентов с гиперкифозом грудного отдела, фиксацию целесообразно продлевать до верхнегрудного отдела для снижения рисков возникновения описываемых осложнений.

Кроме того, некоторые авторы отмечают, что необходимо учитывать, что крайним из наиболее неподвижных, за счет реберного каркаса, позвонков грудного отдела является 10-й грудной позвонок. Следовательно, проксимальная фиксация на уровне Th 9-10 предпочтительнее фиксации на уровне Th11- L1 с учетом рисков развития ППК (Makhni M.C. et al., 2018).

Анализ мировой литературы показывает, что применение гибридных систем, с использованием элементов ламинарной фиксации в проксимальных отделах МК, эффективно в отношении профилактики патологии смежного уровня при лечении идиопатических деформаций у подростков (Kim Y.J. et al., 2005; Kim Y.J. et al., 2007; Helgeson M.D. et al., 2010). В тоже время у авторов нет единого мнения об эффективности применения данной методики у взрослых пациентов. М. Sammarata с соавторами в своем биомеханическом исследовании на шести моделях позвоночника взрослых показали, что использование ламинарных крючков и переходных стержней меньшего проксимального диаметра на уровне позвонка верхней точки фиксации уменьшало негативные эффекты распределения нагрузки в переходном отделе и играло важную роль в патогенезе ППК (2014). К сожалению, однозначного подтверждения данной теории в клинической практике в настоящий момент не существует. В мировой литературе имеются как исследования, поддерживающие описываемую теорию (Hassanzadeh H. et al., 2013), так и работы, не выявившие статистически значимой зависимости между типом фиксации проксимального отдела и частотой развития ППК (Glattes R.C. et al., 2005; Kim H.J. et al., 2012; O'Shaughnessy B.A. et al., 2012; Bridwell K.H. et al., 2013).

### 1.5.6. Достижение оптимальных позвоночно-тазовых соотношений

Наибольшая сложность на этапе предоперационного планирования коррекции деформации заключается в определении точных изменений в отделах позвоночника выше и ниже зоны остеотомии. Так во внимание необходимо принимать не только величину непосредственно остеотомии, но и возможности ротации таза, мобильность грудного отдела и сформированные мышечные паттерны. Таким образом, предсказать величину послеоперационных значений позвоночно-тазовых параметров на этапе предоперационного планирования возможно лишь с определенной погрешностью. На сегодняшний день большинство авторов отмечают важность комплексной оценки показателей позвоночно-тазовых соотношений с учетом всех задействованных компенсаторных механизмов (Makhni M.C. et al., 2018). Так поясничный лордоз, как основной параметр, изменяемый во время коррекции сагиттального профиля, должен рассчитываться не только относительно показателей SVA, ТК и PI, но и с учетом возможной ретроверсии таза (РТ). Это обусловлено тем, что величина имеющейся деформации поясничного отдела может быть недооценена в условиях компенсаторной ротации таза кзади (Makhni M.C. et al., 2018).

Таким образом, первым и важнейшим этапом восстановления оптимального баланса позвоночника является определение величины необходимой коррекции поясничного лордоза (Кудяшев А.Л. с соавт., 2017; Bridwell К.Н., 2006; Barrey С. et al., 2007; Matsumoto Т. et al., 2017). До недавнего времени предпочтительным методом оценки целевых значений поясничного лордоза оставалась корреляция данного параметра с величиной тазового угла (PI) вне зависимости от задействованных компенсаторных механизмов. Согласно данной методике, величина поясничного лордоза определяется исходя из шести классов значений тазового угла (Roussouly Р. et al., 2010), где пациентам с более низким PI необходимо меньшее восстановление LL, а пациентам с высокими значениями PI требуется большая коррекция LL для достижения оптимального баланса. В классе I ( $28^{\circ} < PI < 38^{\circ}$ ), целевое значение LL составляет  $PI + 18^{\circ} (\pm 7^{\circ})$ . В классе II ( $38^{\circ} < PI < 48^{\circ}$ ) целевой LL составляет  $PI + 13^{\circ} (\pm 8^{\circ})$ . В классе III ( $48^{\circ} < PI < 58^{\circ}$ )

целевой LL составляет  $PI + 9^\circ (\pm 8^\circ)$ . В классе IV ( $58^\circ < PI < 68^\circ$ ) целевым LL является  $PI + 6^\circ (\pm 5^\circ)$ . В классе V ( $68^\circ < PI < 78^\circ$ ) целевое значение LL составляет  $PI + 2^\circ (\pm 7^\circ)$ . В классе VI ( $78^\circ < PI < 88^\circ$ ), целевое LL составляет  $PI - 5^\circ (\pm 8^\circ)$  (Barrey C. et al., 2007).

Однако существует, по крайней мере, два описанных обстоятельства, при которых связь между поясничным лордозом и тазовым углом отклоняется от линейного уравнения. Во-первых, это характерно для людей с крайними вариантами значений тазового угла. Так пациенты с крайне высоким показателем PI ( $>70^\circ$ ) требуют меньшую величину LL, чем можно рассчитать по формуле, в то время как пациенты с низкими значениями PI ( $<40^\circ$ ) нуждаются в большем LL. Во-вторых, рекомендуется отклоняться от расчетов по описанному выше уравнению в случае лечения пациентов старшей возрастной категории.

F. Schwab с соавторами в 2009 году также продемонстрировали значимость восстановления позвоночно-тазовых соотношений в лечении деформаций у взрослых, и вывели целевые значения показателя разницы тазового угла и поясничного лордоза (PI-LL) (2009). На основании их исследования величина поясничного лордоза (LL) должна отличаться от показателя тазового угла (PI) не более чем на  $9^\circ$  ( $PI = LL \pm 9^\circ$ ) (Schwab F. et al., 2009). С того времени восстановление позвоночно-тазовых соотношений стало основным принципом в хирургии деформаций у взрослых.

В тоже время Y. Kim с соавторами оценили позвоночно-тазовые параметры здоровых добровольцев и пришли к выводу, что сумма таких основных показателей сагиттального профиля как грудной кифоз (ТК), поясничный лордоз (LL) и тазовый угол (PI) в среднем составляет  $22^\circ$  (Kim Y., 2009). Кроме того, авторы разработали формулу оптимального сагиттального профиля позвоночника, согласно которой сумма показателей ТК, LL и PI не должна превышать  $45^\circ$  (Rose P.S., Bridwell K.H., 2009). Авторы описали успешность данной формулы с 91% чувствительностью в сохранении оптимального сагиттального профиля в течение 2-х лет после операции (Kim Y., 2009). В дальнейшем Y. Kim с соавторами



усовершенствовали формулу, обозначив нижнюю границу суммы данных параметров в  $20^\circ$  (Kim Y.J. et al., 2016).

Кроме того, M.C. Makhni с соавторами, подчеркивают, что оптимальный сагиттальный баланс определяется не только соответствием основных позвоночно-тазовых параметров формуле, описанной Y. Kim с соавторами, но и отсутствием смещения SVA кпереди более чем на 3 см при незадействованных компенсаторных механизмах (2018). Однако авторами также описывается допустимое восстановление сагиттального профиля до субоптимальных значений, при которых SVA смещена от 3 до 8 см, а сумма значений PI, LL и ТК соответствует заданному интервалу от  $20^\circ$  до  $45^\circ$  (Makhni M.C. et al., 2018).

Недавно международная исследовательская группа хирургов вертебрологов показала, что те позвоночно-тазовые параметры, которые имеют непосредственную связь с качеством жизни пациентов (PT, PI-LL, SVA) согласно оценке HRQOL (Health Related Quality of Life), изначально существенно выше у пожилых, чем у молодых пациентов (Lafage R. et al., 2016). Авторы при этом отмечают негативные последствия полноценного восстановления позвоночно-тазовых соотношений у пожилых пациентов, связанные с увеличением частоты осложнений в послеоперационном периоде. Таким образом, корректировка целевых значений позвоночно-тазовых параметров с учетом возраста пациентов, а также избегание строгого соблюдения соотношения разницы тазового угла и поясничного лордоза в крайних анатомических вариантах могут снизить риск чрезмерной коррекции и последующего развития ППК (Lafage R. et al., 2016; Nguyen N.L. et al., 2016).

### **1.5.7 Профилактическая фиксация ребер**

Относительно недавно R.A. Hart с соавторами представили концепцию дополнительной фиксации ребер на один ПДС выше уровня окончания спондилосинтеза (Hart R.A. et al., 2013, Kawaguchi S., Hart R., 2015). На начальных этапах развития данной техники авторы применяли фиксаторы системы VERTR (Vertical Expandable Prosthetic Titanium Rib), которые устанавливались из

дополнительных разрезов на ребра краниальнее позвонка проксимальной точки фиксации. Данные фиксаторы соединялись с основными стержнями посредством коннекторов. Позднее авторы рекомендовали применять для этих целей субламинарные ленты с фиксаторами, получающие в настоящее время все более широкое распространение. Кроме того, предварительный анализ результатов данной техники показывает эффективность в отношении профилактики развития ППК (Mohamed A. et al., 2015).

### **1.5.8 Фиксация остистых отростков**

Поскольку несостоятельность заднего связочного комплекса играет немаловажную роль в патогенезе ППК, технические методики, направленные на усиление связок заднего комплекса, могут быть эффективны в профилактике патологии смежного сегмента. N.L. Nguyen с соавторами разработали методику фиксации остистых отростков позвонка проксимальной точки фиксации и вышележащего позвонка специальной мерсиленовой лентой, позволяющую воссоздавать задний функциональный связочный комплекс (2016). Недавно авторы начали применять технику, разработанную С. Ames, с использованием двух лент ламинарной фиксации, проходящих в противоположных направлениях через отверстия в основаниях остистых отростков позвонка проксимальной точки фиксации и двух смежных с ним позвонков. После достижения эффективного натяжения, ленты окончательно фиксируются специальными зажимами к стержням. Данная методика, благодаря натяжению используемых лент, препятствует перерастяжению заднего связочного комплекса и кифотизации сегмента.

### **1.6 Принципы профилактики нестабильности МК**

Поданным мировой литературы, эксперты сходятся во мнении, что стабильность МК напрямую связана с состоятельностью костного блока на уровне фиксации. Более того многие авторы утверждают, что нестабильность МК

развивается исключительно в течение первого года после операции (Abumi K. et al., 1997; Faraj A.A. et al., 1997; Duncan J.D. et al., 1998; Kowalski R.J. et al., 2001).

### **1.6.1 Воссоздание передней опорной колонны**

В случаях ригидной транспедикулярной фиксации в поясничном отделе позвоночника, обеспечение опороспособности передней колонны является ключевым фактором стабильности МК и образования костного блока. Данное утверждение общепризнано мировыми экспертами и, на сегодняшний день, основная дискуссия разворачивается относительно методик, направленных на ускорение образования костного блока и предотвращение развития псевдоартроза. Так ряд авторов отмечает преимущество использования аутокости для межтелового спондилодеза, в том числе аутотрансплантатов из гребня подвздошной кости, перед аллотрансплантатами и биокомпозитными материалами (Suk S.I. et al., 1997; Mohi Eldin M.M. et al., 2014). Кроме того, большинство авторов предлагают дополнять передний межтеловой спондилодез задней аутокостной пластикой (Mohi Eldin M.M. et al., 2014; Ondra S.L. et al., 2003; Schlenk R.P. et al., 2003).

Использование костных морфогенетических белков (BMPs, bone morphogenetic proteins) для ускорения процессов остеогенеза и формирования костного блока в настоящее время не входит в широкую практику ввиду противоречивых отдаленных результатов и значительного повышения стоимости лечения (Carragee E.J. et al., 2011; Fu R. et al., 2013). Однако исследование в данном направлении признано мировыми экспертами достаточно перспективным, что способствует постоянному обсуждению в мировой литературе (Joshua W. Hustedt et al., 2014; Kang D. G. et al., 2017).

### **1.6.2 Увеличение минеральной плотности костной ткани**

В связи с отсутствием в мировой литературе достоверного подтверждения влияния остеопороза на развитие нестабильности МК, в клинической практике нет четких рекомендаций по коррекции предоперационного уровня МПКТ.

Однако рядом авторов отмечается влияние остеопороза на сроки образования костного блока при межтеловом спондилодезе. При этом в случае замедленного сращения, увеличивается время постоянной переменной нагрузки на МК, что может привести к усталостному перелому последней. Авторы также отмечают, что в этих случаях применение стержней повышенной ригидности неоправданно, так как ведет к возрастанию рисков развития ППК (Han S. et al., 2017; Han S., Hyun S.J. et al., 2017). Таким образом, в единичных исследованиях, оценивающих влияние остеопороза на стабильность МК, имеются рекомендации о применении препаратов группы ингибиторов резорбции костной ткани и терипаратида в рамках предоперационной подготовки (Ohtori S. et al., 2012; 2013).

### **1.6.3 Установка транспедикулярных винтов на цемент**

В 2010 году V. Bullmann с соавторами в своем биомеханическом исследовании показали линейную зависимость между МПКТ и силой необходимой для вырывания транспедикулярных винтов (2010). Авторы в ходе эксперимента подтвердили увеличение силы вырывания для канюлированных перфорированных винтов после введения через них костного цемента. Позднее С. Fölsch с соавторами, проведя также биомеханическое исследование, показали объем цемента, необходимый для статистически значимого увеличения силы вырывания винтов (2012). Авторы отметили, что введение менее 0,5 мл костного цемента на основе полиметилметакрилата (ПММА) не оказывает значимого влияния на силу вырывания винтов, в то время как введение более 2 мл цемента повышает данное усилие. При этом авторы выявили линейную зависимость между объемом вводимого цемента и силой необходимой для вырывания винта и рекомендовали вводить, по возможности, до 4 мл костного цемента на каждый винт (Fölsch C. et al., 2012). Афаунов А.А. с соавторами указал на существенное увеличение показателей жесткости фиксации при использовании перфорированных цементных винтов, а также на повышение их противодействия дистракционным нагрузкам, которые в 2,1-2,38 раза превышают стандартные бесцементные в случае введения 3-5 мл ПММА на каждый винт (2013).

В сравнении различных костных цементов наибольшая прочность фиксации винтов была показана для материала на основе ПММА вне зависимости от способа вертебропластики или дизайна винтов (Renner S.M. et al., 2004; Becker S. et al., 2008). Несмотря на периодически появляющиеся в литературе статьи о неблагоприятном влиянии цемента на основе ПММА на окружающую костную ткань вследствие выраженной экзотермической реакции при его полимеризации, достоверных данных о таком воздействии на сегодняшний день не представлено (Togawa D., 2005; Lavelle W.F., 2007).

### **1.7 Принципы лечения пациентов с проксимальным переходным кифозом и проксимальной переходной несостоятельностью**

Анализ мировой литературы показал, что на сегодняшний день не существует единых общепринятых рекомендаций по лечению ППК и ППН. При выявлении патологических изменений на уровне переходного отдела необходимо провести клинико-неврологическую оценку пациента и по возможности определить причины возникновения данного осложнения. Достаточно часто ППК не требуют никакого лечения и, в случае отсутствия симптоматики, нуждаются лишь в динамическом наблюдении (Arlet V. et al., 2013). Ревизионное хирургическое лечение необходимо в случаях выраженной клинико-неврологической симптоматики или прогрессирования кифотической деформации. Данное хирургическое лечение, как правило, включает в себя продление металлофиксации с коррекцией сагиттального профиля позвоночника и, в большинстве случаев, локальную декомпрессию на вершине патологического кифоза. Однако некоторые авторы считают, что повторное хирургическое вмешательство оправдано при наличии повреждений задней опорной колонны даже в условиях полного отсутствия клинических проявлений (Kim Y.J. et al., 2008; Yagi M. et al., 2012). Оперативное лечение в данном случае позволит предотвратить прогрессирование кифотической деформации и избежать возможных неврологических расстройств.

R. Hart с соавторами попытались сформулировать основные принципы в определении необходимости ревизионного вмешательства (2013). На основании анализа 57 случаев ППН авторы сообщили, что факторами, повлиявшими в большей степени на необходимость ревизионного хирургического лечения, являлись высокие значения ППУ, значительное смещение сагиттальной вертикальной оси кпереди, травма и женский пол. Однако отмеченные авторами критерии не всегда позволяют определить показания к ревизионному лечению без учета таких общепризнанных факторов, как возраст пациента, уровень фиксации и локализация патологического кифоза (Lee J. et al., 2016).

M.W. Smith с соавторами также приводили анализ критериев, помогающих в принятии решения о необходимости ревизионного лечения (2015). Авторы предложили считать такими критериями нестабильность МК, выраженный болевой синдром, неврологический дефицит и признаки миелопатии. Кроме того, авторы сообщили, что частота ревизионного лечения в их исследовании коррелировала с уровнем проксимальной точки фиксации и была значительно выше в случаях окончания фиксации в области поясничного или нижнегрудного отделов (Smith M.W. et al., 2015). В таких случаях продление МК проксимально может потребоваться до верхнегрудного или шейного отделов позвоночника (McClendon J. Jr et al., 2012). Также в зависимости от степени нарушения глобального баланса позвоночника могут потребоваться различные типы остеотомий (SPO, PSO, VCR). Большинство ревизий при ППК и ППН необходимо выполнять посредством заднего доступа, однако в некоторых случаях, для восстановления опороспособности передней колонны, может понадобиться комбинированный доступ. Величина требуемой коррекции сагиттального профиля должна быть определена на этапе предоперационного планирования на основании рентгенограмм пациента в полный рост с использованием соответствующих шаблонов или специального программного обеспечения. Недостаточная коррекция сагиттального профиля во время ревизионной операции, также, как и чрезмерная может способствовать дальнейшему развитию патологии переходного отдела или нестабильности МК (Arlet V. et al., 2013).

Таким образом, одна из основных концепций ревизионного лечения заключается в том, чтобы не повторить ошибки первичной операции, если таковые были выявлены. М. Yagi с соавторами недавно сообщили о 48% частоте повторных ППК и ППН после ревизионного лечения (2014). При этом в 82% случаев потребовалось проведение повторной операции, что еще раз подчеркивает важность разработки профилактических мер развития данных осложнений.

Кроме того, ряд авторов рекомендует во время ревизионного лечения добиваться плавного перехода от фиксированной зоны к свободным ПДС, используя для этого ламинарные фиксаторы или проводя профилактическую вертебропластику (Lafage V. et al., 2012; Arlet V. et al., 2013).

### **1.8 Принципы лечения пациентов с нестабильностью металлоконструкции**

Лечение пациентов с нестабильностью МК характеризуется единством мнений экспертов и не сопровождается значимыми противоречиями в мировой литературе. Показания к ревизионному лечению на фоне рентгенологических признаков нестабильности МК определяются наличием клинико-неврологической симптоматики, а также подтвержденным отсутствием костного блока (Mohamed M. Mohi Eldin et al., 2014; Galbusera F. et al., 2015; Vokov A. et al., 2018). Для принятия решения о необходимости ревизионного оперативного вмешательства важно разделять нестабильность МК и нарушение ее целостности в условиях состоявшегося сращения. Кроме того, необходим отдельный подход к пациентам с отсутствием клинических проявлений на фоне имеющихся рентгенологических признаков нестабильности (остеолиз, миграция МК) (Aghayev E. et al., 2014).

### **1.9 Резюме**

Проведенный анализ профильной научной литературы позволил сделать вывод о том, что, несмотря на крайне высокую частоту развития описываемых осложнений хирургического лечения дегенеративного сколиоза у взрослых, на сегодняшний день знания о патологии проксимального переходного сегмента и

нестабильности металлоконструкции остаются в значительной степени неполными. В тоже время, в последние годы наметилась тенденция к увеличению хирургической активности в лечении выраженной дегенеративной патологии у взрослых, в том числе с использованием протяженной инструментальной фиксации. Во многом это обусловлено увеличением продолжительности жизни и возрастанием уровня анестезиологического и хирургического обеспечения. При этом увеличение хирургической активности неминуемо приводит к росту абсолютного числа осложнений отдаленного послеоперационного периода. Кроме того, развитие такой патологии как НМК или ППК резко снижает качество жизни пациентов и в подавляющем большинстве случаев требует ревизионного оперативного лечения.

Изучение причин развития данной патологии на сегодняшний день привело к накоплению огромного несистематизированного объема информации нередко с противоречивыми и взаимоисключающими выводами. При этом биомеханические исследования *in vitro* имеют ряд характерных для них ограничений, в то время как масштабные клинические исследования с продолжительным отдаленным периодом наблюдения и однородным материалом встречаются довольно редко.

Такое положение привело к отдалению теоретических разработок от практики. Появление новых параметров, формул, описывающих баланс позвоночного столба, в конечном итоге заставил многих авторов усомниться в возможности и целесообразности их практического использования. Поэтому все чаще стали появляться мнения о «занаученности» понятия баланса туловища на фоне лимитированных возможностей их интраоперационной коррекции и особенно рентгенологической оценки, достигнутых результатов.

Проведенный анализ профильных научных публикаций показал, что причины и механизмы развития ППК и НМК после хирургического лечения дегенеративных сколиозов изучены недостаточно, а значимость многих факторов риска развития данной патологии требует специального изучения.

При этом существующие на сегодняшний день диагностические программы не позволяют определить факторы риска развития данной патологии, что



определяет необходимость совершенствования диагностики у профильных пациентов. Следует также отметить, что планирование и проведение хирургического вмешательства не всегда учитывает возможные меры профилактики развития ППК и НМК и требует разработки алгоритма выбора оптимального метода оперативного лечения у взрослых пациентов с дегенеративными сколиозами. Перечисленные выше нерешенные вопросы определили направленность нашего диссертационного исследования, его цель и задачи.

## ГЛАВА 2

### МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

#### 2.1. Структура и общая характеристика диссертационного исследования

Диссертационное исследование построено на анализе отдаленных результатов оперативного лечения пациентов с дегенеративным сколиозом поясничного отдела позвоночника. При этом определяющим было выявление клинико-рентгенологических проявлений ППК и НМК, а также проведение анализа, направленного на определение наиболее значимых факторов риска развития данной патологии. Все изучаемые явления и сравниваемые характеристики были определены общей целью и единой направленностью в решении поставленных задач.

Работа состоит из трех последовательных этапов, включающих в себя ретроспективную, экспериментальную и проспективную части.

**1. Ретроспективное клиническое исследование** включало наблюдение за 382 пациентами с дегенеративным сколиозом поясничного отдела позвоночника, проходившими хирургическое лечение в клинике РНИИТО им. Р.Р. Вредена и ГБУЗ «НИИ – Краевая клиническая больница №1 им. С.В. Очаповского» Министерства здравоохранения Краснодарского края с 2009 по 2015 год.

Ретроспективная часть исследования состояла из двух основных этапов. На первом этапе, в рамках решения первой задачи диссертационной работы, нами был проведен анализ особенностей и причин развития у профильных пациентов двух наиболее частых осложнений операций инструментальной фиксации позвоночно-двигательных сегментов: ППК и НМК. После этого клинические группы пациентов с клинико-рентгенологическими проявлениями ППК или НМК и без таковых были оценены на предмет значимости этих факторов в снижении качества жизни пациентов в отдаленном (более 3 лет) послеоперационном периоде.

На втором этапе нашего исследования для решения второй задачи в результате анализа материалов ретроспективной клинической группы была оценена и уточнена клиническая эффективность различных методов лучевой диагностики (телерентгенографии с подробным изучением параметров сагиттального баланса, PJA и т.д., функциональных рентгенограмм для определения мобильности сегментов позвоночника и прочее) применительно к возможностям выявления значимых факторов риска развития ППК и НМК у пациентов. Благодаря этому, на втором этапе работы нам удалось усовершенствовать диагностическую программу предоперационного обследования пациентов изучаемого нами профиля.

*Методы исследования и критерии оценки ретроспективной части.* Во всех случаях нами был проведен комплексный анализ результатов клинического и рентгенологического обследования, а также количественная оценка уровня болевого синдрома, качества жизни и функционального состояния пациентов. Для этого были использованы шкалы VAS, ODI и Nurick.

Диагностика развития ППК и НМК проводилась на основании клинической картины, физикального обследования, неврологического статуса, данных рентгенографии и КТ. Кроме того, были целенаправленно определены основные механизмы развития изучаемой патологии и сроки ее возникновения.

Для выявления факторов риска развития проксимального переходного кифоза и нестабильности МК, а также определения их значимости нами был проведен статистический многофакторный анализ. В данный анализ были включены факторы риска, наиболее часто упоминаемые в литературе. В их число вошли факторы, связанные с пациентом (возраст, пол, наличие остеопороза, индекс массы тела, курение), хирургические факторы (тип остеотомии, величина коррекции поясничного лордоза, включение в зону фиксации крестца) и рентгенологические параметры (PI, TK, LL, SVA, PI-LL, PJA).

Выявление факторов риска и определение их значимости было проведено нами в описанных выше группах статистическими методами регрессии Кокса и ROC анализа.

**2. Экспериментальная часть исследования** была посвящена решению третьей задачи. На данном этапе на 15 специальных нефиксированных анатомических блоках, состоящих из полноценных препаратов 7 позвонков (Th<sub>10</sub> - L<sub>4</sub>) с сохраненными межпозвонковыми дисками и капсульно-связочным аппаратом, нами были воссозданы условия повышенного риска развития ППК и НМК на основании выводов, полученных в ретроспективной части исследования. Затем, посредством специальных нагрузочных проб, мы оценили возможности ламинарной фиксации системой «Universal Clamp» и цементной вертебропластики тел позвонков для профилактики указанных осложнений.

Полученные нами результаты в ходе экспериментальной части работы послужили основой для последующего успешного использования указанных операций в ходе третьей – проспективной клинической части нашего диссертационного исследования.

**3. Проспективная часть исследования** представляла из себя четвертый этап нашей работы и была посвящена решению четвертой задачи. В ходе проспективного клинического исследования нами были оценены результаты лечения 140 пациентов с дегенеративным сколиозом поясничного отдела позвоночника и сопутствующим остеопорозом.

Все пациенты были разделены на 4 клинические группы в зависимости от методов хирургического лечения с (без) учетом выявленных факторов риска развития ППК и НМК:

- 1-я группа: включала 36 пациентов, которым выполняли коррекцию поясничного лордоза не более 30°;

- 2-я группа: состояла из 24 пациентов, которым проводили коррекцию поясничного лордоза не более 30° и дополнительно устанавливали ламинарные фиксаторы;

- 3-я группа: включала 20 профильных больных с полным восстановлением сагиттального и фронтального баланса позвоночника вне зависимости от выявленных факторов риска, которым дополнительно выполняли профилактическую цементную вертебропластику;

- 4-я группа: состояла из 60 пациентов с полным восстановлением сагиттального и фронтального баланса позвоночника вне зависимости от выявленных факторов риска.

Данные группы пациентов были проанализированы по основным клинико-рентгенологическим параметрам до операции, а также через 3, 6, 12, и 24 месяца. Сравнительный анализ результатов лечения пациентов описанных групп был выполнен с использованием непараметрических статистических методов.

Так же, в рамках третьей части нашего диссертационного исследования, на заключительном – пятом этапе мы решали пятую задачу. На данном этапе были обобщены все материалы клинических и экспериментальных исследований, проведенных нами ранее, а также проанализированы профильные научные публикации. В результате проведенной работы была обоснована и клинически апробирована система профилактики проксимального переходного кифоза и нестабильности металлоконструкции при хирургическом лечении пациентов с дегенеративными сколиозами поясничного отдела позвоночника, что и являлось целью нашего диссертационного исследования. Был сформирован и внедрен в клиническую практику алгоритм выбора тактики хирургического лечения пациентов данного профиля, направленный на предотвращение проксимального переходного кифоза и нестабильности металлоконструкций с учетом определенных нами значимых факторов риска развития указанных осложнений.

## **2.2. Общая характеристика пациентов**

Работа основана на анализе результатов хирургического лечения 522 взрослых пациентов с деформациями поясничного отдела позвоночника после инструментальной фиксации в период с 2009 по 2015 г.

При этом 382 пациента вошли ретроспективную группу исследования, а 140 пациентов составили проспективную группу.

Средний возраст пациентов ретроспективной когорты составил  $57,2 \pm 4,8$  лет (от 48 до 70). Среди исследуемых преобладали женщины – 288 (75,4%),

мужчин было – 94 (24,6%). Возрастное и гендерное распределение представлено в таблице 3.

Таблица 3

## Распределение пациентов по возрасту и полу

Пол	Возраст, лет			Итого	
	48-50	51-60	61-70	абс. ч.	%
Женщины	7	118	163	288	75,4%
Мужчины	1	38	55	94	24,6%
Всего	8	156	218	382	100

У всех пациентов, включенных в данное исследование, выявлена деформация поясничного отдела позвоночника I и IIIb типа по классификации M. Aebi (2005) (табл. 4).

Таблица 4

## Этиологическая классификация сколиозов у взрослых по M. Aebi (2005)

Тип деформации	Критерии деформации
I	Первичный дегенеративный сколиоз, вызванный асимметричными дегенеративными изменениями в дугоотростчатых суставах и межпозвонковых дисках
II	Идиопатический сколиоз, прогрессирующий с возрастом
III	Вторичный сколиоз взрослых
IIIa	Вторичная деформация, вызванная различными позвоночными аномалиями или перекосом таза
IIIb	Вторичный сколиоз, возникший вследствие болезни обмена веществ (в основном остеопороза) в сочетании с асимметричным заболеванием суставов и / или переломами позвонков

Деформация позвоночника во фронтальной плоскости у пациентов данной когорты соответствовала L или N типу по классификации SRS – Schwab (табл. 5).

Классификация типов деформаций SRS – F.Schwab (2012)

Типы дуг	Сагиттальные модификаторы
Т: только грудная дуга с поясничной дугой $<30^\circ$	Разница между PI и LL 0: в пределах $10^\circ$ +: умеренная $10-20^\circ$ ++: выраженная $>20^\circ$
L: грудопоясничная / только поясничная дуга с грудной дугой $<30^\circ$	
D: двойная дуга с Т и L дугой $>30^\circ$	Глобальное смещение 0: SVA $< 4\text{см}$ +: SVA $4-9,5\text{см}$ ++: SVA $>9,5\text{см}$
N: без деформации все дуги $<30^\circ$	Наклон таза (PT) 0: PT $<20^\circ$ +: PT $20-30^\circ$ ++: PT $>30^\circ$

Таким образом, в первичную клиническую группу (когорту) вошли пациенты с деформациями поясничного и грудопоясничного отделов позвоночника, сформированными во взрослом возрасте и возникшими вследствие прогрессирования дегенеративной патологии или ассиметричных переломов позвонков на фоне остеопороза. Распределение пациентов по преимущественному этиологическому типу деформации представлено в таблице 6.

Таблица 6

Распределение пациентов по этиологическому типу деформации по M. Aebi (2005)

Тип деформации	Мужчины	Женщины	Итого	
			абс. ч.	%
I	63 (16,5%)	204 (53,4%)	267	69,9%
Шб	31 (8,1%)	84 (22%)	115	30,1%
Всего	94 (24,6%)	288 (75,4%)	382	100

Следует отметить, что показания к инструментальной фиксации были определены вследствие наличия у пациентов первичной когорты выраженной фронтальной деформации и/или сагиттального дисбаланса, что соответствовало III и IV типу деформации по P. Verjano и K. Lamartina (2013) (табл. 7).

Классификация деформаций взрослых по P.Verjano и K.Lamartina (2013)

Тип деформации	Критерии	Хирургическая стратегия
I: локальная компрессия нерва в условиях сколиоза взрослых	Спинальный стеноз на 1-2 уровнях; два диска, остающиеся вне фиксации между верхним уровнем, где выполнена декомпрессия/фиксация, и вершиной кривой; отсутствие выраженных дегенеративных изменений или нестабильности, включая латеролистез, в диске над уровнем, где будут выполнены декомпрессия или спондилодез; сохранность сагиттального баланса	Селективная декомпрессия или селективная декомпрессия и спондилодез, если имеется нестабильность или декомпрессия вызовет нестабильность
II: ограниченное поражение диска в пределах кривой	Болезненные диски в пределах кривой (Modic I изменения в дисках, латеролистез на уровне одного или двух дисков, вакуум-феномен в дисках с выраженным коллапсом), сагиттально сбалансирован (LL > PI), фронтальный дисбаланс <4 см, непрогрессирующая деформация и невыраженное искривление (<30°); в идеале – болезненные диски вокруг (над и под) вершиной поясничной кривой	Селективный спондилодез с частичной коррекцией; изолированный передний XLIF, когда коррекции не требуется или требуется, но небольшая, или XLIF и задняя инструментальная фиксация для улучшения или поддержания коррекции, для улучшения сагиттального баланса или для восстановления фронтального баланса после переднего этапа
III: выраженная фронтальная деформация	Боль в области всей деформации, или прогрессирование деформации, или тяжелая деформация (>30°), или фронтальная деформация с умеренным сагиттальным дисбалансом, или сагиттально компенсированная	Спондилодез в пределах всей кривой: XLIF на всех уровнях в кривой или на наиболее ригидных уровнях плюс задняя инструментальная фиксация.
IV: сагиттальный дисбаланс	Отсутствие или минимальная фронтальная деформация, сагиттальный дисбаланс, или сагиттальная компенсация с выраженной болью в спине, или сагиттальная компенсация со стенозом	Задняя инструментальная фиксация и спондилодез с выполнением остеотомий по мере необходимости. Возможно дополнение XLIF для увеличения стабильности.



Распределение пациентов первичной когорты по преимущественному характеру деформации позвоночника, согласно классификации P.Verjano и K. Lamartina (2013), представлено в таблице 8.

Таблица 8

Распределение пациентов по характеру деформации по  
P. Verjano и K. Lamartina (2013)

Тип деформации	Мужчины	Женщины	Итого	
			абс. ч.	%
III	66 (17,3%)	198 (51,8%)	264	69,1
IV	28 (7,3%)	90 (23,6%)	118	30,9
Всего	94 (24,6%)	288 (75,4%)	382	100

Таким образом, в данную клиническую группу были включены взрослые пациенты не старше 70 лет после оперативного лечения, проведенного в клиниках РНИИТО им. Р.Р. Вредена и ГБУЗ «НИИ – Краевая клиническая больница №1 им. С.В. Очаповского» Министерства здравоохранения Краснодарского края с 2009 по 2015 год по поводу деформаций поясничного и грудопоясничного отделов позвоночника, развившихся вследствие прогрессирования дегенеративно-дистрофического процесса или системного остеопороза.

Первичная клиническая группа была сформирована на основании определенных критерий включения и исключения.

Критерии включения:

- этиология: сколиотические деформации поясничного и грудопоясничного отделов позвоночника, развившиеся вследствие прогрессирования дегенеративно-дистрофического процесса или системного остеопороза;
- возраст: взрослые пациенты не старше 70 лет;
- материал: наличие полного лучевого архива и данных денситометрии;
- сроки послеоперационного наблюдения: более 3 лет.

Критерии исключения:

- наличие системных заболеваний соединительной ткани;
- предшествующие операции на позвоночнике;
- отсутствие полноценного рентгенологического обследования или лучевого архива и данных денситометрии;
- отсутствие минимального периода наблюдения в 3 года;
- развитие инфекционных осложнений.

Кроме того, при анализе когорты на предмет развития ППК были исключены случаи с признаками нестабильности МК, а при оценке нестабильности МК пациенты с ППК.

Объем оперативного лечения включал одномоментную заднюю инструментальную фиксацию ригидными транспедикулярными системами, декомпрессию невральных структур на уровнях стеноза позвоночного канала, межтеловой спондилодез кейджами трансфораминальным доступом (TLIF) на уровнях нестабильности ПДС и коррекцию деформации с применением, при необходимости, различных остеотомий. Все этапы оперативного лечения выполнялись в одну хирургическую сессию из заднего доступа. Протяженность инструментальной фиксации составляла от 4 до 8 ПДС, при этом дистально фиксация оканчивалась на уровне пятого поясничного или первого крестцового позвонка с установкой винтов в подвздошные кости или без нее. Проксимальный уровень фиксации находился в пределах Th10 - L1. При этом выбор краниального и каудального уровня фиксации был обусловлен позицией позвонков относительно деформации во фронтальной плоскости с учетом их стабильности и нейтрального положения.

Рентгенологическое обследование включало в себя рентгенографию позвоночника в положении стоя в полный рост в двух проекциях с захватом тазобедренных суставов до операции, в раннем послеоперационном периоде (первая неделя) и на этапах контрольной оценки через 3, 6, 12, 24 и 36 месяцев. По данным телерентгенограммам были определены следующие

рентгенологические параметры: сагиттальная вертикальная ось (Sagittal Vertical Axis; SVA), грудной кифоз (Thoracic Kyphosis; ТК: Th5-Th12), поясничный лордоз (Lumbar Lordosis; LL: L1-L5), тазовый угол (Pelvic Incidence; PI), угол наклона таза к вертикали (Pelvic Tilt; PT) и проксимальный переходный угол (Proximal Junctional Angle; PJA), который определялся как угол между нижней замыкательной пластинкой позвонка проксимальной точки фиксации и верхней замыкательной пластинкой позвонка расположенного на 2 ПДС выше. Оценка стабильности МК проводилась на основании результатов контрольного рентгенологического обследования через 3, 6, 12, 24 и 36 месяцев. Кроме того, при выявлении рентгенологических признаков нестабильности МК пациентам выполнялась компьютерная томография зоны патологических изменений. При этом нестабильность МК определялась при наличии признаков остеолита вокруг транспедикулярных винтов или миграции МК. Также через 12, 24 и 36 месяцев после операции всем пациентам проводилась оценка МПКТ по данным контрольной денситометрии.

Ретроспективная часть исследования состояла из двух основных этапов. На первом этапе был проведен анализ особенностей и причин развития ППК, в то время как на втором этапе изучалась проблема нестабильности МК.

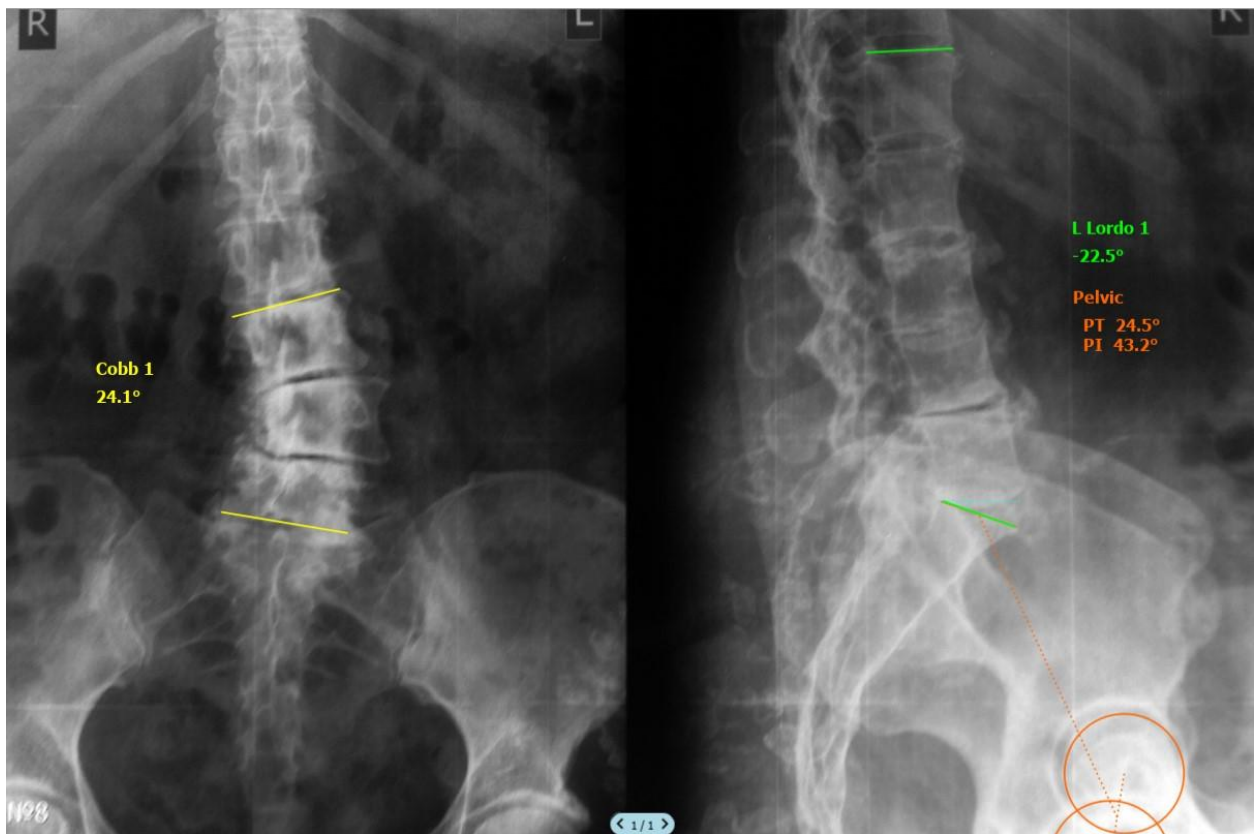
## **2.3. Инструментальные методы обследования пациентов**

### **2.3.1. Рентгенологические методы исследования**

#### **2.3.1.1. Рентгенография**

В диагностике деформаций позвоночника ведущая роль принадлежит рентгенологическим методам исследования.

Одной из наиболее достоверных неинвазивных и часто применяемых рентгенологических методик является спондилография в двух проекциях (рис. 6).



А

Б

Рисунок 6. Стандартные рентгенограммы пациента Б., 54 лет, с дегенеративным сколиозом поясничного отдела в прямой (А) и боковой (Б) проекциях

Однако данное рентгенологическое исследование имеет достаточно серьезные ограничения, позволяя определить лишь такие параметры, как угол деформации во фронтальной плоскости, величину поясничного лордоза (LL) и угол наклона крестца (SS). По современным представлениям изолированной оценки данных показателей недостаточно для проведения полноценного предоперационного планирования и определения тактики хирургического лечения. Таким образом, для оценки глобального баланса и позвоночно-тазовых соотношений всем пациентам предоперационно проводилось телерентгенографическое исследование позвоночника в двух проекциях в положении стоя (рис. 7).

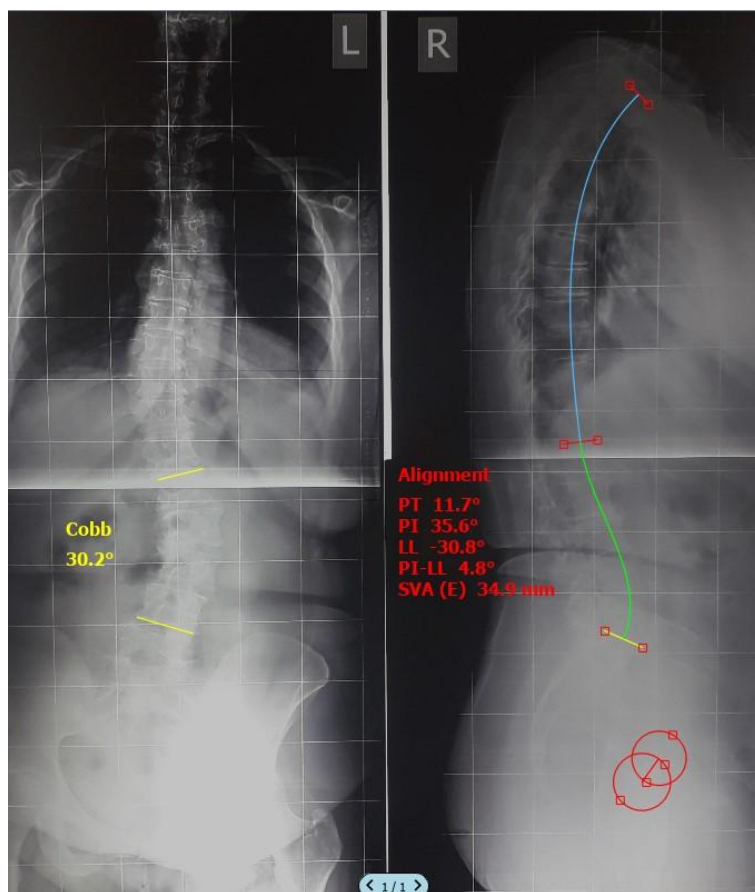


Рисунок 7. Телерентгенограммы пациентки Р., 61 год, в положении стоя

На основании анализа телерентгенограмм нами были определены такие ключевые параметры глобального баланса и позвоночно-тазовых соотношений как сагиттальная вертикальная ось (SVA), тазовый угол (PI), угол наклона таза к вертикали (PT), а также истинные значения поясничного лордоза (LL) и грудного кифоза (ТК) в положении стоя. Кроме того, оценка данных рентгенограмм позволяла определять задействованные компенсаторные механизмы поддержания тела в вертикальном положении и тем самым выявлять так называемые скрытые деформации или варианты компенсированного сагиттального дисбаланса. К таким механизмам относят уменьшение наклона крестца (SS), ретроверсию таза (определяемую по увеличению показателя PT) и сгибание нижних конечностей в тазобедренных и коленных суставах.

Но говоря о преимуществах данного метода диагностики, нужно отметить, что для его эффективного использования необходимо строго соблюдать правила его применения. Ведь ошибка может закрасться уже на стадии позиционирования

пациента. Локальное измерение лордоза и кифоза не зависят от позиции пациента, но глобальный сагиттальный баланс становится более позитивным при положении рук на груди (так называемая 60° позиция плеча относительно оси туловища) и негативным, если пациент кладет руки на опору перед собой (так называемая 90° позиция). Наиболее нейтральным считается положение пациента с кистями рук, уложенных на ключицы «clavicle position» (Horton W. C. et al., 2005). Помимо этого при позиционировании пациента необходимо строго следить за состоянием тазобедренных и коленных суставов, ведь их сгибание при активации компенсаторных механизмов может привести к ложной интерпретации показателей баланса туловища в целом, а следовательно и привести к неправильному планированию операции (Roussouly P., Nnadi C., 2010).

Кроме того, на определение основных тазовых параметров существенное влияние оказывает правильное определение бикоксофemorальной оси и проекции замыкательной пластинки SI. Так только при сложности ее определения величина ошибки измерения PI может достигать 5° (Yamada K. et al., 2015) (рис. 8).

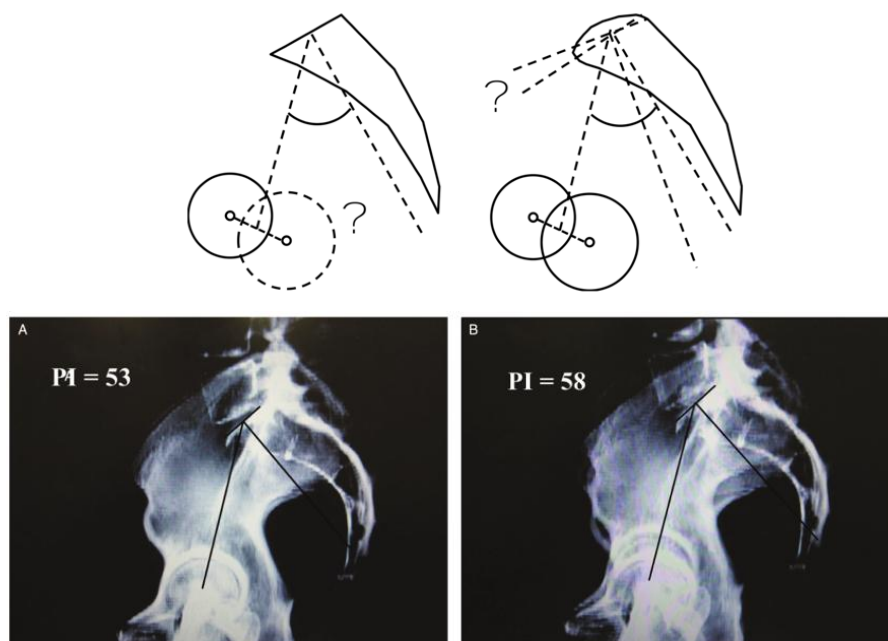


Рисунок 8. Схема и рентгенограммы возможных вариаций определения коксофemorального угла и PI при трудности выявления головок бедренных костей и проекции замыкательной пластинки SI

Трудности оценки качественных параметров деформации позвоночника на этом не заканчиваются. Ведь измерить их мы можем либо до операции, либо после нее, когда возможно вертикальное позиционирование пациента. Во время операции наши возможности по контролю за соблюдением предоперационного плана весьма ограничены, как положением пациента – на животе, со слегка согнутыми конечностями в тазобедренных и коленных суставах, так и инструментальными возможностями – ЭОП (О- или С- дуга) с широкоформатным экраном, позволяющем захватывать в поле зрения поясничный отдел целиком. Поэтому на практике возможна оценка только поясничного лордоза. В последующих разделах мы остановимся подробнее на методике интраоперационного контроля.

#### **2.3.1.2. Компьютерная томография**

На сегодняшний день компьютерная томография является золотым стандартом выявления патологии костной ткани, оценки степени формирования костного блока и раннего определения изменений костной ткани на границе с имплантом. Однако ввиду относительно высокой стоимости и значительной лучевой нагрузки, рутинное использование данного метода в качестве скрининга возможных послеоперационных осложнений ограничено. В проведенном нами исследовании КТ выполнялась в отдаленном послеоперационном периоде пациентам с рентгенологическими признаками нестабильности МК для окончательной верификации диагноза (рис. 9).



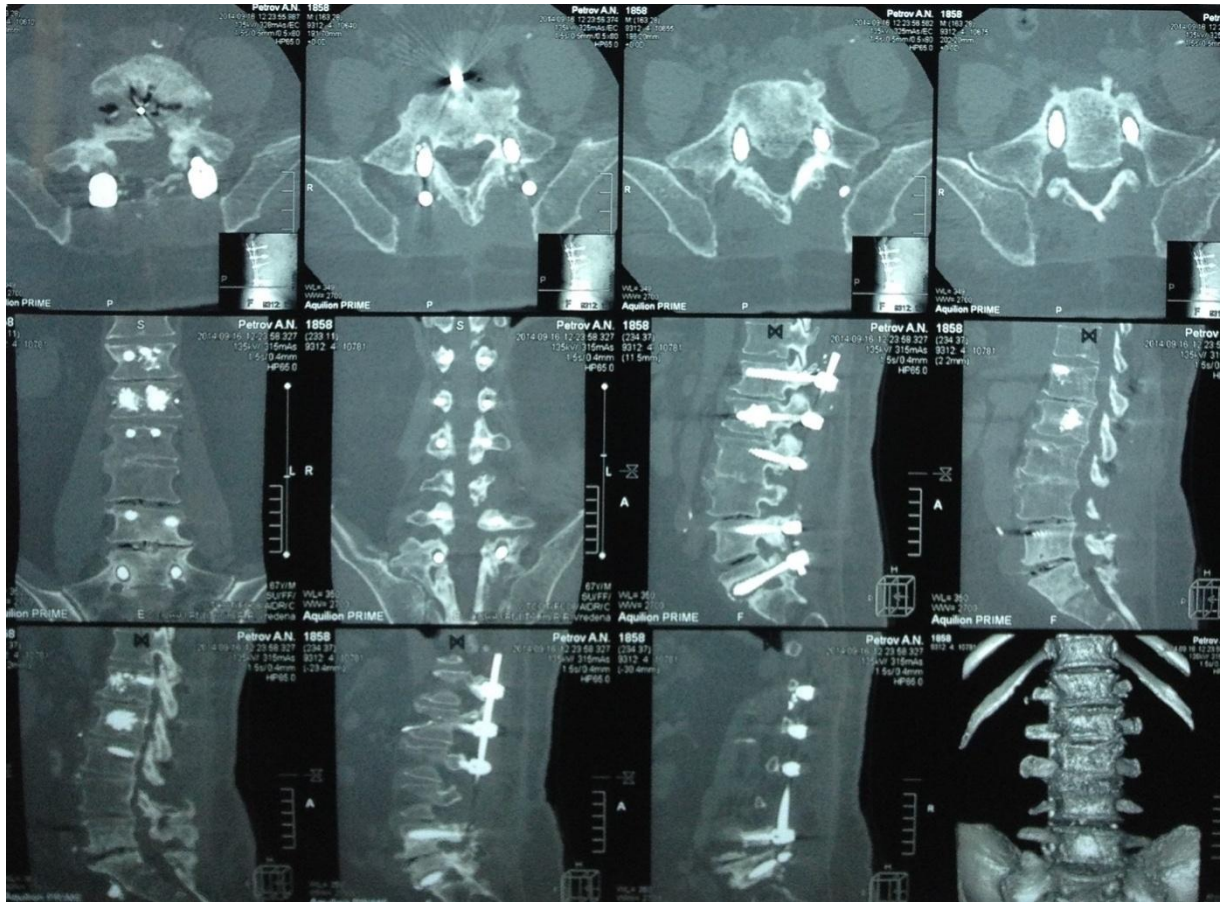


Рисунок 9. КТ поясничного отдела позвоночника пациента П., 62 лет (3D MPR и VRT режимы). Визуализируется нестабильность МК на фоне остеолита вокруг винтов S1

### 2.3.1.3. Магнитно-резонансная томография

Для определения состояния межпозвонковых дисков и признаков компрессии неврологических структур, всем пациентам проводилась магнитно-резонансная томография. Пациенты, имевшие противопоказания для выполнения магнитно-резонансной томографии (МРТ), были исключены из данного исследования.

МРТ на сегодняшний день является одним из самых информативных методов исследования дегенеративной патологии позвоночника. Достоинствами МРТ являются неинвазивность, отсутствие лучевой нагрузки, высокое разрешение и широкое поле изображения, возможность получения срезов любой ориентации, визуализация содержимого дурального мешка, корешковых каналов,



околопозвоночной зоны, а также всех мягкотканых элементов зоны сканирования. Стандартное обследование поясничного отдела позвоночника включает в себя T1 и T2-взвешенные изображения в сагиттальной плоскости, охватывающие области от конуса до крестца и от одного корешкового отверстия до другого. Аксиальные срезы выполняются на интересующем врача уровне. Данное обследование позволяет определять степень дегенеративных изменений межпозвонковых дисков, выявлять наличие, положение и степень сужения позвоночного канала, а также другие патологические изменения структур, непосредственно ответственных за стенозирование позвоночного канала (рис. 10).



Рисунок 10. МРТ поясничного отдела позвоночника, T2 режим, аксиальные и сагиттальные сканы пациента Н., 65 лет. Определяется стеноз позвоночного канала на уровне L<sub>4-5</sub>-S<sub>1</sub> за счет гипертрофии дугоотростчатых суставов

На основании МРТ исследования определялся окончательный объем оперативного вмешательства с учетом необходимой декомпрессии неврологических структур и протяженности межтелового спондилодеза.

#### **2.3.1.4. Денситометрия**

Определение МПКТ проводилось у всех пациентов посредством двухэнергетической рентгеновской абсорбциометрии (dual energy X-ray absorbtometry – DXA). Степень дефицита МПКТ оценивалась на основании T-критерия, т.е. показателя сравнения со средним значением для того возраста, в котором МПКТ в данном участке скелета достигает максимума. Диагноз остеопороз, согласно рекомендациям ВОЗ, устанавливался при значениях T-критерия ниже -2.5 стандартных отклонений (SD). Показатели T-критерия в пределах от -1 SD до -2.5 SD являлись основанием для диагностики остеопении. При показателях T-критерия не ниже -1 SD МПКТ расценивалась в пределах возрастной нормы.

#### **2.3.2. Другие методы исследования**

Кроме специальных инструментальных методов исследования, необходимых для изучения деформации, всем больным проводилось стандартное клиничко-лабораторное исследование для оценки их соматического статуса, сопутствующей патологии и профилактики возможных осложнений. Им назначался общий и биохимический анализы крови, коагулограмма с целью исключения острых и хронических воспалительных процессов. У всех больных исследовалась реакция Вассермана крови.

Обследование включало также клинический анализ мочи. Проводился осмотр стоматолога для исключения очагов хронических инфекций. Ультразвуковая доплерография (УЗДГ) сосудов нижних конечностей для выявления наличия тромбообразования и других нарушений кровотока в артериальном и венозном бассейнах.

Все больные до операции осматривались врачами терапевтами и другими специалистами в зависимости от характера сопутствующей патологии.

#### 2.4. Анкетирование больных

Всем пациентам, включенным в исследование, проводилось дооперационное и контрольное рентгенологическое обследование позвоночника в сроки 3, 6, 12 и 24 месяца и далее ежегодно. Пациентам на этапе предоперационного планирования было выполнено МРТ поясничного отдела позвоночника. Для оценки выраженности болевого синдрома использовалась наиболее простая и удобная в повседневной практике визуальная аналоговая шкала боли (ВАШ, Visual Analog Scale - VAS), где начальная точка шкалы обозначает отсутствие боли – 0 баллов, а максимально выраженной, нестерпимой боли соответствует ее конец – 10. При этом отдельно оценивался уровень боли в поясничном отделе позвоночника и боли неврологического характера, иррадиирующей в ноги.

В ряде других шкал одновременно оцениваются боль и качество жизни больных. При оценке хронического и рецидивирующего болевого синдрома наиболее важна оценка тяжести боли за данный интервал времени. Удобство применения VAS связано с тем, что она может быть использована для определения динамики болевого синдрома в течение определенного срока (Бывальцев В.А. с соавт., 2013; Белова, А.Н. 2004).

Для оценки качества жизни пациентов была использована анкета качества жизни Освестри, (Oswestry Disability Index – ODI), разработанная в 1980 г. для оценки степени нарушения жизнедеятельности, обусловленного патологией позвоночника. Анкета Освестри доступна в версии 2.1а и состоит из 10 разделов. Для каждого раздела максимальный балл равен 5. Индекс ответов (ODI) высчитывается так: сумма набранных баллов, разделенное на максимально возможное количество баллов и умноженная на 100.

Для оценки неврологического дефицита использовалась шкала оценки функционального состояния Nurick, по которой состояние пациента оценивают по его способности ходить (табл. 9).

Шкала оценки функционального состояния Nurick

Стадия	Критерий
0	Признаки и симптомы вовлеченности нервного корешка без данных о патологии спинного мозга
1	Признаки патологии спинного мозга, трудностей с ходьбой нет
2	Незначительные трудности с ходьбой, которые не мешают работать полное время
3	Трудности с ходьбой, которые мешают работать полное время или выполнять всю домашнюю работу, но которые не настолько сильные, чтобы требовалась помощь постороннего при ходьбе
4	Способность ходить только с посторонней помощью или используя специальные приспособления для ходьбы (ходунки)
5	Возможность передвигаться только сидя или находится только в постели

### 2.5. Статистическая обработка полученных количественных данных

Для статистической обработки данных, полученных в результате клинических исследований, использовались непараметрические методы статистического анализа, регрессия Кокса и ROC анализ.

Проводилось вычисление следующих показателей:  $M$  – среднее арифметическое значение величины вариационного ряда;  $\sigma$  – среднеквадратичное отклонение;  $m$  – величина ошибки среднего значения;  $n$  – количество наблюдений. Для сравнения количественных параметров (возраст, позвоночно-тазовые величины, показатели шкал) в исследуемых группах и оценки достоверности различий использовался непараметрический критерий Манна – Уитни ( $u$ ) и  $t$  критерий Стьюдента.

Различия между величинами и корреляционные связи рассматривались как статистически значимые при значениях  $p < 0,05$ , которое принято в медико-биологических исследованиях.

Статистическая обработка результатов исследования проводилась на персональном компьютере с применением статистической программы IBM SPSS Statistics 23. Аппаратное обеспечение: Intel Pentium Core 4 Quad 8200 2.33 ГГц, используемое программное обеспечение: OS Microsoft Windows 7, Microsoft Office Excel 2010.

## ГЛАВА 3

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ФАКТОРОВ РИСКА РАЗВИТИЯ  
ПРОКСИМАЛЬНОГО ПЕРЕХОДНОГО КИФОЗА И НЕСТАБИЛЬНОСТИ  
МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИИ****3.1. Клинико-рентгенологические особенности патологических изменений  
при формировании проксимального переходного кифоза**

По результатам первичной оценки ППК в ретроспективной клинической группе был выявлен у 132 пациентов на протяжении трехлетнего периода наблюдения. Частота ППК в исследуемой когорте составила 34,6%.

Пример формирования ППК вследствие перелома смежного вышележащего позвонка представлен на рисунках 11–13.

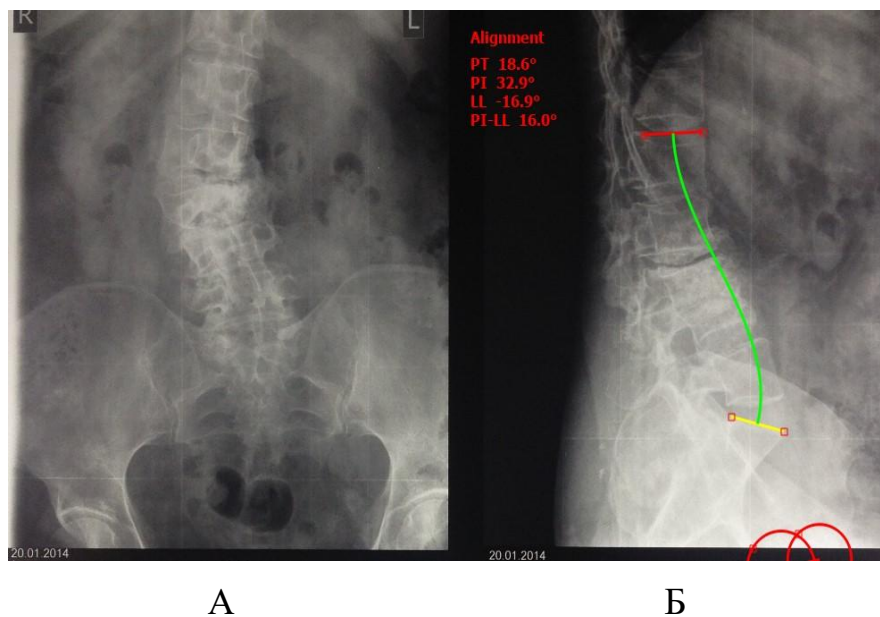


Рисунок 11. Рентгенограмма поясничного отдела пациентки З., 62 лет.  
Дегенеративный сколиоз поясничного отдела: А – прямая проекция;  
Б – боковая проекция

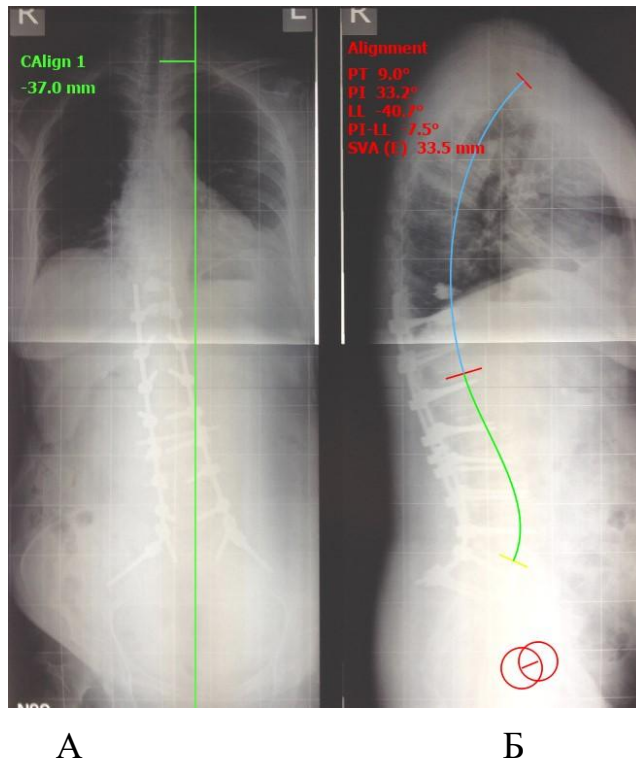


Рисунок 12. Телерентгенограмма пациентки З., 62 лет. 5-е сутки после операции. Коррекция сколиотической деформации, спондилосинтез Th11-S1-подвздошные кости, профилактическая вертебропластика Th<sub>10</sub>: А – прямая проекция; Б – боковая проекция

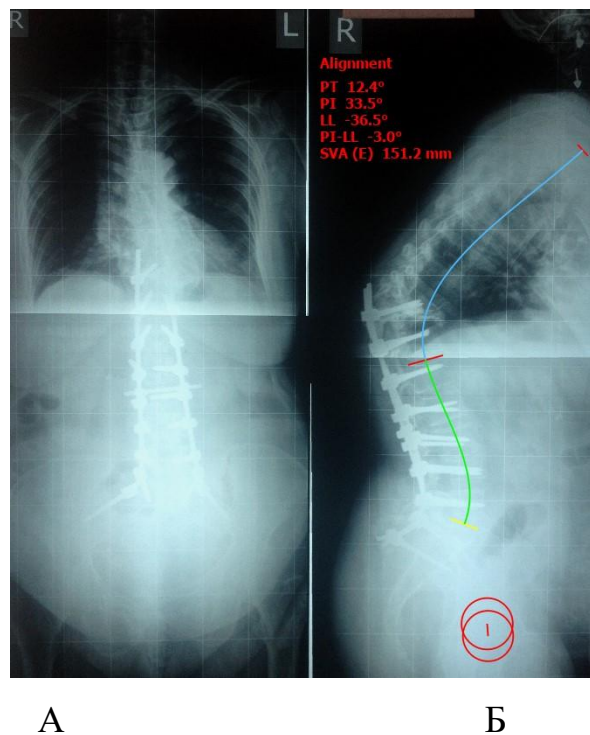


Рисунок 13. Телерентгенограмма пациентки З., 62 года, 4 месяца после операции. ППК, перелом Th<sub>10</sub> позвонка. А – прямая проекция; Б – боковая проекция

В ходе изучения особенностей проксимального переходного кифоза после инструментальной фиксации поясничного и грудопоясничного отделов решалась задача оценки клинико-рентгенологических проявлений ППК, выявления основных механизмов развития данной патологии и сроков ее возникновения (табл. 10).

Таблица 10

## Механизм развития ППК

Механизм ППК	Частота ППК n (%)	Среднее время развития, мес	Средний показатель РЈА, °
Дегенерация м/п диска	12 (9,1%)	16,2 ± 5,7	14,4° ± 3,2°
Перелом СВП	67 (50,8%)	11,2 ± 3,8	34,2° ± 6,2°
Перелом ППТФ	39 (29,5%)	10,3 ± 4,1	32,1° ± 7,1°
Перелом ППТФ + СВП	14 (10,6%)	8,2 ± 3,2	42,6° ± 9,3°
Всего	132 (100%)	-	-

м/п – межпозвонковый; СВП – смежный вышележащий позвонок; ППТФ – позвонок проксимальной точки фиксации.

В результате первичного анализа статистически значимые отличия были выявлены нами в средних сроках развития ППК вследствие дегенерации вышележащего м/п диска и переломов позвонков (табл. 11). Кроме того, сроки развития сочетанных переломов позвонков были статистически значимо ниже средних сроков развития изолированных переломов (табл. 11).

Рентгенологический анализ показал, что статистически значимые различия наблюдались в средних величинах показателя РЈА у пациентов с ППК вследствие дегенерации межпозвонкового диска и пациентов с переломами позвонков (табл. 12). Также средний показатель РЈА у пациентов с сочетанными переломами позвонков проксимальной точки фиксации и смежного вышележащего позвонка



был статистически значимо выше, чем у пациентов с изолированными переломами (табл. 12).

Таблица 11

## Сравнение средних сроков развития ППК

Причины ППК	Дегенерация м/п диска	Перелом СВП	Значение р	Перелом ППТФ	Значение р	Перелом ППТФ + СВП	Значение р
Дегенерация м/п диска	16,2	11,2	0,026	10,3	0,018	8,2	0,006
Перелом СВП	11,2	-	-	10,3	0,247	8,2	0,019
Перелом ППТФ	10,3	-	-	-	-	8,2	0,029

м/п – межпозвонковый; СВП – смежный вышележащий позвонок; ППТФ – позвонок проксимальной точки фиксации.

Таблица 12

## Сравнение средних показателей РЖА

Причины ППК	Дегенерация м/п диска	Перелом СВП	Значение р	Перелом ППТФ	Значение р	Перелом ППТФ + СВП	Значение р
Дегенерация м/п диска	14,4°	34,2°	0,012	32,1°	0,032	42,6°	0,003
Перелом СВП	34,2°	-	-	32,1°	0,877	42,6°	0,026
Перелом ППТФ	32,1°	-	-	-	-	42,6°	0,018

м/п – межпозвонковый; СВП – смежный вышележащий позвонок; ППТФ – позвонок проксимальной точки фиксации.

Для оценки корреляции частоты развития ППК и определенного проксимального уровня фиксации пациенты с ППК были разделены на группы в зависимости от позвонка проксимальной точки фиксации (табл. 13).

Таблица 13

## Зависимость частоты ППК от проксимальной точки фиксации

Тип ППК	Частота ППК	Th10 (n=123)	Th11 (n=96)	Th12 (n=110)	L1 (n=53)
ППК	132 (34,6%)	42 (34,1%)	33 (34,4%)	40 (36,4%)	17 (32,1%)
Дегенерация м/п диска	12 (9,1%)	4 (9,5%)	3 (9,1%)	4 (10%)	1 (5,9%)
Перелом СВП	67 (50,8%)	21 (50%)	17 (51,5%)	19 (47,5%)	10 (58,8%)
Перелом ППТФ	39 (29,5%)	13 (31%)	8 (24,2%)	13 (32,5%)	5 (29,4%)
Перелом ППТФ + СВП	14 (10,6%)	4 (9,5%)	5 (15,2%)	4 (10%)	1 (5,9%)
Всего	382 (100%)	-	-	-	-

м/п – межпозвонковый; СВП – смежный вышележащий позвонок; ППТФ – позвонок проксимальной точки фиксации.

По результатам проведенного анализа статистически значимых различий в частоте развития ППК между группами с различной проксимальной точкой фиксации выявлено не было.

Также на данном этапе исследования нами были проанализированы клинические проявления изучаемой патологии перед операцией с оценкой уровня болевого синдрома по шкале VAS, качества жизни по ODI и неврологического дефицита по Nurick (табл. 14).

Основные клинические проявления до операции

Клинические проявления	ППК (n=132)	Без осложнений (n=176)	Всего (n=382)	Значение p
VAS в спине до операции	6,1 ± 1,1	5,9 ± 1,1	6,0 ± 1,1	0,344
VAS в ногах до операции	4,2 ± 1,2	3,9 ± 1,4	4,1 ± 1,2	0,276
ODI до операции	37,1 ± 3,1	36,2 ± 3,4	36,8 ± 3,3	0,412
Nurick до операции	3,6 ± 1,4	3,2 ± 1,1	3,5 ± 1,3	0,198

По результатам оценки основных клинических проявлений первичной патологии на предоперационном этапе в общей когорте пациентов и группах с последующим развитием ППК и отсутствием осложнений, значимых различий выявлено не было.

### **3.2. Анализ факторов риска развития проксимального переходного кифоза**

Для выявления факторов риска развития проксимального переходного кифоза, а также определения их значимости нами был проведен статистический многофакторный анализ. В данный анализ были включены факторы риска, наиболее часто упоминаемые в литературе. В их число вошли факторы, связанные с пациентом (возраст, пол, наличие остеопороза, индекс массы тела, курение), хирургические факторы (тип остеотомии, величина коррекции поясничного лордоза, включение в зону фиксации крестца) и рентгенологические параметры (PI, TK, LL, SVA, PI-LL, PJA).

На этапе первичного анализа когорты пациентов была разделена на 2 группы в зависимости от развития проксимального переходного кифоза, кроме того были исключены случаи нестабильности МК. Таким образом, в группу ППК вошло 132 пациента, в группу без ППК 176 пациентов. В данных группах было проведено

сравнение основных факторов риска развития ППК со стороны пациентов и хирургического этапа с использованием критерия Пирсона (хи-квадрат) (табл. 15-16).

Таблица 15

## Сравнение пациент-ассоциированных факторов в изучаемых группах

Факторы риска	Группа ППК (n=132)	Группа без ППК (n=176)	Частота ППК	Значение p
<b>Возраст</b>	61,3 ± 6,4	60,8 ± 7,2	-	0,126
<b>Пол</b>				
жен	96	112	46%	0,244
муж	36	64	36%	
<b>Остеопороз</b>				
да	82	74	53%	0,032
нет	50	102	33%	
<b>Курение</b>				
да	44	52	46%	0,676
нет	88	124	42%	
<b>ИМТ &gt;25</b>				
да	69	67	51%	0,042
нет	63	109	37%	

Таблица 16

## Сравнение хирургических факторов в изучаемых группах

Факторы риска	Группа ППК (n=132)	Группа без ППК (n=176)	Частота ППК	Значение p
<b>Тип остеотомии</b>				
SPO	85	112	43%	0,342
PSO / VCR	38	48	44%	
нет	9	16	36%	
<b>Коррекция LL &gt; 30°</b>				
да	82	60	58%	0,008
нет	50	116	30%	
<b>Включение в зону фиксации крестца</b>				
да	76	104	42%	0,829
нет	56	72	44%	

Для определения значимости рентгенологических параметров первично было проведено сравнение средних величин для таких показателей в обеих группах с использованием стандартных методов непараметрической статистики (табл. 17).

Таблица 17

Сравнение средних величин рентгенологических параметров у пациентов  
изучаемых групп

Факторы риска	Группа ППК (n=132)	Группа без ППК (n=176)	Значение p
<b>PI (°)</b>	60,3 ± 6,2	58,7 ± 4,8	0,012
<b>PT (°)</b>			
до операции	25,6 ± 7,3	27,3 ± 8,4	0,114
после операции	19,4 ± 7,1	21,1 ± 6,7	0,082
изменение	6,2 ± 6,9	6,2 ± 7,2	0,921
<b>LL (°)</b>			
до операции	29,3 ± 12,1	28,4 ± 10,2	0,127
после операции	55,2 ± 7,2	54,5 ± 7,8	0,312
изменение	25,9 ± 5,1	26,1 ± 5,4	0,434
<b>PI-LL(°)</b>			
до операции	31 ± 7,4	30,3 ± 8,6	0,218
после операции	5,1 ± 2,6	4,2 ± 2,4	0,082
<b>SVA(мм)</b>			
до операции	86,6 ± 14,2	88,2 ± 18,4	0,096
после операции	42,1 ± 8,3	43,3 ± 9,6	0,246
изменение	44,5 ± 9,3	44,9 ± 10,6	0,459
<b>PJA(°)</b>			
до операции	12,8 ± 4,1	9,2 ± 4,3	0,009
после операции	12,1 ± 3,7	7,6 ± 2,7	0,001
изменение	0,7 ± 1,8	1,6 ± 2,1	0,713
<b>TK (°)</b>			
до операции	34,2 ± 8,1	31,8 ± 7,9	0,097
после операции	38,4 ± 8,6	33,1 ± 7,1	0,178
изменение	4,2 ± 6,7	1,3 ± 3,4	0,089

Оценка значимости различий между определенными параметрами в таблицах сопряженности с использованием критерия Пирсона позволила нам

определить потенциальные факторы риска для развития ППК. По результатам данного анализа нами была выявлена статистическая значимость как для определенных факторов, связанных с пациентами, так и для хирургических факторов и некоторых рентгенологических параметров. Так более высокая частота развития ППК была выявлена у пациентов с остеопорозом (53% - 33%;  $p = 0,032$ ), с индексом массы тела более 25 (51% - 37%;  $p = 0,042$ ) и после коррекции поясничного лордоза более чем на  $30^\circ$  (58% - 30%;  $p = 0,008$ ). Статистическая значимость среди рентгенологических параметров была выявлена у показателей тазового угла (PI;  $p = 0,012$ ) и проксимального переходного угла после операции (PJA;  $p = 0,001$ ).

Кроме того, в некоторых случаях нами было выявлено увеличение проксимального переходного угла после операции по сравнению с предоперационными значениями. Расчеты проводились на основании анализа рентгенограмм в программной среде Surgimap version 2.2.9.9.9. При этом, для исключения погрешности измерения, увеличение PJA считалось выявленным при наличии разницы с предоперационным значением более чем на  $3^\circ$ . Данные изменения были выявлены как в группе с развившимся впоследствии ППК, так и в группе без изучаемого осложнения. При этом количество случаев увеличения PJA было значимо выше в группе с развитием ППК (табл. 18).

Таблица 18

## Оценка изменения показателя PJA

Факторы риска	Группа ППК (n=132)	Группа без ППК (n=176)	Частота ППК	Значение p
<b>Увеличение PJA &gt;3°</b>				
Да	62	48	56%	0,012
Нет	70	128	35%	

Следующим этапом факторы, имеющие статистическую значимость, были включены в регрессионный анализ Кокса, при помощи которого была определена

независимая значимость всех переменных и степень их влияния на риск развития ППК (табл. 19–20). При этом статистический анализ с использованием регрессии Кокса был выбран нами неслучайно. Данная модель предполагает прогнозирование риска наступления события для рассматриваемого объекта и оценивает влияние независимых переменных на этот риск. При этом риск наступления события является функцией, зависимой от времени, и выявляет вероятность наступления события для объектов, которые находятся в группе риска (Machin D. et al., 2006). Таким образом, в регрессии Кокса в отличие от метода Каплана-Мейера и логистической регрессии мы можем оценить влияние множества предикторов на исход с учетом периода наблюдения.

Предварительным этапом, для определения эффективности предлагаемой модели статистического анализа, нами была оценена взаимная корреляция переменных, включаемых в регрессию Кокса (табл. 19)

Таблица 19

Оценка степени взаимной корреляции основных переменных  
(факторов риска) в развитии ППК

Факторы риска	Остеопороз	Корр. LL> 30°	PJA postOp	PI	ИМТ >25
Корр. LL> 30°	-,087	-	-	-	-
PJA postOp	,265	,308	-	-	-
PI	,053	,072	-,081	-	-
ИМТ >25	,025	-,040	,074	,077	-
Увеличение PJA >3°	,002	,863	,821	,043	-,062

Сила связи двух переменных характеризуется абсолютной величиной коэффициента корреляции. Обычно считается, что значение до 0,2 — очень слабая корреляция, до 0,5 — слабая корреляция, до 0,7 — средняя корреляция, до 0,9 — высокая корреляция, выше 0,9 — очень высокая корреляция. По результатам данного анализа нами была выявлена высокая взаимная корреляция (0,863) увеличения показателя РЈА после операции и коррекции поясничного лордоза более 30°, а также высокая корреляция (0,821) увеличения РЈА и его послеоперационных значений (табл. 19). При этом если взаимосвязь последних параметров вполне закономерна, то корреляция величины коррекции поясничного лордоза и увеличения проксимального переходного угла потребовала дополнительного анализа. Оценив зависимость частоты увеличения проксимального переходного угла после операции от значительной коррекции поясничного лордоза при помощи критерия Пирсона (хи-квадрат), нами была отмечена статистически значимая тенденция (табл. 20).

Таблица 20

## Оценка корреляции показателя РЈА и коррекции LL

Факторы риска	РЈА >3° (n=110)	РЈА <3° (n=198)	РЈА >3°	p
<b>LL &gt; 30°</b>				
да	89	53	63%	0,001
нет	21	145	13%	

Так в результате данного анализа, мы выявили, что увеличение РЈА после операции возникает в 4,8 раза чаще (63% - 13%) при коррекции показателя LL более 30°. Данный вывод объясняется, по всей видимости, компенсаторным увеличением локального кифоза в условиях выраженной ригидности грудного отдела позвоночника.

Кроме описанного выше исключения, все переменные слабо коррелированы и, следовательно, могли быть использованы в качестве независимых переменных в регрессии.



Результаты анализа основных переменных (факторов риска) в развитии ППК при помощи модели пропорциональных рисков Кокса

Регрессионный анализ Кокса								
Факторы риска	В	Ст. ош.	Вальд	ст.св.	Значимость	Exp (В)	ДИ 95% для Exp (В)	
							Нижняя	Верхняя
Остеопороз	,929	,188	24,330	1	,001	2,532	1,750	3,662
Корр. LL > 30°	,389	,186	4,392	1	,036	1,475	1,026	2,122
PJA	,229	,029	62,877	1	,001	1,258	1,188	1,331
PI	,026	,014	3,404	1	,065	1,026	,998	1,054
ИМТ > 25	-,177	,180	,965	1	,326	,838	,588	1,193

По результатам данного анализа статистически значимое влияние на риски развития ППК было выявлено у показателей остеопороза ( $p = 0,001$ ), коррекции поясничного лордоза более  $30^\circ$  ( $p = 0,036$ ) и проксимального переходного угла ( $p = 0,001$ ). При этом, интерпретируя результаты регрессионного анализа Кокса, можно сделать выводы, что вероятность развития ППК увеличивается в 2,5 раза при наличии остеопороза ( $\text{Exp (В)} = 2,532$ ;  $p = 0,001$ ), а также в 1,5 раза при восстановлении поясничного лордоза более чем на  $30^\circ$  ( $\text{Exp (В)} = 1,475$ ;  $p = 0,036$ ).

Влияние показателей величины тазового угла (PI) и ИМТ превышающего 25 на частоту развития данного осложнения не получило статистически значимого подтверждения в ходе регрессионного анализа ( $p = 0,065$ ;  $p = 0,326$ ).

Статистически значимое влияние показателя PJA ( $p = 0,001$ ), представленного в регрессионном анализе в абсолютных значениях, определило необходимость дополнительного анализа данного показателя с целью выявления его пороговой значимости.

Для определения порогового значения показателя PJA, оказывающего статистически значимое влияние на риск развития ППК, нами был проведен ROC анализ с построением соответствующих кривых (рис. 14).

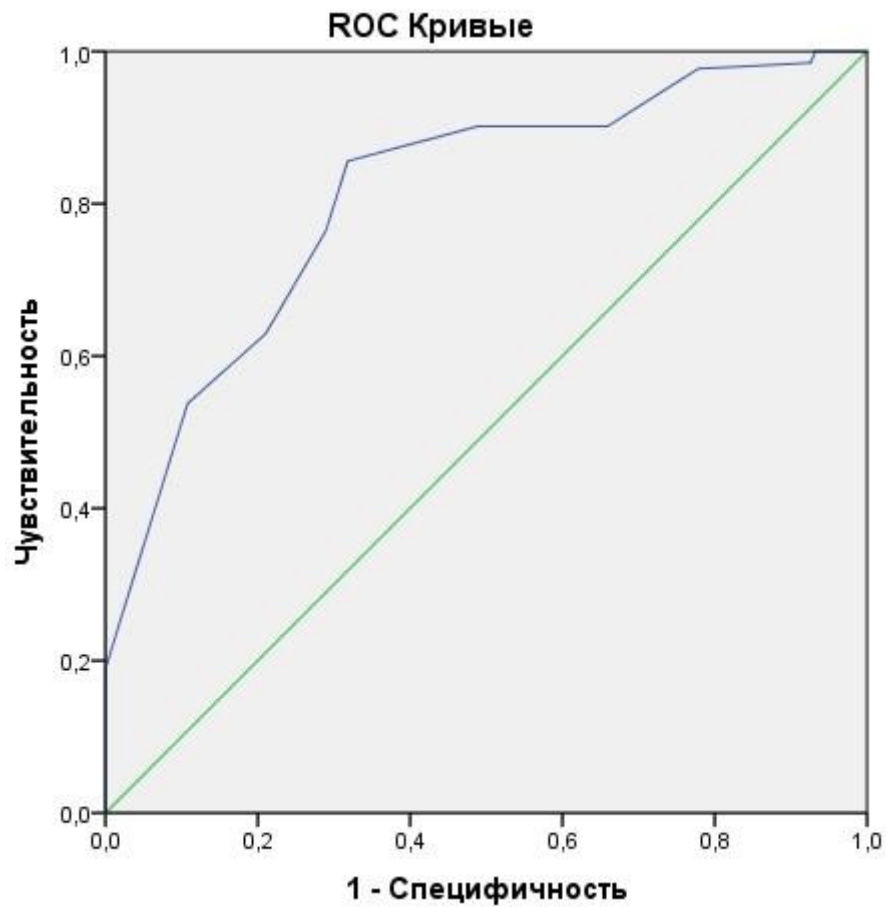


Рисунок. 14. ROC кривая параметра PJA

По результатам ROC анализа было подтверждено статистически значимое влияние показателя PJA на риск развития ППК. Пороговое значение показателя PJA, определенное на основании максимальной чувствительности (76,5%) и специфичности (71%), составило  $9,5^\circ$  (рис. 15).

Координаты кривой		
Переменные результата проверки: PJA_ном		
Верно, если больше или равно <sup>a</sup>	Чувствительность	1 - Специфичность
,0000	1,000	1,000
1,5000	1,000	,977
2,5000	1,000	,955
3,5000	1,000	,932
4,5000	,985	,926
5,5000	,977	,778
6,5000	,902	,659
7,5000	,902	,489
8,5000	,856	,318
9,5000	,765	,290
10,5000	,629	,210
11,5000	,538	,108
12,5000	,189	,000
14,0000	,091	,000
15,5000	,068	,000
17,0000	,030	,000
19,0000	,000	,000

Рисунок 15. Порог отсечения для параметра PJA

Данный порог отсечения означает, что у 76,5% пациентов с величиной PJA более 9,5° развивается ППК, при этом доля ложноположительных результатов составляет 29% (100%-71%). Площадь под кривой (AUC) составила 0,812 с 95% доверительным интервалом от 0,763 до 0,860, что соответствует высокой прогностической точности данной модели.

Таким образом, определив пороговое значение данного параметра и сопоставив его с результатами регрессионного анализа Кокса (табл. 21), мы выявили, что при возрастании показателя PJA, превышающего 10° на 1° риск развития ППК увеличивается в 1,258 раза или на 25,8% (Exp (B) = 1,258; p=0,001).

Следующим этапом для определения степени влияния показателя PJA на риск развития ППК в регрессионный анализ Кокса была введена переменная PJA10°, характеризующая распределение пациентов в зависимости от величины данного угла ( $<10^\circ$  или  $\geq 10^\circ$ ) (табл. 22).

Таблица 22

Результаты анализа дополнительной переменной PJA 10° при помощи модели пропорциональных рисков Кокса

Регрессионный анализ Кокса								
Фактор риска	В	Ст. ош.	Вальд	ст.св.	Значим ость	Ехр (В)	ДИ 95,0% для Ехр (В)	
							Нижняя	Верхняя
PJA 10°	1,249	,196	40,616	1	,001	3,487	2,375	5,120

Таким образом, на основании проведенного многофакторного статистического анализа нами было показано, что проксимальный переходный угол с величиной равной и более  $10^\circ$  является статистически значимым фактором риска развития ППК, увеличивая вероятность его появления в 3,5 раза (Ехр (В) = 3,487;  $p=0,001$ ).

### **3.3. Клинико-рентгенологические особенности патологических изменений при развитии нестабильности металлоконструкции**

Нестабильность МК у пациентов исследуемой когорты была выявлена в 74 случаях, что составило 19,4%. Распределение по типу нестабильности и средним срокам ее развития представлено в таблице 23.

Тип нестабильности МК и средние сроки ее развития

Тип нестабильности	Нестабильность (n=74)	Средние сроки рентген проявлений, мес	Средние сроки клинических проявлений, мес	Значение p
Остеолиз	56 (75,7%)	4,1 ± 2,1	5,3 ± 2,1	0,031
Миграция МК	6 (8,1%)	4,3 ± 1,8	4,4 ± 1,6	0,633
Перелом МК	12 (16,2%)	6,4 ± 2,6	6,8 ± 2,6	0,213

По результатам первичной оценки нами было показано, что средние сроки появления клинической симптоматики соответствуют срокам появления рентгенологических признаков в случаях развития нестабильности МК по типу миграции ( $p = 0,633$ ) или по типу перелома МК ( $p = 0,213$ ) и статистически значимо превышают данные сроки в случаях остеолита вокруг винтов ( $p = 0,031$ ).

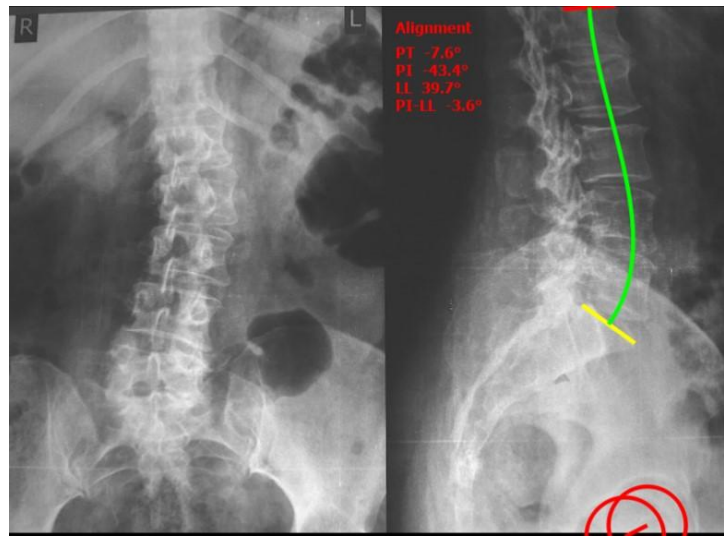
Следует еще раз отметить, что в данном исследовании диагноз нестабильности МК устанавливался нами в случаях обязательного наличия рентгенологических признаков и клинической симптоматики, т.к. явления остеолита в некоторых случаях протекали бессимптомно и не приводили к нестабильности МК впоследствии (табл. 24).

Развитие нестабильности МК на фоне остеолита

Тип остеолита	Общая когорта пациентов (n=382)	Средние сроки рентгенол. проявлений, мес	Значение p
Бессимптомный остеолит	17 (4,5%)	3,1 ± 2,8	0,038
Остеолит + клинические проявления	56 (14,7%)	4,1 ± 2,1	

Таким образом, изучая клиничко-рентгенологические особенности остеолита, нами было выявлено 17 (4,5%) случаев бессимптомного лизиса костной ткани

вокруг винтов, который не приводил к развитию нестабильности МК в течение всего периода наблюдений. При этом средние сроки рентгенологических проявлений в данных случаях оказались статистически значимо ниже ( $3,1 \pm 2,8$  мес.), чем в случаях с последующим развитием клинических проявлений нестабильности ( $4,1 \pm 2,1$  мес.) ( $p = 0,038$ ). Пример развития нестабильности МК вследствие остеолита вокруг винтов представлен на рисунках 16–18.



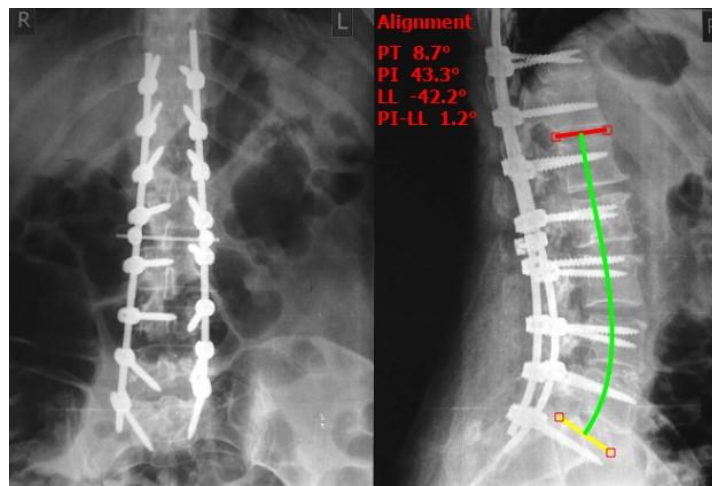
А

Б

Рисунок 16. Рентгенограмма поясничного отдела пациентки Ш., 58 лет.

Дегенеративный сколиоз поясничного отдела:

А – прямая проекция; Б – боковая проекция



А

Б

Рисунок 17. Рентгенограмма поясничного отдела пациентки Ш., 58 лет.

1-е сутки после операции. Коррекция сколиотической деформации, спондилосинтез Th11-S1. А – прямая проекция, Б – боковая проекция



Рисунок 18. Компьютерная томография поясничного отдела пациентки Ш., 58 лет, 10 месяцев после операции.

Нестабильность транспедикулярных винтов S<sub>1</sub>.

Также на данном этапе исследования нами были проанализированы клинические проявления изучаемой патологии перед операцией с оценкой уровня болевого синдрома по шкале VAS, качества жизни по ODI и неврологического дефицита по Nurick (табл. 25).

Таблица 25

Основные клинические проявления до операции

Симптомы	НМК (n=74)	Без осложнений (n=176)	Всего (n=382)	Значение p
VAS в спине до операции	6,2 ± 1,1	5,9 ± 1,1	6,0 ± 1,1	0,627
VAS в ногах до операции	3,8 ± 1,3	3,9 ± 1,4	4,1 ± 1,2	0,451
ODI до операции	35,7 ± 3,8	36,2 ± 3,4	36,8 ± 3,3	0,293
Nurick до операции	3,1 ± 1,1	3,2 ± 1,1	3,5 ± 1,3	0,096

По результатам оценки основных клинических проявлений первичной патологии на предоперационном этапе в общей когорте пациентов и группах с последующим развитием НМК и отсутствием осложнений, значимых различий выявлено не было.

### 3.4 Анализ факторов риска развития нестабильности металлоконструкции

На этапе первичного анализа когорты пациентов была разделена на 2 группы в зависимости от развития нестабильности МК, кроме того, были исключены случаи ППК. Таким образом, в группу нестабильности МК вошло 74 пациента, в группу без нестабильности МК 176 пациентов. В данных группах было проведено сравнение основных факторов риска развития нестабильности МК со стороны пациентов и хирургического этапа с использованием критерия Пирсона (хи-квадрат) (табл. 26-27).

Таблица 26

Сравнение пациент-ассоциированных факторов в изучаемых группах

Факторы риска	Группа нестабильности МК (n=74)	Группа без нестабильности МК (n=176)	Частота нестабильности МК	Значение p
Возраст	62,1 ± 7,4	60,8 ± 7,2	-	0,112
Пол				
жен	52	112	32%	0,314
муж	22	64	26%	
Остеопороз				
да	49	74	40%	0,015
нет	25	102	20%	
Курение				
да	21	52	29%	0,834
нет	53	124	30%	
ИМТ >25				
да	30	67	31%	0,511
нет	44	109	29%	



Сравнение хирургических факторов в изучаемых группах

Факторы риска	Группа нестабильности МК (n=74)	Группа без нестабильности МК (n=176)	Частота нестабильности МК	Значение p
<b>Тип остеотомии</b>				
SPO	44	112	28%	0,564
PSO / VCR	22	48	31%	
нет	8	16	33%	
<b>Коррекция LL &gt; 30°</b>				
да	51	60	46%	0,004
нет	23	116	17%	
<b>Включение в зону фиксации крестца</b>				
да	41	104	28%	0,219
нет	33	72	31%	

Для определения значимости рентгенологических параметров первично было проведено сравнение средних величин для таких показателей в обеих группах с использованием стандартных методов непараметрической статистики (табл. 28).

Оценка значимости различий между определенными параметрами в таблицах сопряженности с использованием критерия Пирсона позволила нам определить потенциальные факторы риска для развития нестабильности МК.

По результатам данного анализа нами была выявлена статистическая значимость как для определенных факторов, связанных с пациентами, так и для хирургических факторов и некоторых рентгенологических параметров. Так более высокая частота развития нестабильности МК была выявлена у пациентов с остеопорозом (40% - 20%;  $p = 0,015$ ), после коррекции поясничного лордоза более чем на 30° (46% - 17%;  $p = 0,004$ ). Статистическая значимость среди

рентгенологических параметров была выявлена у послеоперационных показателей разницы тазового угла и поясничного лордоза (PI-LL;  $p = 0,042$ ) и величины отклонения сагиттальной вертикальной оси (SVA;  $p = 0,002$ ).

Таблица 28

Сравнение средних величин рентгенологических параметров у пациентов  
изучаемых групп

Факторы риска	Группа нестабильности МК (n=74)	Группа без нестабильности МК (n=176)	Значение p
<b>PI (°)</b>	58,1 ± 6,2	58,7 ± 4,8	0,113
<b>PT (°)</b>			
до операции	26,4 ± 7,6	27,3 ± 8,4	0,144
после операции	20,6 ± 7,3	21,1 ± 6,7	0,342
изменение	5,8 ± 6,9	6,2 ± 7,2	0,412
<b>LL (°)</b>			
до операции	27,1 ± 12,8	28,4 ± 10,2	0,234
после операции	52,5 ± 9,1	54,5 ± 7,8	0,056
изменение	25,4 ± 5,2	26,1 ± 5,4	0,476
<b>PI-LL(°)</b>			
до операции	31 ± 6,2	30,3 ± 8,6	0,328
после операции	5,6 ± 2,6	4,2 ± 2,4	0,042
<b>SVA(мм)</b>			
до операции	86,3 ± 14,1	88,2 ± 18,4	0,061
после операции	56 ± 7,5	43,3 ± 9,6	0,002
изменение	30,3 ± 8,8	44,9 ± 10,6	0,007
<b>PJA(°)</b>			
до операции	9,2 ± 4,3	9,2 ± 4,3	0,739
после операции	9,1 ± 4,4	7,6 ± 2,7	0,114
изменение	1,1 ± 1,3	1,6 ± 2,1	0,533
<b>TK (°)</b>			
до операции	32,1 ± 8,8	31,8 ± 7,9	0,634
после операции	31,4 ± 7,8	33,1 ± 7,1	0,117
изменение	0,7 ± 4,8	1,3 ± 3,4	0,239

Следующим этапом факторы, имеющие статистическую значимость, были включены в регрессионный анализ Кокса, при помощи которого была определена независимая значимость всех переменных, их взаимная корреляция, а также степень влияния на риск развития нестабильности МК (табл. 29–30).

Таблица 29

Оценка степени взаимной корреляции основных переменных (факторов риска) в развитии нестабильности МК

Факторы риска	Остеопороз	SVA	Корр. LL> 30°
SVA	-,071	-	-
Корр. LL> 30°	-,066	-,158	-
PI-LL	,163	-,149	-,041

По результатам данного анализа все переменные слабо коррелированы и, следовательно, могли быть использованы в качестве независимых переменных в регрессии.

Таблица 30

Результаты анализа основных переменных (факторов риска) в развитии нестабильности МК при помощи модели пропорциональных рисков Кокса

Регрессионный анализ Кокса								
Факторы риска	В	Ст. ош.	Вальд	ст.св.	Значимость	Exp (В)	ДИ 95,0% для Exp (В)	
							Нижняя	Верхняя
Остеопороз	,595	,251	5,624	1	,018	1,812	1,109	2,963
SVA	,085	,014	36,458	1	,001	1,088	1,059	1,118
Корр. LL> 30°	,543	,256	4,520	1	,034	1,722	1,043	2,841
PI-LL	,083	,047	3,175	1	,075	1,087	,992	1,191

По результатам проведенного анализа статистически значимое влияние на частоту развития нестабильности МК также было подтверждено у показателей остеопороза ( $p = 0,018$ ), коррекции поясничного лордоза более  $30^\circ$  ( $p = 0,034$ ) и сагиттальной вертикальной оси ( $p = 0,001$ ). При этом, интерпретируя результаты регрессионного анализа Кокса, можно сделать выводы, что вероятность развития нестабильности МК увеличивается в 1,8 раза при наличии остеопороза ( $\text{Exp (B)} = 1,812$ ;  $p = 0,018$ ), а также в 1,7 раза при восстановлении поясничного лордоза более чем на  $30^\circ$  ( $\text{Exp (B)} = 1,722$ ;  $p=0,034$ ). Влияние показателя разницы величины тазового угла и поясничного лордоза (PI-LL) на частоту развития данного осложнения не получило статистически значимого подтверждения в ходе регрессионного анализа ( $p=0,075$ ). Статистически значимое влияние показателя SVA ( $p = 0,001$ ), представленного в регрессионном анализе в абсолютных значениях, определило необходимость дополнительного анализа данного показателя с целью выявления его пороговой значимости. Для определения порогового значения показателя SVA, оказывающего статистически значимое влияние на риск развития нестабильности МК, нами был проведен ROC анализ (рис. 19).

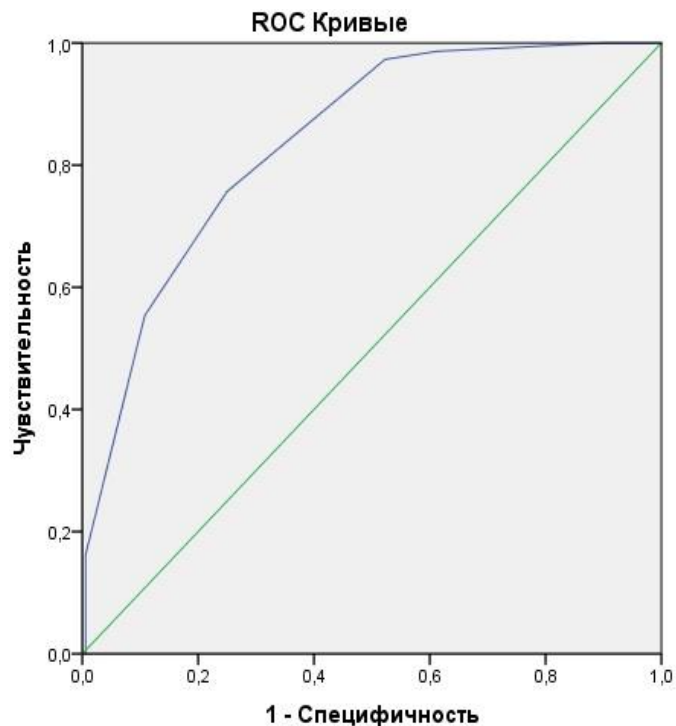


Рисунок 19. ROC кривая параметра SVA

По результатам ROC анализа было подтверждено статистически значимое влияние показателя SVA на риск развития нестабильности МК. Пороговое значение показателя SVA, определенное на основании максимальной чувствительности (75,7%) и специфичности (75%), составило 50 мм (рис. 20).

Координаты кривой		
Переменные результата проверки: SVA_пот		
Верно, если больше или равно <sup>a</sup>	Чувствительность	1 - Специфичность
29,0000	1,000	1,000
32,5000	1,000	,903
37,5000	,986	,614
42,5000	,973	,523
50,0000	,757	,250
57,5000	,554	,108
62,5000	,162	,006
67,5000	,000	,006
71,0000	,000	,000

Рисунок 20. Порог отсечения для параметра SVA

Данный порог отсечения означает, что у 75,7% пациентов с величиной SVA более 50 мм развивается нестабильность МК, при этом доля ложноположительных результатов составляет 25% (100%-75%). Площадь под кривой (AUC) составила 0,839 с 95% доверительным интервалом от 0,789 до 0,889, что соответствует высокой прогностической точности данной модели.

Таким образом, определив пороговое значение данного параметра и сопоставив его с результатами регрессионного анализа Кокса (табл. 30), мы выявили, что при возрастании показателя SVA превышающего 50 мм на 1 мм риск развития нестабильности МК увеличивается в 1,088раза или на 8,8% ( $\text{Exp}(B) = 1,088$ ;  $p=0,001$ ). При увеличении показателя SVA на 1 см риск развития нестабильности МК увеличивается в 2,3 раза ( $1,088^{10} = 2,324$ ).

Следующим этапом для определения степени влияния показателя SVA на риск развития нестабильности МК в регрессионный анализ Кокса была введена

переменная SVA 50мм, характеризующая распределение пациентов в зависимости от величины смещения сагиттальной вертикальной оси ( $<50$  мм или  $\geq 50$  мм) (табл. 31).

Таблица 31

Результаты анализа дополнительной переменной SVA 50 мм при помощи модели пропорциональных рисков Кокса

Регрессионный анализ Кокса								
Фактор риска	В	Ст. ош.	Вальд	Ст.св.	Значимость	Exp (В)	ДИ 95,0% для Exp (В)	
							Нижняя	Верхняя
SVA 50мм	1,191	,238	24,958	1	,001	3,292	2,063	5,253

Таким образом, на основании проведенного многофакторного статистического анализа нами было показано, что смещение сагиттальной вертикальной оси кпереди более чем на 50 мм является статистически значимым фактором риска развития нестабильности МК, увеличивая ее вероятность в 3,3 раза ( $\text{Exp (В)} = 3,292$ ;  $p=0,001$ ).

### 3.5. Обсуждение полученных результатов

Оценка клинико-рентгенологических особенностей патологических изменений в случаях развития проксимального переходного кифоза показала:

1. Более чем у половины пациентов (50,8%) данная патология развилась вследствие перелома смежного позвонка проксимальнее точки окончания фиксации. Менее частым патологическим механизмом развития ППК являлся изолированный перелом позвонка проксимальной точки фиксации (29,5%). Выявленные сочетанные переломы позвонка проксимальной точки фиксации и вышележащего позвонка были причиной ППК в 10,6%. Выраженные дегенеративные изменения смежного вышележащего межпозвонкового диска приводили к формированию ППК в 9,1% случаев.

В результате анализа клинико-рентгенологических особенностей пациентов с ППК нами были выявлены статистически значимые отличия в средних сроках

развития ППК вследствие дегенерации вышележащего м/п диска и переломов позвонков. Так ППК вследствие дегенерации межпозвонкового диска развивался в более поздние сроки, чем ППК вследствие переломов. Кроме того, средние значения показателя PJA у пациентов с ППК вследствие дегенерации межпозвонкового диска были статистически значимо ниже, чем у пациентов с ППК вследствие переломов. Сочетанные переломы позвонка проксимальной точки фиксации и вышележащего позвонка характеризуются значимым увеличением проксимального переходного угла ( $PJA = 42,6^\circ \pm 9,3^\circ$ ) и более ранним развитием данной патологии ( $8,2 \pm 3,2$  мес.).

2. При анализе влияния уровня проксимальной точки фиксации на частоту развития ППК статистически значимых корреляций выявлено не было.

3. Анализ результатов проведенного оперативного лечения пациентов с деформациями поясничного отдела позвоночника показал, что статистически значимое влияние на развитие ППК оказывали сопутствующий остеопороз ( $p = 0,001$ ), коррекция поясничного лордоза более  $30^\circ$  ( $p = 0,036$ ) и послеоперационный проксимальный переходный угол более  $10^\circ$  ( $p = 0,001$ ). При этом, по результатам регрессионного анализа Кокса, можно сделать выводы, что при наличии остеопат-роза вероятность развития ППК увеличивается в 2,5 раза ( $\text{Exp (B)} = 2,532$ ;  $p = 0,001$ ), а при восстановлении поясничного лордоза более чем на  $30^\circ$  в 1,5 раза ( $\text{Exp (B)} = 1,475$ ;  $p=0,036$ ). Кроме того, по результатам проведенного анализа нами было показано, что проксимальный переходный угол с величиной равной и более  $10^\circ$  является статистически значимым фактором риска развития ППК, увеличивая вероятность его появления в 3,5 раза ( $\text{Exp (B)} = 3,487$ ;  $p=0,001$ ). Также нами была выявлена прямая корреляция увеличения проксимального переходного угла и час-таты развития ППК. Так с увеличением данного показателя на  $1^\circ$  риск развития ППК возрастает в 1,258 раза или на 25,8% ( $\text{Exp (B)} = 1,258$ ;  $p=0,001$ ). Кроме того, мы отметили статистически значимую зависимость увеличения показателя PJA от выраженной коррекции поясничного лордоза. Так частота достоверного увеличения проксимального переходного угла составила 63% в случаях восстановления поясничного лордоза более чем на  $30^\circ$ .

4. Изучая клинико-рентгенологические особенности нестабильности МК, нами было выявлено, что средние сроки появления клинической симптоматики соответствуют срокам появления рентгенологических признаков в случаях развития нестабильности МК по типу миграции ( $p = 0,633$ ) и статистически значимо превышают данные сроки в случаях остеолита вокруг винтов ( $p = 0,031$ ).

5. Результатом проведенного многофакторного анализа стало определение факторов риска развития нестабильности МК. Исключив из основной когорты пациентов с ППК, нами были определены статистически значимые факторы, оказывающие независимое влияние на развитие нестабильности МК. К таким факторам были отнесены остеопороз ( $p = 0,018$ ), коррекция поясничного лордоза более  $30^\circ$  ( $p = 0,034$ ) и отклонение сагиттальной вертикальной оси кпереди более 5 см ( $p = 0,001$ ).

Определяя степень влияния данных параметров на частоту развития нестабильности МК, нами было выявлено, что вероятность развития нестабильности МК увеличивается в 1,8 раза при наличии остеопороза ( $\text{Exp (B)} = 1,812$ ;  $p = 0,018$ ), а также в 1,7 раза при восстановлении поясничного лордоза более чем на  $30^\circ$  ( $\text{Exp (B)} = 1,722$ ;  $p=0,034$ ). Также нами было показано, что смещение сагиттальной вертикальной оси кпереди более чем на 50 мм является статистически значимым фактором риска развития нестабильности МК, увеличивая вероятность ее развития в 3,3 раза ( $\text{Exp (B)} = 3,292$ ;  $p=0,001$ ).

Кроме того, определив пороговое значение параметра SVA и сопоставив его с результатами регрессионного анализа Кокса, мы выявили, что при возрастании сагиттального дисбаланса относительно SVA, превышающего 50 мм на 1 мм, риск развития нестабильности МК увеличивается в 1,088 раза или на 8,8% ( $\text{Exp (B)} = 1,088$ ;  $p=0,001$ ). Т.е. при увеличении показателя SVA на 1 см риск развития нестабильности МК увеличивается в 2,3 раза ( $1,088^{10} = 2,324$ ).

Таким образом, статистическая значимость в развитии обеих групп изучаемых осложнений была выявлена нами в случаях наличия сопутствующего остеопороза или гиперкоррекции поясничного лордоза. Кроме того, наибольшая



степень влияния на развитие ППК была определена у показателя PJA с величиной более  $10^\circ$  (Exp (B) = 3,487; p=0,001), а в случаях нестабильности МК у показателя SVA со смещением кпереди более чем на 5 см (Exp (B) = 3,292; p=0,001).

Результаты проведенного исследования свидетельствуют о необходимости на этапе предоперационного планирования определения основных показателей сагиттального профиля и позвоночно-тазовых взаимоотношений, а также обязательного контроля минеральной плотности костной ткани.

### **3.6. Усовершенствование диагностической программы у пациентов с дегенеративным сколиозом**

В предыдущих разделах были подробно описаны методы диагностики, применяемые у пациентов с дегенеративными сколиозами, их эффективность и чувствительность. На основании углубленного статистического анализа выделены рентгенологические параметры существенно влияющие на формирование тактики и конечный результат лечения пациентов в целом и, особенно, на профилактику таких грозных осложнений как проксимальный переходный кифоз и нестабильность металлоконструкции.

Данные анализа современных литературных источников и собственные исследования показали, что такими параметрами являются традиционно учитываемые рентгенологические значения величины PT, PI, LL, SVA, деформация во фронтальной плоскости (угол по Cobb), а также, выявленная впервые как значимая, величина PJA. Кроме того, полученные данные указывают на строгую необходимость изучения минеральной плотности кости (DEXA). К другим важным, не лучевым методам диагностики, следует отнести МРТ для определения не только состояния позвоночного канала, стеноза и т.д., но и для оценки межпозвонковых дисков и суставов в зоне проксимальнее предполагаемой фиксации.

Таким образом, диагностическую программу для принятия решения о способе операции можно разделить на две части: 1) изучение состояния глобального сагиттального баланса; 2) локальная диагностика состояния

сегментов позвоночника в зоне клинических проявлений и предполагаемого вмешательства. Данная программа в виде алгоритма представлена на рисунке (рис. 21).

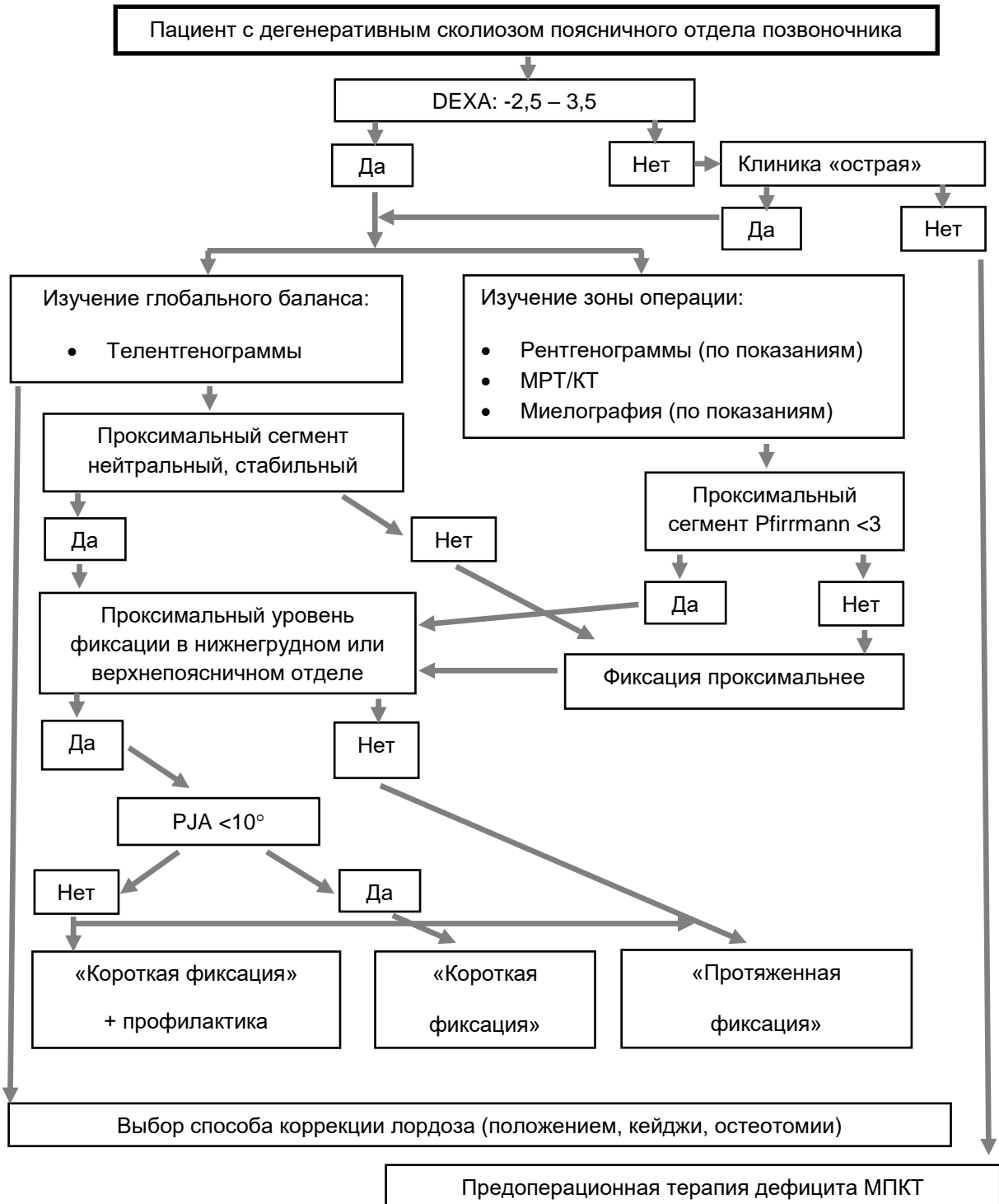


Рис. 21. Алгоритм диагностики и принятия решения о виде операции у пациентов с дегенеративным сколиозом

После клинически детерминированной зоны интереса необходимо выполнить телерентгенограммы в прямой и боковой проекциях для изучения обозначенных выше показателей глобального баланса туловища и КТ, МРТ для локальной оценки сегментов позвоночника в зоне предполагаемой фиксации. Для определения степени мобильности деформации, оценки необходимости и выбора уровня и варианта остеотомии требуется выполнение функциональных рентгенограмм в положениях боковых наклонов или на фоне тракции позвоночника. Кроме того, если качество телерентгенограмм не позволяет оценить локально деформацию (например, у пациентов с ожирением) следует выполнить прицельные снимки заинтересованного сегмента.

Анализ полученных данных позволит принять решение об объеме декомпрессии невральных структур, выбрать оптимальную стратегию коррекции деформации (коррекция положением на столе, необходимость межтеловых кейджей и их локализацию, при наличии показаний - варианты остеотомии), а также определить уровни спондилодеза. Последний аспект является наиболее важным, так как от него зависит количество сегментов, выключенных из функции (а, следовательно, перераспределение нагрузок с риском перегрузки смежных сегментов), профилактика как PJK, так и PJF. Например, если для ликвидации стеноза и коррекции деформации необходимо зафиксировать минимально несколько сегментов, но межпозвонковый диск или суставы вышележащего сегмента находятся в плохом состоянии (дегенеративные изменения 3-й и выше стадии по Pfirman), то следует этот сегмент включить в зону фиксации. Если PJA при выборе проксимального уровня фиксации оказался более  $10^\circ$ , то так же необходимо принимать решение о продлении фиксации.

Кроме того, на выбор проксимального фиксированного позвонка влияют общие законы биомеханики фиксации. Это должен быть стабильный нейтральный позвонок без патологической ротации.

Эти же правила гласят, что если в результате анализа предполагаемый проксимальный уровень «короткой» фиксации достигает вершины дуги грудного кифоза, то следует подумать либо о профилактических мероприятиях,

рассматриваемых в данном исследовании, либо продлить спондилодез до верхнегрудного отдела и выполнить «протяженную» фиксацию.

## ГЛАВА 4

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ  
ПРОФИЛАКТИЧЕСКОЙ ВЕРТЕБРОПЛАСТИКИ И ЛАМИНАРНОЙ  
ФИКСАЦИИ ВЫШЕЛЕЖАЩЕГО ПОЗВОНКА С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ  
ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ РАЗВИТИЯ ПРОКСИМАЛЬНЫХ ПЕРЕХОДНЫХ  
КИФОЗОВ**

#### **4.1. Анализ материала экспериментальной части исследования**

Для проведения эксперимента мы использовали блоки из не фиксированного кадаверного материала, полученные при секционном исследовании 15 пациентов женского пола в возрасте 66–81 лет, скончавшихся от различных соматических заболеваний. Причины смерти не оказывали влияния на структуру тканей позвоночника. Изъятие блоков позвоночных сегментов проводили в морге кафедры судебной медицины Краснодарского государственного медицинского университета в сроки до 48 часов после смерти, в соответствии с требованиями подготовки тканей экспериментальных животных и человека для биомеханических исследований (Сикилинда В.Д. с соавт., 2002). Проводилось изъятие блоков протяженностью от Th<sub>10</sub> до L<sub>4</sub> (7 позвонков). При этом обязательным условием было сохранение в целостности позвонков с межпозвонковыми дисками, а также капсульно-связочного аппарата. Паравертебральные мышцы отсекали и полностью удаляли.

Всем блокам после их изъятия и обработки было проведено обследование: рентгеновские снимки в двух взаимно-перпендикулярных проекциях, а также компьютерная томография с денситометрией. КТ и КТ-денситометрию блоков проводили на 128-срезовом компьютерном томографе «СТ SOMATOMSENSATION 24 OPEN».

Критериями включения в исследование были:

- отсутствие выраженных фронтальных или сагиттальных деформаций, отсутствие деструктивных изменений позвоночника, отсутствие признаков

анкилозирующего спондилоартрита, а также наличие рентгенологических и денситометрических признаков остеопороза (Т-критерий ниже чем  $-2,5$ ).

Причем, с учетом задачи эксперимента, блоки распределялись в изучаемые группы таким образом, чтобы по данному критерию в них не было бы достоверных различий.

#### **4.2. Методика выполнения экспериментальной части исследования**

С целью создания большего напряжения на элементы металлоимплантата, фиксированные позвонки и смежные с ними сегменты, во всех блоках была проведена имитация нестабильного перелома  $L_1$  типа А (по классификации АО/ASIF 1996 года) с разрушением до 45%-60% костного массива тела позвонка в его краниальной части. Это достигали путем резекции верхне-передней части тела  $L_1$  с межпозвоночным диском  $Th_{12}-L_1$ . Выбор  $L_1$  был не случайным, так как чаще всего протяженная фиксация позвоночника при дегенеративных сколиозах заканчивается на уровне  $Th_{10}-Th_{12}$  и именно в этой зоне происходят изучаемые осложнения со стороны смежных сегментов. Так же материалы данного эксперимента были использованы для параллельного научного исследования, посвященному травме позвоночника. И по статистике известно, что чаще всего повреждается именно этот позвонок (Lehman R. Jr., Eckel T. et al., 2009).

После повреждения  $L_1$  на всех блоках имплантировали 4-х винтовую транспедикулярную систему  $Th_{12}-L_2$  с цементным укреплением винтов. Цементная фиксация выполнялась с целью обеспечения максимальной стабильности имплантата и исключения возможности вырывания винтов на фоне снижения минеральной плотности кости в изучаемых блоках, чтобы сфокусировать внимание именно на поведении смежных сегментов. Количество вводимого костного цемента для укрепления винтов составляло 7-8 мл на каждый позвонок. Корректность положения винтов контролировали во время имплантации С-дугой с электронно-оптическим преобразователем «Siemens Arcadis», и после завершения фиксации - на стационарном рентген-аппарате «Philips Duo Diagnost». Таким образом, в каждом блоке анатомических

препаратов по два позвонка выше и ниже транспедикулярной системы оставались интактными.

Таким образом нами было сформировано три группы блоков.

Группа 1 - контрольная – блоки с имитированным переломом  $L_1$ , имплантированной системой транспедикулярной фиксации (ТПФ) 4-х винтовой системой  $Th_{12}$ - $L_2$  на прямых штангах с цементным укреплением винтов. По два позвонка выше и ниже фиксированных ПДС интактны.

Группа 2 – блоки аналогичные группе 1, но с ламинарной двусторонней фиксацией системой «Universal Clamp» за дугу вышележащего позвонка ( $Th_{11}$ ).

Группа 3 – блоки, также аналогичные группе 1, но с дополнительной вертебропластикой тел  $Th_{11}$  и  $L_3$ . Вертебропластику выполняли стандартным транспедикулярным способом с введением 7-8 мл костного цемента в каждый позвонок через 2 иглы 13G с двух сторон. Указанный объем цемента примерно составляет 25% объема тела позвонка. Степень заполнения позвонка контролировалась рентгенологически.

Подготовленные таким образом анатомические блоки позвоночных сегментов основной и контрольной групп подвергли тестирующему вертикально направленному механическому воздействию для определения их общей прочности. Нагрузочные тесты проводили в испытательной лаборатории ГУН ЦИТО им. Н.Н. Приорова (Москва) на универсальной серво-гидравлической испытательной машине «Walter+bayag» LFV-10-T50 (Швейцария).

Исследуемые блоки позвоночных сегментов закрепляли в специальных платформах, между сближаемыми траверсами испытательной машины. Проксимальный узел платформы, фиксирующей краниальный позвонок тестируемого препарата, закрепляли на датчике сжатия, который был жёстко связан с подвижной траверсой испытательной машины. Дистальный узел платформы, фиксирующей каудальный позвонок тестируемого препарата, закрепляли в трехкулачковом захвате, который фиксировали на оси мотора, жёстко закреплённого на неподвижной траверсе. Расстояние между траверсами предварительно устанавливали в соответствии с вертикальными размерами

тестируемых препаратов (рису. 22). Перед началом испытаний устанавливали нулевое положение датчика. Машина включалась в режим сжатия. После этого давали нарастающую вертикально направленную тестирующую нагрузку со скоростью сближения траверс 5мм/мин. Сжатие блоков проводили с усилием от 0 до 3-5 кН.

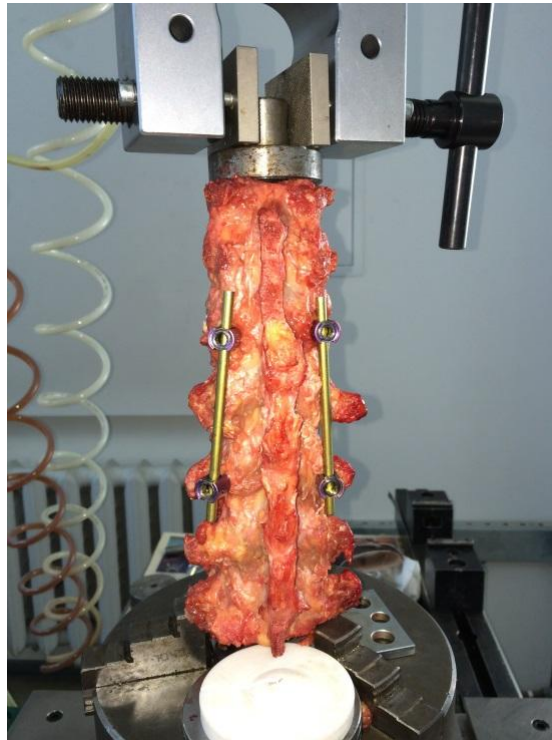


Рис. 22. Закрепленный анатомический блок позвоночных сегментов перед проведением нагрузочного тестирования

Под действием возрастающей нагрузки при визуальном наблюдении первоначально отмечали появление незначительной кифотической деформации краниальнее уровня ТПФ. Далее происходило этапное разрушение тестируемых блоков, сопровождающееся характерным звуком и дальнейшим нарастанием деформации без пропорционального увеличения нагрузки. Полученные данные обрабатывались на вычислительном блоке универсальной испытательной машины. Запись параметров измерения деформации тестируемых препаратов в



зависимости от прилагаемой нагрузки осуществлялась в виде диаграмм в координатах «вертикальная нагрузка (N) – компрессионная деформация (мм)».

Во время тестов определяли силу вертикального воздействия на подготовленные анатомические блоки позвоночных сегментов, вызывающую первоначальные локальные разрушения (переломы), которые отображались на диаграммах в виде «колебаний» графической линии зависимости деформации сжатия от прилагаемой нагрузки. Именно эти параметры характеризуют общую прочность исследуемых анатомических блоков позвоночных сегментов. Угловые деформации исследуемых позвоночных сегментов, возникающие под действием вертикально направленной нагрузки, регистрировали цифровой фото и видеосъёмкой. По полученным диаграммам составлялись таблицы зависимости деформации тестируемых препаратов от прилагаемой нагрузки для последующего анализа. Дискретность нагрузки в таблицах составляла 20 N. Количественные характеристики результатов проведённых экспериментов подвергались статистической обработке с определением стандартной ошибки средних значений.

После завершения нагрузочного тестирования все блоки подвергались контрольному рентгенологическому и КТ исследованию для визуализации переломов. Контролировали состояние транспедикулярной системы для выявления признаков ее дестабилизации. Выполняли поиск зон локальных разрушений (переломов) в костных массивах позвонков с имплантированными винтами, а также расположенных краниально и каудально от ПДС, зафиксированных транспедикулярными системами. Данные лучевого исследования сопоставлялись с графическими диаграммами, отображающими перелом.

### 4.3. Результаты, полученные в ходе экспериментальной части исследования

Рентгенография и компьютерная томография блоков позвоночных сегментов ни в одном из 15 исследуемых анатомических препаратов всех групп не выявили признаков дестабилизации транспедикулярных винтов, имплантированных в тела Th<sub>12</sub> и L<sub>2</sub> позвонков с использованием костного цемента. Кроме того, ни в одном случае не были диагностированы переломы позвонков, в которые были имплантированы винты с костным цементом. Также не отмечено ни одного случая перелома составляющих транспедикулярной системы (винт, балка) или разблокирования ее элементов.

В группе 1 (контрольной) блоков позвоночных сегментов (без методов профилактики уровней, смежных с фиксированными ПДС транспедикулярной системой) первые графические колебания, соответствующие возникновению перелома, были выявлены в диапазоне 0,78-0,94 (в среднем  $0,86 \pm 0,13784$ ) кN (рис. 23). Дальнейшее увеличение нагрузки на испытательной машине приводило к грубому разрушению анатомических препаратов и появлению визуально наблюдаемой кифотической деформации. Графические признаки тяжелой компрессии позвонков отмечены в пределах 1,24-1,6 (в среднем  $1,426 \pm 0,292438$ ) кN.

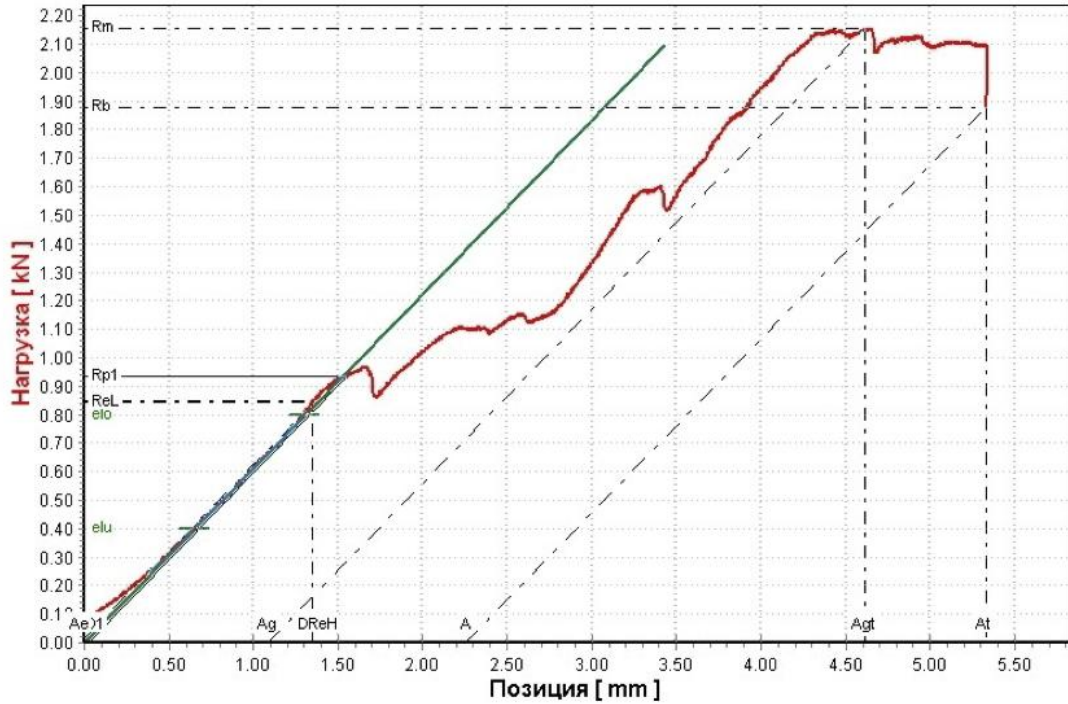


Рис. 23. График зависимости деформации тестируемого блока позвоночных сегментов контрольной группы от прилагаемой вертикальной нагрузки

Рентгенологическое обследование анатомических препаратов после проведенного эксперимента выявило перелом вышележащего над транспедикулярной системой позвонка ( $Th_{11}$ ) во всех блоках контрольной группы. Остальные позвонки в блоках оставались интактными. Рентгенологических признаков перелома в них не обнаружено.

На рисунке 24 представлены рентгенограммы до и после проведения испытаний в анатомическом препарате контрольной группы без методов профилактики перелома позвонка, вблизи транспедикулярной системы.

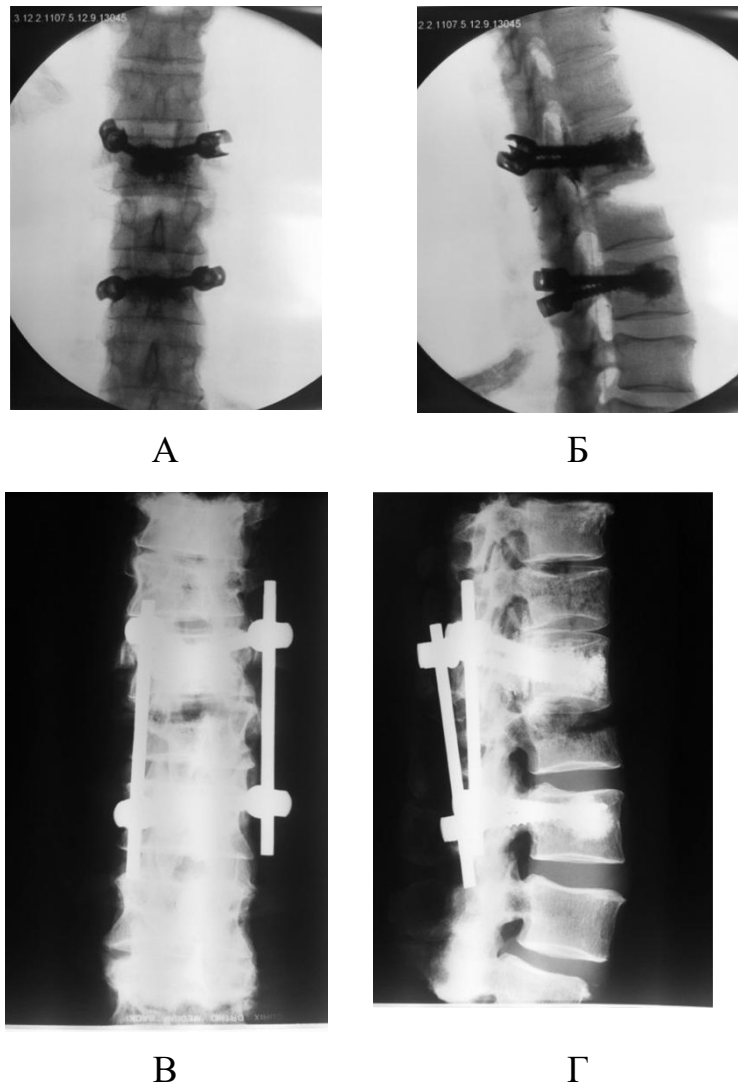


Рис. 24. Рентгенограммы блока позвоночных сегментов контрольной группы: А, Б – рентгенограммы блока позвоночных сегментов контрольной группы перед проведением нагрузочного тестирования. Цементная имплантация винтов в Th<sub>12</sub> и L<sub>2</sub>, резецирована краниальная часть тела L<sub>1</sub> с вышележащим диском. В, Г – рентгенограммы того же блока позвоночных сегментов контрольной группы после проведения нагрузочного тестирования. Диагностирован перелом тела Th<sub>11</sub> в виде потери вертикального размера тела и наличия линий перелома в боковой проекции (г) и снижения вертикального размера тела позвонка по левой стороне в прямой проекции (в)

В группе 2 с двусторонней ламинарной фиксацией системой «Universal Clamp» за дугу вышележащего позвонка (Th<sub>11</sub>) над транспедикулярной системой в экспериментах с анатомическими блоками позвоночных сегментов при соблюдении аналогичной методики нагрузочного тестирования были получены данные, отличающиеся от контрольной группы. Первые графические колебания,

соответствующие появлению перелома выявлены в диапазоне 0,96-1,48 (в среднем  $1,21 \pm 0,385227$ ) kN. Признаки более грубого разрушения позвонка были выявлены в пределах 2,06-2,61 (в среднем  $2,44 \pm 0,69685$ ) kN.

На рисунке 25 представлен график, отображающий появление переломов в анатомическом препарате данной группы в зависимости от прилагаемой вертикальной нагрузки.

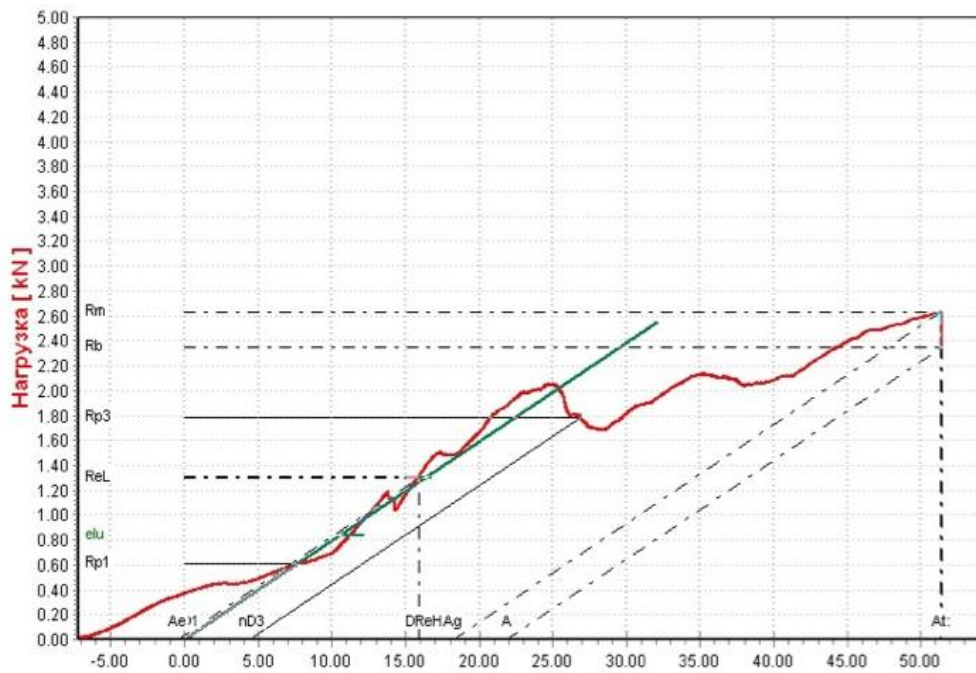


Рисунок 25. График зависимости деформации тестируемого блока позвоночных сегментов группы 2 с ламинарной ленточной фиксацией от прилагаемой вертикальной нагрузки

Анализ графика указывает на то, что при постепенном нарастании нагрузки до величины 1,20 kN не приводит к возникновению каких-либо колебаний. При достижении уровня нагрузки величиной в 1,20 kN отмечается первое графическое колебание, соответствующее возникновению первого микроперелома в теле позвонка в пределах 1,20-1,01 kN. После продолжения усиления нагрузки отмечается еще одно незначительное колебание в пределах 1,51-1,42 kN. Более серьезный графический провал выявлен на уровне 2,06 kN. Резкое падение

сопротивления (2,06-1,70 kN) указывает на более глубокое разрушение трабекул позвонка. Аналогичная ситуация отмечена в каждом блоке этой группы.

Рентгенологическое исследование и постэкспериментальная компьютерная томография выявили переломы в вышележащих над металлоконструкцией позвонках (Th<sub>10</sub> и Th<sub>11</sub>). В двух случаях диагностирован перелом в теле Th<sub>10</sub>, в одном случае в теле Th<sub>11</sub>, и еще в двух случаях в обоих позвонках. При этом наибольшие разрушения наблюдались в позвонке, находящимся в непосредственной близости к металлоконструкции (Th<sub>11</sub>). На рисунке 26 представлены рентгенограммы и данные КТ до и после проведения эксперимента на анатомическом препарате из группы с профилактической ламинарной фиксацией за дугу вышележащего позвонка Th<sub>11</sub>.

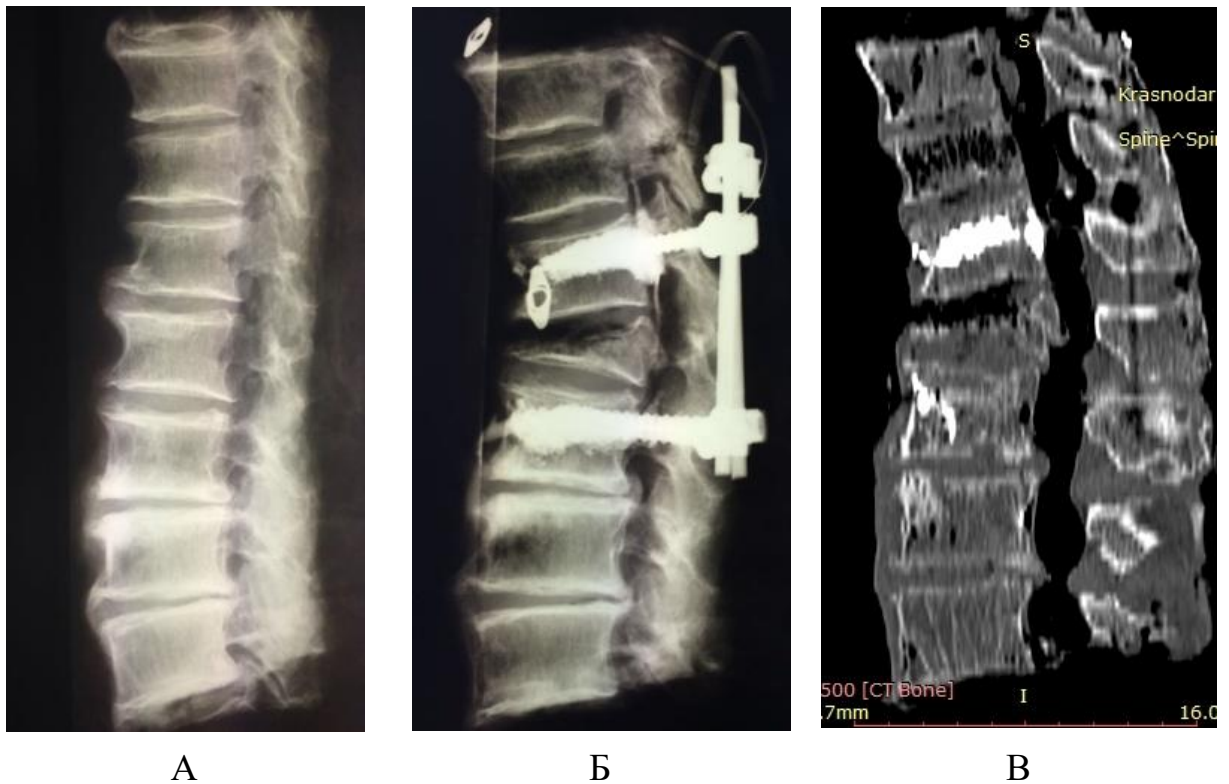


Рисунок 26. Рентгенограммы блока позвоночных сегментов группы 2 с профилактической ламинарной фиксацией Th<sub>11</sub>: А – рентгенограмма исходного анатомического препарата; Б – рентгенограмма того же анатомического препарата после проведения эксперимента; В – сагиттальная реконструкция КТ после проведения эксперимента

В группе 3 в экспериментах с анатомическими блоками позвоночных сегментов с вертебропластикой тел Th<sub>11</sub> и L<sub>3</sub> при соблюдении аналогичной методики нагрузочного тестирования были получены данные, существенно отличающиеся от обеих предыдущих групп. Первые графические колебания, соответствующие появлению перелома выявлены в диапазоне 1,78-2,05 (в среднем  $1,898 \pm 0,222441$ ) кН. Признаки более грубого разрушения позвонка были выявлены в пределах 2,12-2,78 (в среднем  $2,522 \pm 0,528848$ ) кН.

На рисунке 27 представлен график зависимости деформации тестируемого блока позвоночных сегментов основной группы от прилагаемой вертикальной нагрузки, отображающий возникновение перелома Th<sub>10</sub> позвонка (над позвонком с вертебропластикой).

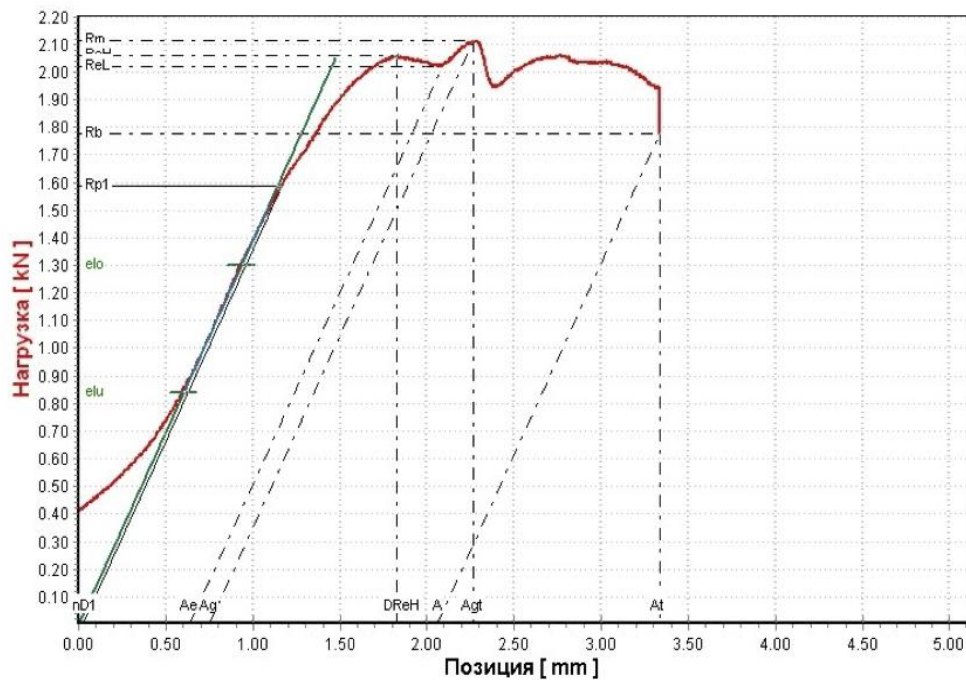
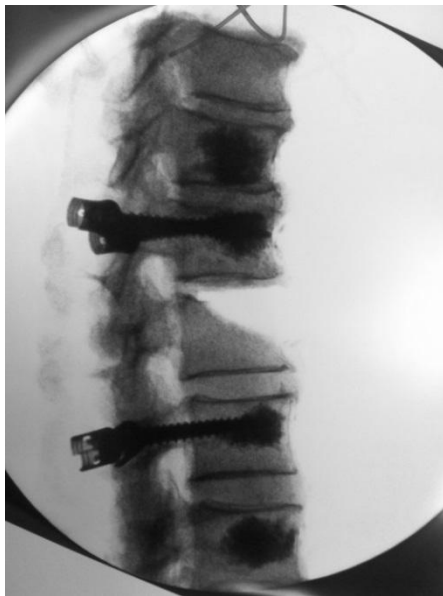


Рисунок 27. График зависимости деформации тестируемого блока позвоночных сегментов группы 3 с профилактической вертебропластикой от прилагаемой вертикальной нагрузки

Представленный график показывает, что постепенное нарастание нагрузки до величины 2,05 кН не приводит к возникновению каких-либо колебаний. Только после достижения уровня нагрузки величиной в 2,05 кН отмечается первое графическое колебание, соответствующее возникновению первого



микрорелом в теле позвонка 2,05-2,02 kN. А вскоре за этим после незначительного усиления нагрузки отмечается более серьезный графический провал – 2,14-1,94 kN. Дальнейшее нарастание нагрузки показывает более глубокое разрушение трабекул позвонка. При последующем рентгенологическом исследовании установлено, что смежные с транспедикулярной системой позвонки Th<sub>11</sub> и L<sub>3</sub>, в которых была выполнена вертебропластика, оказались устойчивыми к тестирующим механическим нагрузкам. Ни в одном случае в указанных позвонках не выявлено возникновения переломов. Но во всех пяти блоках основной группы диагностированы переломы проксимального позвонка Th<sub>10</sub>, расположенного над позвонком с вертебропластикой Th<sub>11</sub>. На рисунке 28 представлены рентгенограммы до и после проведения эксперимента в анатомическом препарате основной группы с вертебропластикой тел позвонков, смежных с уровнем ТПФ.



А



Б

Рисунок 28. Рентгенограммы блока позвоночных сегментов основной группы (с вертебропластикой тел позвонков Th<sub>11</sub> и L<sub>3</sub>, смежных с фиксированными ПДС): А – рентгенограмма анатомического препарата с вертебропластикой Th<sub>11</sub> и L<sub>3</sub> до начала нагрузочного тестирования; Б – рентгенограмма того же анатомического препарата основной группы с вертебропластикой Th<sub>11</sub> и L<sub>3</sub> после эксперимента. Позвонок Th<sub>11</sub> (с вертебропластикой) устойчив к воздействию нагрузок. Выявлен перелом краниального позвонка Th<sub>10</sub> над позвонком с вертебропластикой



Выявленные в ходе проведения эксперимента данные, характеризующие нагрузки, провоцирующие возникновение переломов позвонков смежных ПДС во всех группах с указанием повреждаемого позвонка приведены в таблице 32.

Таблица 32

Характеристика находившихся в исследовании анатомических препаратов в зависимости от принадлежности к группам и показатели приложенной силы для возникновения перелома позвонка

Характеристика групп	Материал исследования	Пол, возраст	T-критерий	Первые признаки перелома	Грубое разрушение	Повреждаемый позвонок
Группа 1 (без профилактической ветребропластики)	Блок 1	Ж. 66 л.	2.47	0,87	1,52	Th <sub>11</sub>
	Блок 2	Ж., 71 г.	2.87	0,94	1,6	Th <sub>11</sub>
	Блок 3	Ж., 75 л.	3,48	0,91	1,45	Th <sub>11</sub>
	Блок 4	Ж., 68 л.	2.49	0,8	1,32	Th <sub>11</sub>
	Блок 5	Ж., 80 л.	3,40	0,78	1,24	Th <sub>11</sub>
	Средняя	0,86 ± 0,13784 кН			1.426 ± 0,292438 кН	
Группа 2 (с ламинарной фиксацией «Universal Clamp»)	Блок 1	Ж. 66 л.	3,42	1,12	2,61	Th <sub>10</sub>
	Блок 2	Ж., 71 г.	3,89	1,21	2,06	Th <sub>10</sub>
	Блок 3	Ж., 65 л.	2,39	1,28	2,95	Th <sub>10, 11</sub>
	Блок 4	Ж., 75 л.	3,62	0,96	2,23	Th <sub>10, 11</sub>
	Блок 5	Ж., 69 л.	3,51	1,48	2,35	Th <sub>10</sub>
	Средняя	1,21 ± 0,385227 кН			2,44 ± 0,69685 кН	
Группа 3 (с профилактической ветребропластикой)	Блок 1	Ж., 78 л.	2.51	1,78	2,12	Th <sub>10</sub>
	Блок 2	Ж., 81 г.	2.39	1,91	2,46	Th <sub>10</sub>
	Блок 3	Ж., 79 л.	3.89	1,8	2,51	Th <sub>10</sub>
	Блок 4	Ж., 67 л.	3.36	2,05	2,78	Th <sub>10</sub>
	Блок 5	Ж., 63 г.	2.67	1,95	2,74	Th <sub>10</sub>
	Средняя	1,898 ± 0,222441 кН			2,522 ± 0,528848 кН	

#### 4.4. Оценка и обсуждение результатов, полученных в ходе экспериментальной части исследования

Анализ полученных данных позволяет заключить, что постепенное нарастание вертикально направленной нагрузки на анатомические блоки позвоночных сегментов контрольной группы первоначально приводит к появлению незначительной кифотической деформации преимущественно за счет компрессии диска Th<sub>11</sub>-Th<sub>12</sub>. При этом ventральные отделы Th<sub>11</sub> оказываются в биомеханически наиболее невыгодных условиях по отношению к дальнейшему увеличению вертикально направленного усилия. В результате чего при достижении относительно небольшой величины 0,78-0,94 kN происходит локальное разрушение в ventральной части костного массива тел Th<sub>11</sub> (микрореломы). Дальнейшее увеличение нагрузки приводит к более грубому разрушению трабекул тела этого позвонка, что на диаграмме отображается в виде еще нескольких «провалов», характеризующих продолжающиеся процессы переломов, которые прогрессируют и вызывают выраженную кифотическую деформацию, что на рентгенограмме определяется как компрессионный перелом с потерей высоты тела. Таким образом, эксперименты с блоками позвоночных сегментов контрольной группы показали, что по отношению к вертикальной нагрузке наиболее слабым местом является ventральные отделы тела Th<sub>11</sub>, находящегося непосредственно над транспедикулярной системой.

В случае использования ламинарных фиксаторов за дуги вышележащего позвонка на этом уровне формируется пограничная зона между фиксированным ригидной металлоконструкцией отделом позвоночника и свободно подвижной вышележащей зоной нефиксированного позвоночника. Образовавшаяся буферная зона на уровне ламинарной фиксации с одной стороны делает предохраняемый уровень полуригидным, а с другой стороны уменьшает прямую нагрузку на вышележащий позвонок над металлоконструкцией. Оба этих фактора приводят к более значительной устойчивости смежного с транспедикулярной системой позвонка. В итоге, первые графические признаки перелома в этой группе были

выявлены в пределах 0,96-1,48, что в 1,2-1,6 раз превышает аналогичные параметры контрольной группы. Таким образом, использование ленточной ламинарной фиксации можно можно рассматривать как способ профилактики перелома позвонка над транспедикулярной системой.

В экспериментах с блоками позвоночных сегментов группы 3 с профилактической вертебропластикой при аналогичных нагрузках переломы в телах Th<sub>11</sub>, в которые был введён костный цемент, не происходили. Блоки выдерживали усилия до 1,78-2,05 kN, что в 1,7-2,3 раза превышающих аналогичные параметры контрольной группы. При этом происходили переломы в нецементированных телах Th<sub>10</sub>, т.е. над позвонками с вертебропластикой – Th<sub>11</sub> (СВП+1). Таким образом, вертебропластика вышележащего от уровня ТПФ позвонка Th<sub>11</sub> является самым эффективным способом предупреждения его перелома и может рассматриваться как профилактическая по отношению к возникновению стресс-перелома и проксимального кифоза над фиксированными ПДС (рисунок 29).

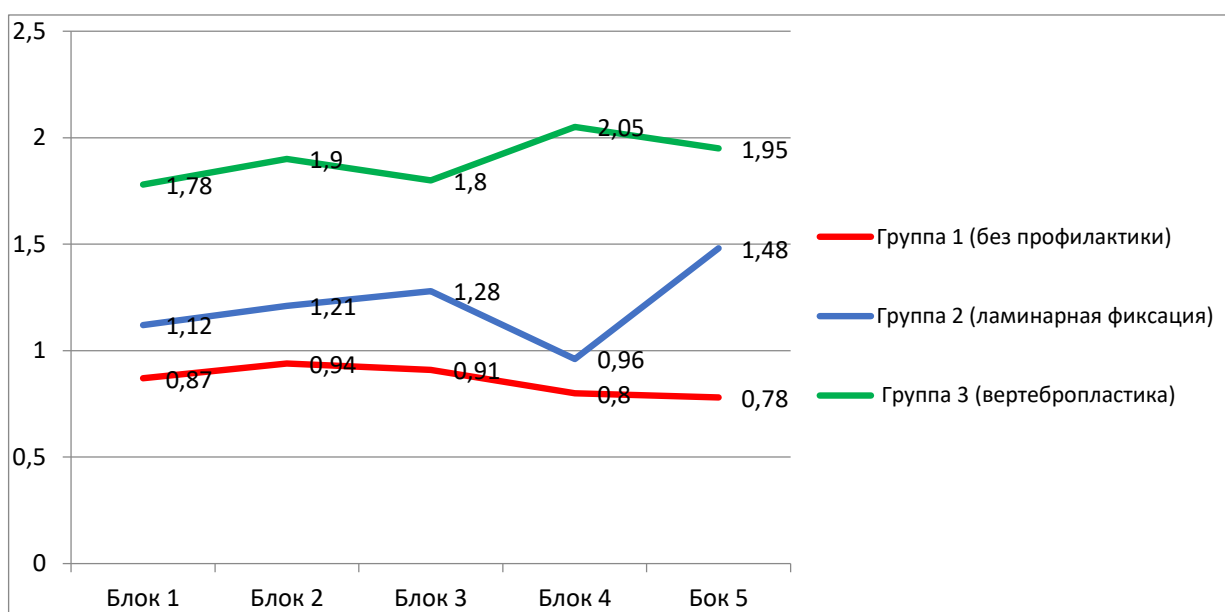


Рисунок 29. Сравнительная характеристика показателей возникновения микропереломов (по первым графическим колебаниям) исследуемых анатомических блоков основной и контрольных групп

Однако переломы вышележащих позвонков (над позвонками с вертебропластикой) являются своеобразной «ахиллесовой пятой» в рекомендации данного способа к клиническому применению методики профилактики ППК. Хотя стоит отметить, что эти переломы происходили при усилиях, превышающих аналогичные в первой и второй группах ( $1,898 \pm 0,222441$ , против  $0,86 \pm 0,13784$  и  $1,21 \pm 0,385227$  кN соответственно).

Анализ графических данных, отображающих возникновение глубокого разрушения тел позвонков с появлением рентгенологически определяемого компрессионного перелома показывает, что возникновение указанных изменений группе 1 (нативная фиксация без методов профилактики) отмечаются в диапазоне 1,24 – 1,6 (в среднем  $1,426 \pm 0,292438$ ) кN, в группе 2 (с ламинарной фиксацией) – 2,06-2,95 (в среднем  $2,44 \pm 0,69685$ ) кN, а в группе 3 (с профилактической вертебропластикой) – 2,12-2,88 (в среднем  $2,522 \pm 0,528848$ ) кN (рисунок 30).

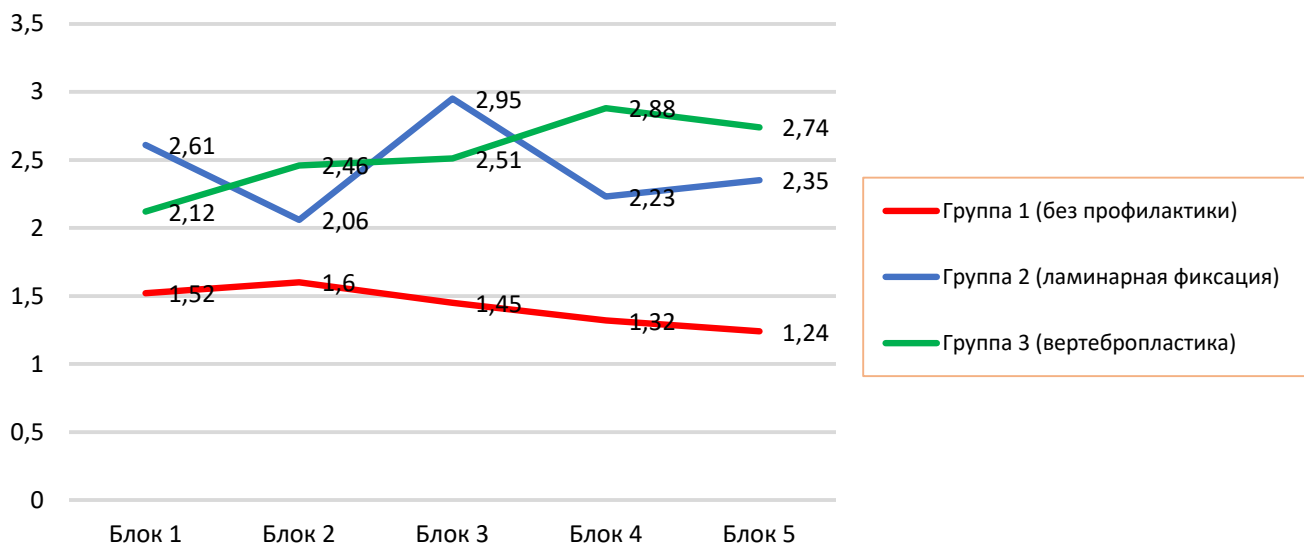


Рисунок 30. Сравнительная характеристика показателей общей прочности исследуемых анатомических блоков позвоночных сегментов основной и контрольных групп по отношению к вертикально направленным механическим воздействиям (глубокое разрушение позвонков)

Таким образом, выявлено, что возникновение рентген-негативных микропереломов, в телах вышележащих от металлоконструкции позвонков в

группе анатомических блоков с ламинарной фиксацией возникает раньше, чем в группе блоков с использованием профилактической вертебропластики (1,21 против 1,89 kN). Однако, глубокое разрушение тел изучаемых позвонков возникает на сопоставимых показателях как при использовании ламинарной фиксации, так и при использовании профилактической вертебропластики (2,44 против 2,52 kN). Ламинарная фиксация повышает устойчивость к возникновению перелома в сравнении с нативной группой (группа №1) на 71%, а профилактическая вертебропластика на 77%.

Ни в одном случае испытаний анатомических препаратов не было выявлено перелома нижележащего позвонка вне зависимости от наличия или отсутствия вертебропластики (рис. 31).

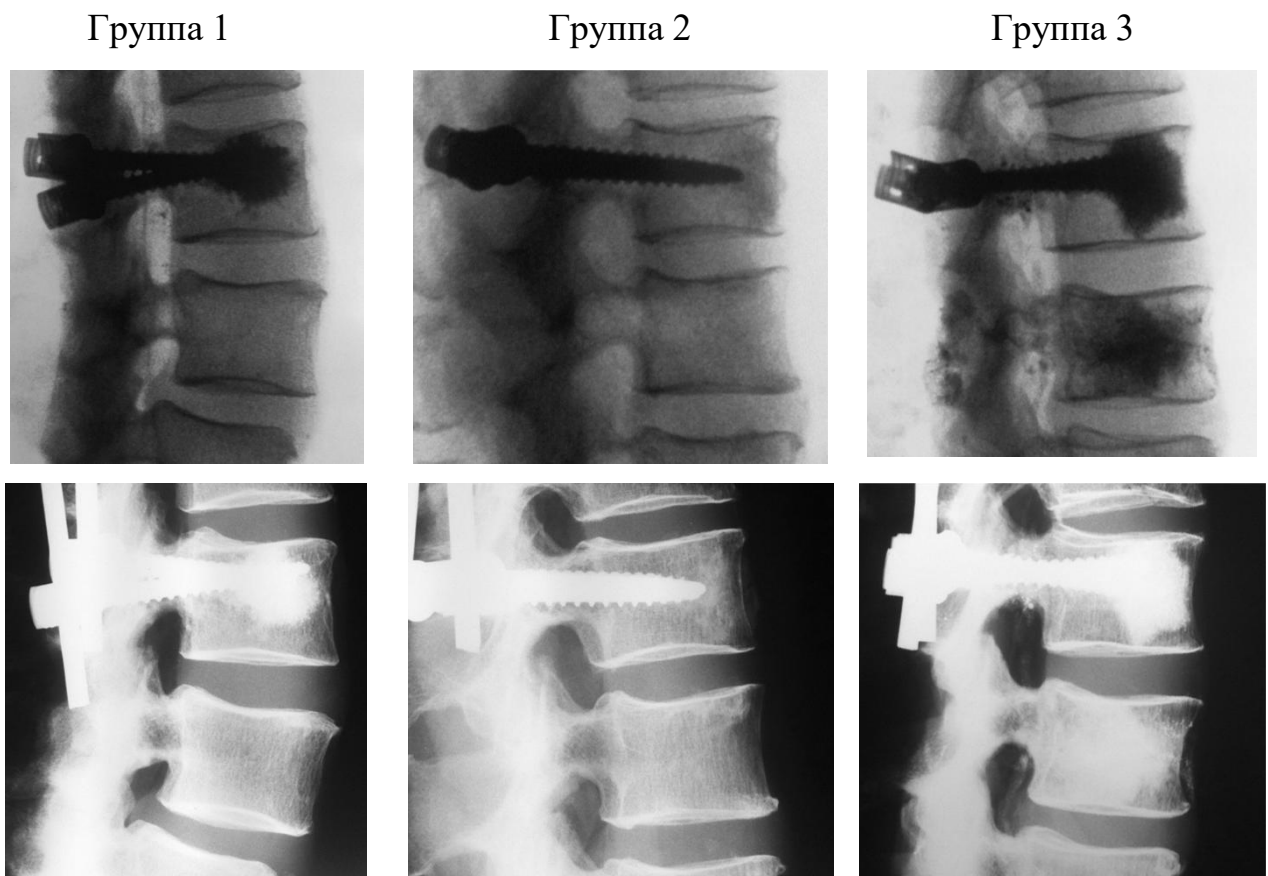


Рисунок 31. Состояние нижележащего позвонка до (верхний ряд) и после (нижний ряд) эксперимента, т.е. на момент разрушения верхнего смежного позвонка

Таким образом, резюмируя результаты, полученные в ходе экспериментальной части исследования можно отметить, что наиболее уязвимым местом в отношении возникновения перелома над транспедикулярной системой является ближайший, краниально расположенный позвонок. Ленточная ламинарная фиксация за дугу позвонка над металлоконструкцией полностью не предохраняет от возникновения его или смежного с ним перелома, однако повышает устойчивость позвонка к нагрузкам в отношении возникновения первых графических признаков микроперелом 1,2-1,6 раза. Профилактическая вертебропластика вышележащего от уровня ТПФ позвонка зарекомендовала себя как весьма эффективный способ предупреждения его перелома и может рассматриваться как профилактическое мероприятие к возникновению стресс-перелома и проксимального кифоза над фиксированными ПДС, но не предохраняет от перелома вышележащего позвонка. Возникновение глубокого (рентген-позитивного) разрушения позвонка при продолжающейся нагрузке возникает при чрезмерных усилиях ( в среднем 2,44-2,52 kN), а устойчивость проксимальных от металлоконструкции сегментов возрастает на 71% при использовании профилактической ламинарной фиксации, и на 77% при использовании профилактической вертебропластики в сравнении с контрольной группой (№1) без использования методов профилактики.

Профилактическую вертебропластику каудального от уровня фиксации позвонка проводить нецелесообразно ввиду незначительного риска его перелома.

## ОСОБЕННОСТИ ХИРУРГИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ ПАЦИЕНТОВ С ДЕГЕНЕРАТИВНЫМИ СКОЛИОЗАМИ

Хирургическое лечение дегенеративных сколиозов, несмотря на широкое распространение и накопленный мировой опыт, представляет сложную задачу для нейрохирургов и ортопедов в связи с возрастающим числом осложнений в позднем послеоперационном периоде. Немалую роль в этом играет отсутствие единой философии в предоперационном обследовании, планировании, выявлении факторов риска и оперативных подходах. Кроме того, наличие значительной доли неудовлетворительных отдаленных исходов хирургического лечения способствует росту числа альтернативных методик лечения с использованием изолированных декомпрессивных вмешательств, локальной фиксации или динамической стабилизации, которые изначально не решают весь комплекс хирургических задач, а нередко усугубляют клинико-рентгенологическое течение данной патологии.

Наличие многочисленных и неоднозначных факторов риска развития ППК и НМК после хирургического лечения дегенеративных сколиозов заставляет искать наиболее подходящий алгоритм оперативной активности индивидуально для каждого пациента.

Теоретически хирургическое вмешательство может влиять на показатели сагиттального и фронтального балансов посредством изменения величины поясничного лордоза (LL) и ассиметрично выполненными остеотомиями. Однако сформированная в течение длительного периода времени деформация позвоночника оказывает влияние не только на большинство отделов опорно-двигательного аппарата, включая всевозможные компенсаторные механизмы, но и изменяет паттерны активации мышечных групп, формируя атипичные моторные паттерны, что требует длительного нейромоторного переобучения после восстановления глобального баланса позвоночника. При этом выполнение максимальной хирургической коррекции нередко создает неблагоприятные

условия для биомеханики позвоночника вследствие максимально выраженного конфликта между восстановленным балансом и длительно существующими компенсаторными механизмами с патологическими моторными паттернами.

В проведенном ретроспективном анализе нами была показана существенная значимость выраженной коррекции поясничного лордоза в развитии осложнений отдаленного послеоперационного периода.

Кроме того, хирургическое лечение дегенеративного сколиоза на фоне сопутствующего остеопороза может сопровождаться не только неудовлетворительными результатами в послеоперационном периоде, но и техническими трудностями непосредственно во время операции, связанными с развитием первичной нестабильности имплантов, их вырыванием или миграцией с формированием дефектов костной ткани.

Перечисленные особенности оперативного лечения дегенеративных сколиозов нередко являются причинами отказа в проведении хирургического вмешательства, а некоторыми авторами описываются как абсолютные противопоказания к применению инструментальной фиксации (O'Leary P.T. et al., 2009; Yagi M., et al., 2012; Bridwell K.H. et al., 2013).

Таким образом, на наш взгляд, основной задачей хирургического этапа лечения дегенеративного сколиоза является не демонстрация хирургических возможностей оперирующего специалиста или современного инструментария, а поиск баланса между необходимой величиной коррекции и компенсаторными способностями организма с обязательным учетом факторов риска развития осложнений.

Для решения четвертой задачи данного диссертационного исследования нами был проведен проспективный анализ эффективности различных вариантов хирургического лечения у пациентов с определенными, на предыдущих этапах исследования, факторами риска. Всего нами были оценены результаты лечения 140 пациентов с дегенеративным сколиозом поясничного отдела позвоночника и сопутствующим остеопорозом. Все пациенты были разделены на 4 клинические



группы в зависимости от методов хирургического лечения с учетом выявленных факторов риска развития ППК:

В первую группу были включены 36 пациентов, у которых коррекция поясничного лордоза не превышала  $30^\circ$ .

Во вторую группу вошли 24 пациента с коррекцией поясничного лордоза не более  $30^\circ$  и ламинарной фиксацией позвонка над зоной спондилодеза.

Третья группа состояла из 20 пациентов с полным восстановлением сагиттального и фронтального балансов вне зависимости от выявленных факторов риска с профилактической вертебропластикой позвонка над зоной инструментальной фиксации.

В четвертую группу вошли 60 пациентов, которым было выполнено полное восстановление сагиттального и фронтального балансов вне зависимости от выявленных факторов риска.

Как уже было отмечено в ранее, оперативное лечение по поводу дегенеративного сколиоза в данном исследовании проводилось в один этап и преследовало две основные задачи.

Первая задача заключалась в декомпрессии неврологических структур на заинтересованном уровне, а вторая – в стабилизации позвоночно-двигательных сегментов и коррекции деформации. При этом стабилизация проводилась по методике спондилодеза на  $360^\circ$  с использованием систем транспедикулярной и межтеловой фиксации на уровнях с подтвержденной нестабильностью ПДС. Технически оперативное лечение проводилось дорзальным доступом по стандартной открытой методике.

Результаты хирургического лечения оценивались на основании данных рентгенологического обследования и опросников до операции, сразу после нее и в отдаленном периоде (через 3, 6, 12 и 24 месяца).

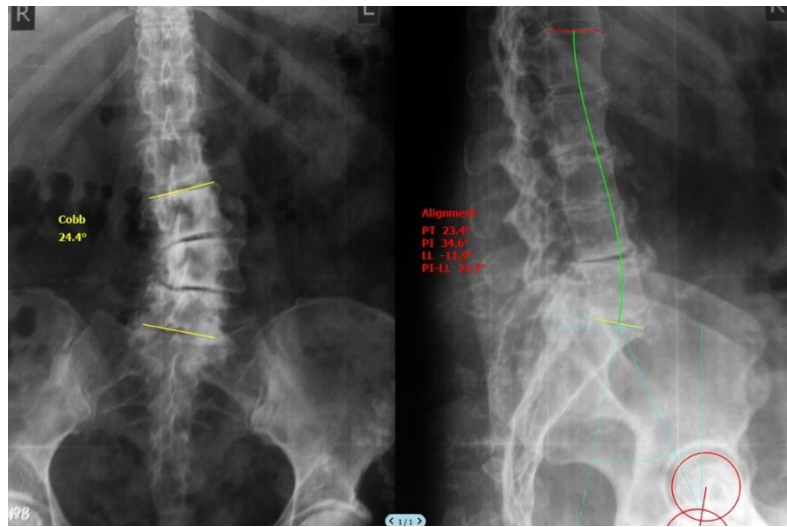
## **5.1. Особенности техники хирургического вмешательства при лечении дегенеративного сколиоза**

Оперативный этап лечения дегенеративного сколиоза во всех группах проспективной части исследования проводился одной хирургической бригадой на базе ГБУЗ «НИИ – Краевая клиническая больница №1 им. С.В. Очаповского» Министерства здравоохранения Краснодарского края с 2010 по 2015 год.

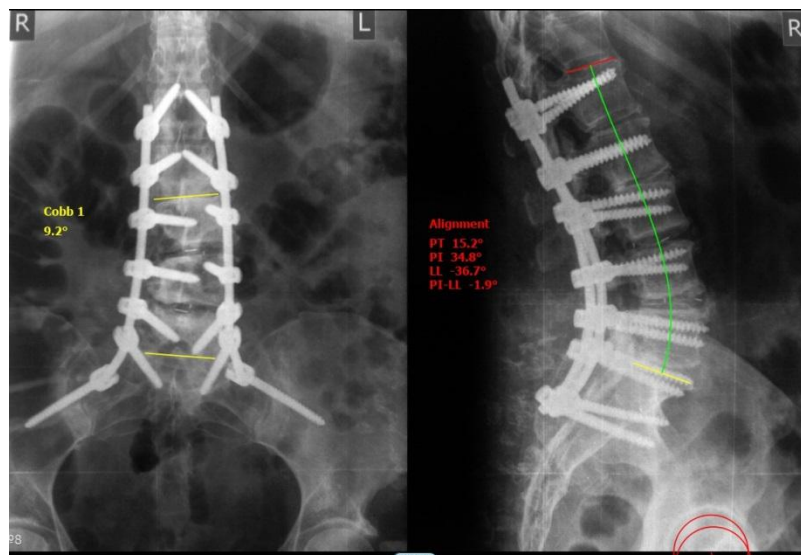
Хирургическое вмешательство во всех группах проспективной части исследования выполнялось из заднего доступа по стандартной открытой методике с рассечением мягких тканей по центральной линии в проекции остистых отростков. В ходе оперативного доступа последовательно проводилось рассечение кожи, подкожно-жировой клетчатки и фасции с последующим отделением параспинальных мышц от задних костных элементов позвоночного столба. При этом последовательно выделялись остистые отростки, дугоотростчатые суставы и поперечные отростки каждого уровня оперативного вмешательства.

Следующим этапом выполнялась декомпрессия неврологических структур с использованием микронейрохирургического инструментария и оптического увеличения посредством удаления смежных дугоотростчатых суставов целиком (так называемая фасетэктомия) и резекции желтой связки (флавэктомия) на заинтересованных уровнях. При наличии передней компрессии корешка выполнялась резекция диска (с удалением грыжи или спондилезного шипа). Далее, в случае необходимости, выполнялась дискэктомия, обработка замыкательных пластин смежных позвонков и установка межтеловых имплантов по методике TLIF (Transforaminal Lumbar Interbody Fusion). Показаниями к выполнению данного этапа являлись нестабильность ПДС, определяемая на основании функциональных рентгенограмм, спондилолистез более 5 мм, а также выраженное асимметричное поражение межпозвонкового диска с формированием локальной угловой деформации во фронтальной плоскости. В таких ситуациях выполнялось не типичное, а ассиметричное положение межтелового кейджа для

коррекции сагиттальных и фронтальных нарушений в конкретном сегменте позвоночника (рис. 32).



А



Б

Рисунок 32. Клинический пример: А – рентгенограммы межпозвонкового диска до коррекции; Б – результаты коррекции в данном сегменте после ассиметричной (со стороны максимального сужения щели диска) установки кейджа

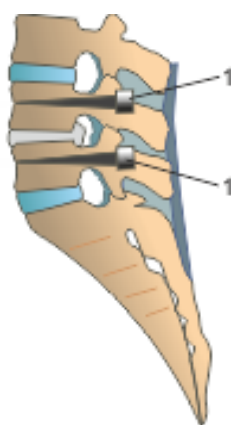
В некоторых случаях, при необходимости, выполнялись остеотомии различного типа с резекцией фасеточных суставов. Как уже было отмечено, для сопоставимости групп проспективного исследования, мы не включили пациентов, которым выполнялись агрессивные остеотомии 3-6 типа по Schwab F. (2014). Как

известно эти остеотомии сами по себе являются факторами риска возникновения переломов стержней и нестабильности фиксирующей системы. В большинстве случаев мы выполняли данный вид остеотомии согласно собственной оригинальной методике.

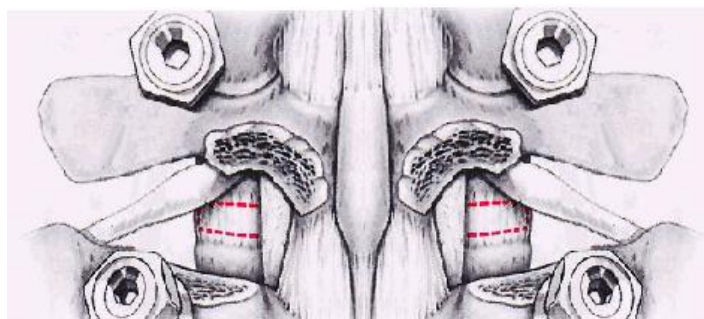
### 5.1.1. Разработка реконструкции поясничного позвоночно-двигательного сегмента

Суть данной методики состоит в том, что после выполнения остеотомии и сближения задних структур позвоночника происходит увеличение показателей лордоза, а в случае контралатерального приложения разнонаправленных сил (компрессии и дистракции) возможна коррекция деформации во фронтальной плоскости.

Технически способ осуществляют следующим образом. В положении на животе производят срединный разрез в проекции оперируемых сегментов на один позвонок ниже и на один позвонок выше уровня реконструкции и выполняют субпериостальное скелетирование от остистых отростков до вершечек поперечных отростков. После этого имплантируют необходимое количество транспедикулярных винтов (рисунок 33 А. 1).



А



Б

Рисунок 33. Последовательность манипуляций при выполнении способа реконструкции поясничного позвоночно-двигательного сегмента

На следующем этапе с обеих сторон выполняют трансфораминальный доступ в позвоночный канал. Для этого резецируют нижние суставные отростки вышележащего позвонка и верхние суставные отростки нижележащего позвонка, образующие межпозвоночные суставы оперируемого ПДС (рис. 32 Б.).

Для расширения доступа в позвоночный канал удаляют нижнюю часть межпозвоночного отдела дуги краниального позвонка и верхнюю часть дуги каудального позвонка, оперируемого ПДС. Вскрывают боковой карман на уровне нижележащего позвонка для декомпрессии проходящего книзу нервного корешка. Удаляют латеральные отделы жёлтой связки и капсулы резецируемых межпозвоночных суставов. Идентифицируют спинальные корешки, проходящие ниже и медиальнее корней дуг краниального позвонка, оперируемого ПДС. Останавливают кровотечение из эпидуральных вен.

После выполнения трансфораминального доступа в позвоночный канал производят дополнительную мобилизацию оперируемого позвоночно-двигательного сегмента путём удаления межкостистой связки, прилежащего к ней участка надкостистой связки и центральной части жёлтой связки, а так же экономную резекцию смежных отделов остистых отростков (рис. 34 А, резецированный участок желтой связки – 2, резецированная межкостистая связка – 3.).

Поочерёдно с каждой стороны дуральный мешок смещают медиально. Производят рассечение задней продольной связки и фиброзного кольца в его заднебоковой части сначала с одной, а затем, с другой стороны. После этого в фиброзном кольце формируют отверстия, через которые проводят тотальное удаление всего диска и тщательную обработку замыкательных пластин тел позвонков.

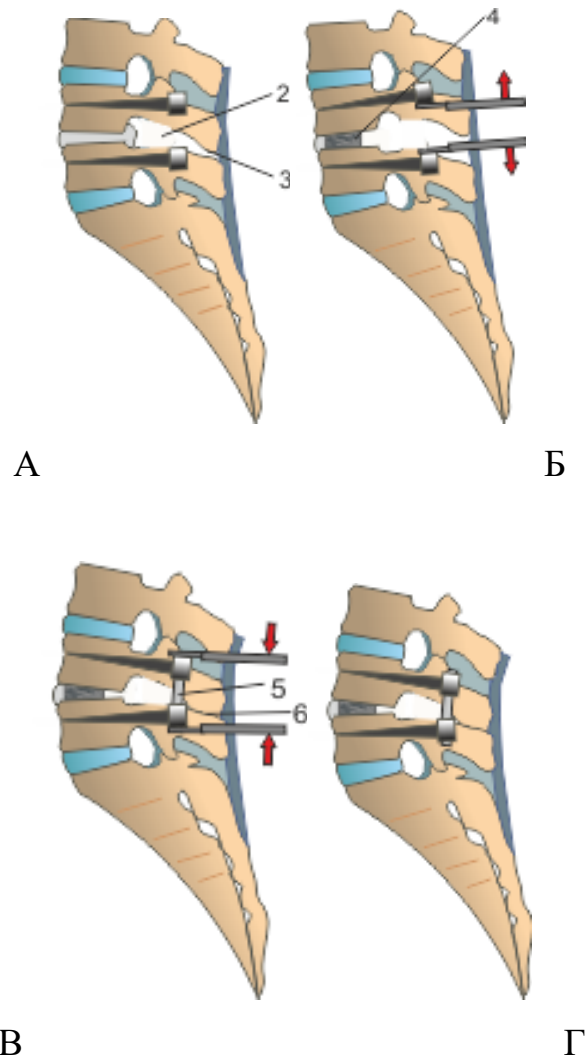
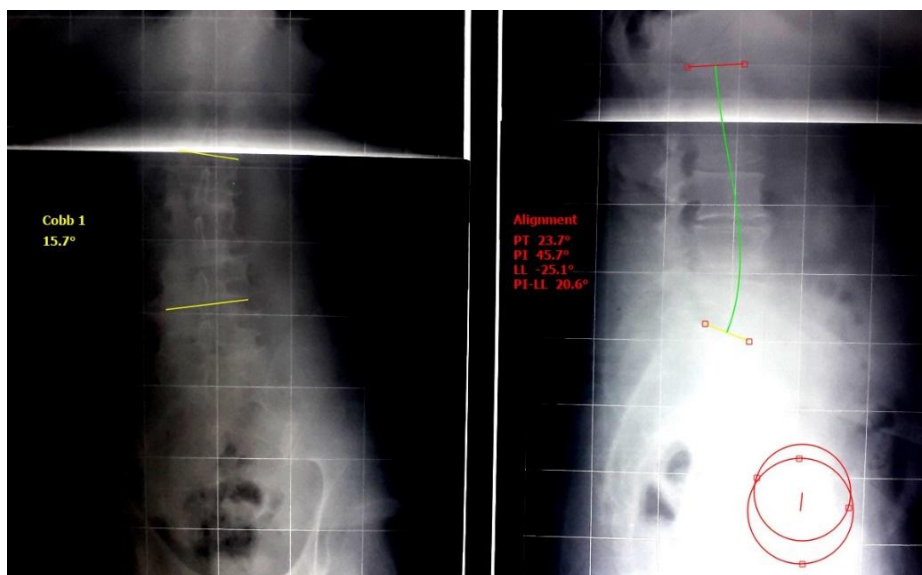


Рисунок 34. Последовательность манипуляций при выполнении способа реконструкции поясничного позвоночно-двигательного сегмента (продолжение).

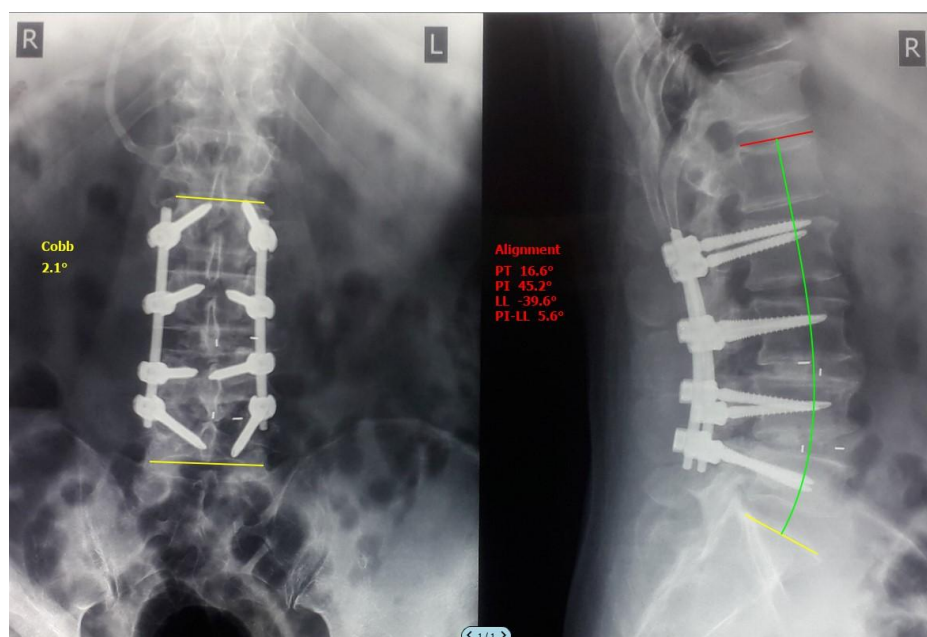
На следующем этапе операции осуществляют введение межтелового импланта (кейджа с аутокостью) в образовавшийся межтеловой промежуток оперируемого ПДС (рисунок 33 Б. 4 – межтеловой имплант). Перед имплантацией кейджа с помощью репозиционного инструментария транспедикулярной системы производят сегментарную дистракцию в оперируемом ПДС. При этом, за счёт удаления межкостистой, желтой и надкостистой связок оперируемого ПДС амплитуда возможной дистракции существенно увеличивается, а необходимые дистракционные и репозиционные усилия, прикладываемые на винты,

имплантированные в позвонки оперируемого ПДС снижаются. Для определения нужной высоты имплантата применяют измерители.

Данный способ реконструкции поясничного позвоночно-двигательного сегмента предполагает двухстороннюю резекцию межпозвоночных суставов и двухстороннюю декомпрессию нервно-сосудистых образований. Кейдж в межтеловой дефект имплантируют с какой-либо одной стороны, позиционируя его в нужном месте межтелового пространства. После установки межтеловых имплантов, дистракцию прекращают, винты соединяют штангами транспедикулярной системы (рисунок 33, В. 5 – штанга транспедикулярной системы), производят компрессию или дистракцию оперируемого ПДС транспедикулярной системой до плотного контакта костных поверхностей остистых отростков смежных позвонков (рисунок 33, Г. 6 – зона контакта смежных остистых отростков). За счёт компрессии добиваются межтеловой стабилизации кейджа, и формирования лордоза в оперируемом ПДС. Данная техника позволяет получить до  $5^\circ$  коррекции за счет каждого оперированного сегмента и до  $10^\circ$  в случаях установки межтеловых имплантов (рисунок 35). Кроме того, плотный контакт запрограммированно резецированных отделов остистых отростков обеспечивает условия для костного сращения задних элементов позвоночника.



А



Б

Рисунок 35. Клинический пример коррекции деформации в поясничном отделе позвоночника с использованием остеотомии по оригинальной методике:

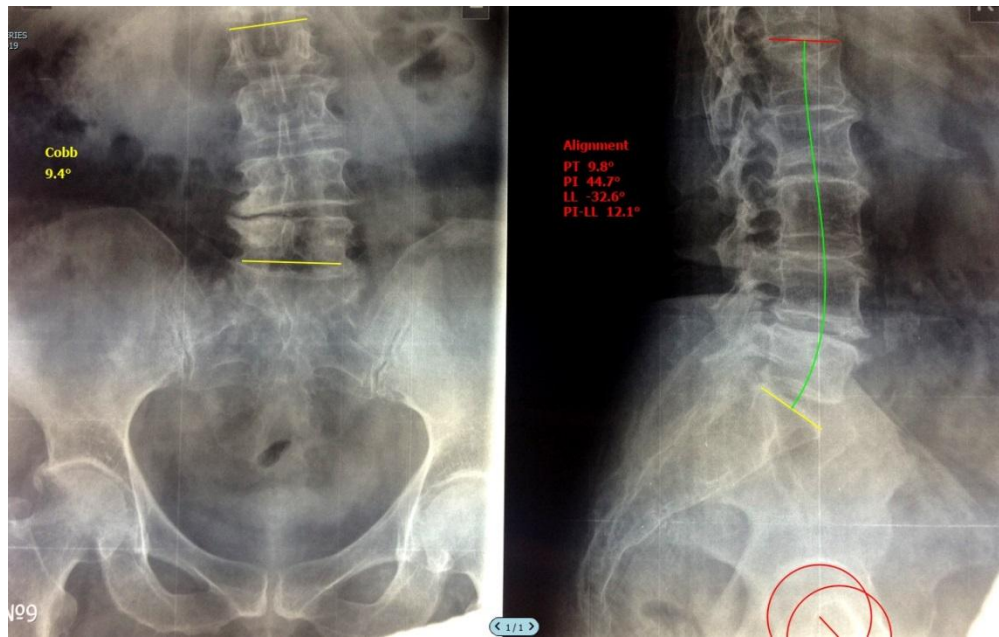
А – до операции, Б – после операции

### 5.1.2. Особенности имплантации стабилизирующей системы и коррекции деформации

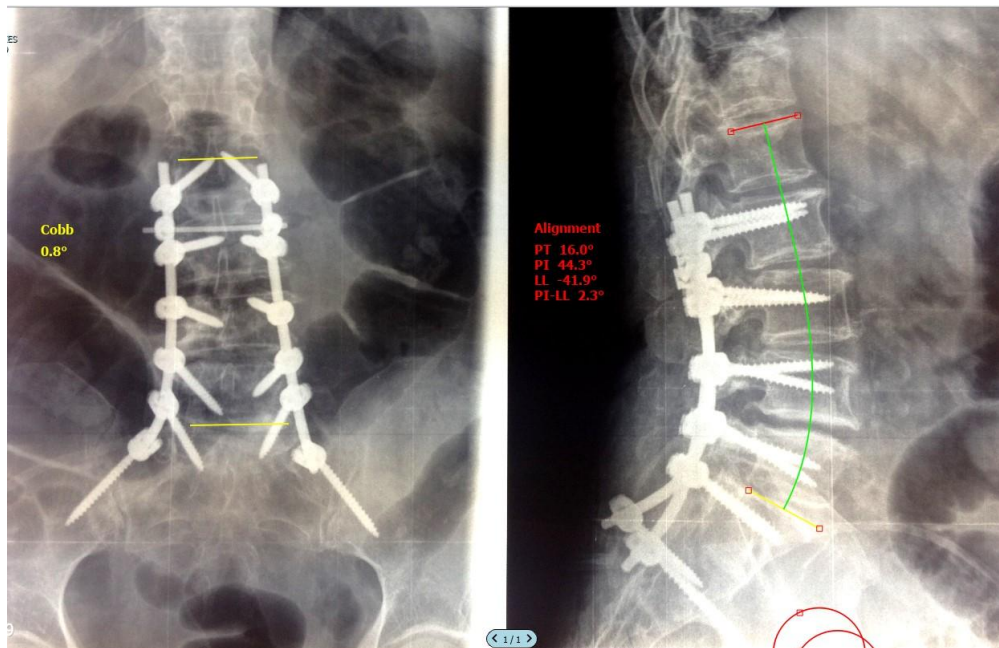
Как уже было сказано ранее, применение транспедикулярных стабилизирующих систем на завершающем этапе коррекции и стабилизации деформации давно является «золотым стандартом» в хирургии позвоночного столба. В нашей работе были использованы современные системы транспедикулярной фиксации отечественного и импортного производства («Синтез», «Конмет», «Stryker», «Zimmer», «DePuy», «Medtronic»). При этом в некоторых случаях на вершине сколиотической деформации нами были установлены моноаксиальные транспедикулярные винты с целью коррекции деформации в трех плоскостях, используя возможности деротационного инструментария. Данная методика позволяла за счет деротации позвонков на вершине деформации переводить ее фронтальное отклонение в сагиттальную



плоскость, тем самым улучшая лордоз без дополнительных усилий (применения кейджей и остеотомии) (рис. 36).



А



Б

Рисунок 36. Клинический пример коррекции деформации в поясничном отделе позвоночника с использованием деротационного инструментария:

А – до операции, Б – после операции

При этом, особенно при выраженном формировании лордоза, часто увеличивалось напряжение на проксимальном конце фиксации конструкции, что сопровождалось увеличением PJA и, следовательно, повышению риска ППК.

Кроме того, в некоторых случаях имплантация металлоконструкции проводилась с установкой транспедикулярных винтов на костный цемент на основе полиметилметакрилата (ПММА, PMMA) «Stryker Verta Plex». В данных случаях введение винтов осуществлялось непосредственно после проведения вертебропластики до момента полимеризации цемента. Технически аугментация костным цементом выполнялась в позвонках краниальной и каудальной точек фиксации с обеих сторон, а объем вводимого цемента составлял от 3 до 5 мл с каждой стороны, что обеспечивало создание надежной цементной мантии и заполнение позвонка от верхней замыкательной пластинки до нижней. Показаниями для использования данной техники являлись выявление T-критерия ниже – 3,5 SD либо наличие в анамнезе низкоэнергетических переломов, что соответствует тяжелой степени течения остеопороза (Мануковский В.А. 2009; Лесняк О.М. 2016).

Также, на данном этапе в случаях необходимости проводилась вертебропластика смежного вышележащего позвонка с использованием костных цементов на основе полиметилметакрилата (ПММА, PMMA) «Stryker Verta Plex». Для введения цемента была использована система «Stryker PCD». Технически вертебропластика выполнялась с обеих сторон с заполнением тела позвонка от верхней замыкательной пластинки до нижней (рис. 37).

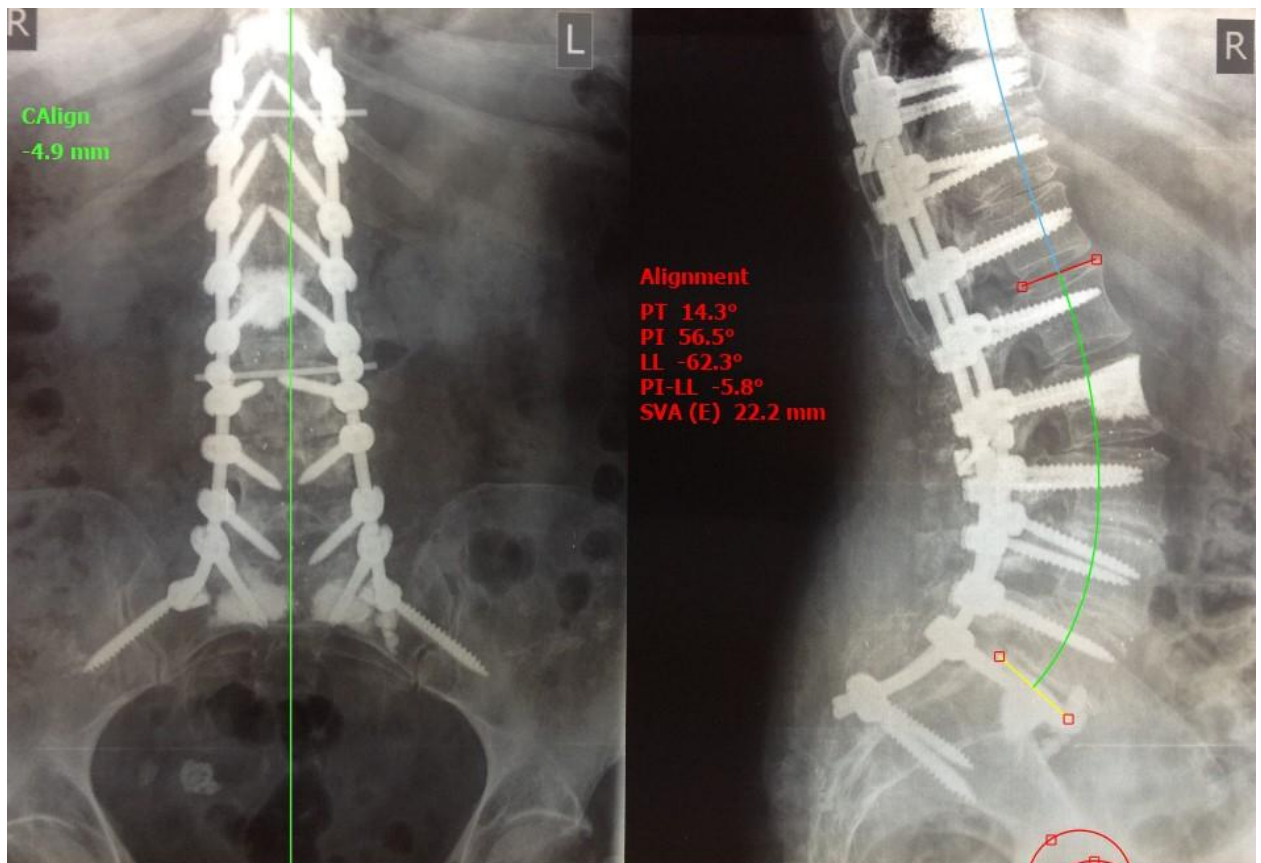


Рисунок 37. Клинический пример профилактической вертебропластики проксимального позвонка

Также, при значительной коррекции лордоза и изменении РЖА, в случаях необходимости выполнялась установка ламинарных фиксаторов за дугу позвонка, расположенного непосредственно над позвонком проксимальной точки винтовой фиксации.

Данная методика легла в основу разработанного нами «Способа профилактики переломов смежных позвонков при транспедикулярной фиксации на фоне остеопороза» (патент РФ № 2669028 от 05.10.2018).

### **5.1.3. Разработка способа профилактики переломов смежных позвонков при транспедикулярной фиксации на фоне остеопороза**

Как уже было отмечено в первой главе, по мнению многих авторов, ламинарная фиксация в области переходной зоны является одним из способов стабилизации, снижающий риск возникновения ППК. Основными ламинарными фиксаторами на сегодняшний день являются крюки, проволока и ленты из полиэстера. Крюки и проволока не обладают необходимой пластичностью к костной ткани и оптимальной конгруэнтностью к воспринимающему ложу (дуги позвонков, поперечные отростки или ребра). Поэтому существует риск их прорезывания и нестабильности имплантата в целом особенно у пациентов с остеопорозом (Jouve J.L. et al., 2010).

В качестве фиксаторов нами была использована система Zimmer Universal Clamp. Для установки данной системы, при помощи нейрохирургического распатора, диссектора и пистолетных кусачек осуществлялась частичная резекция желтой связки интраламнарного пространства выше и ниже фиксируемой дуги. Резекция выполнялась в объемах необходимых для проведения ленты ламинарного фиксатора из полиэстера. Проведение осуществляли в соответствии с рекомендациями производителя по направлению от каудального к краниальному. После этого лента вставлялась в специальном зажиме, который в дальнейшем фиксировался на стержне при помощи блокирующего винта. Натяжение лент ламинарного фиксатора осуществлялось при помощи специального инструментария для редукции после окончательного блокирования транспедикулярной системы (рис. 38).

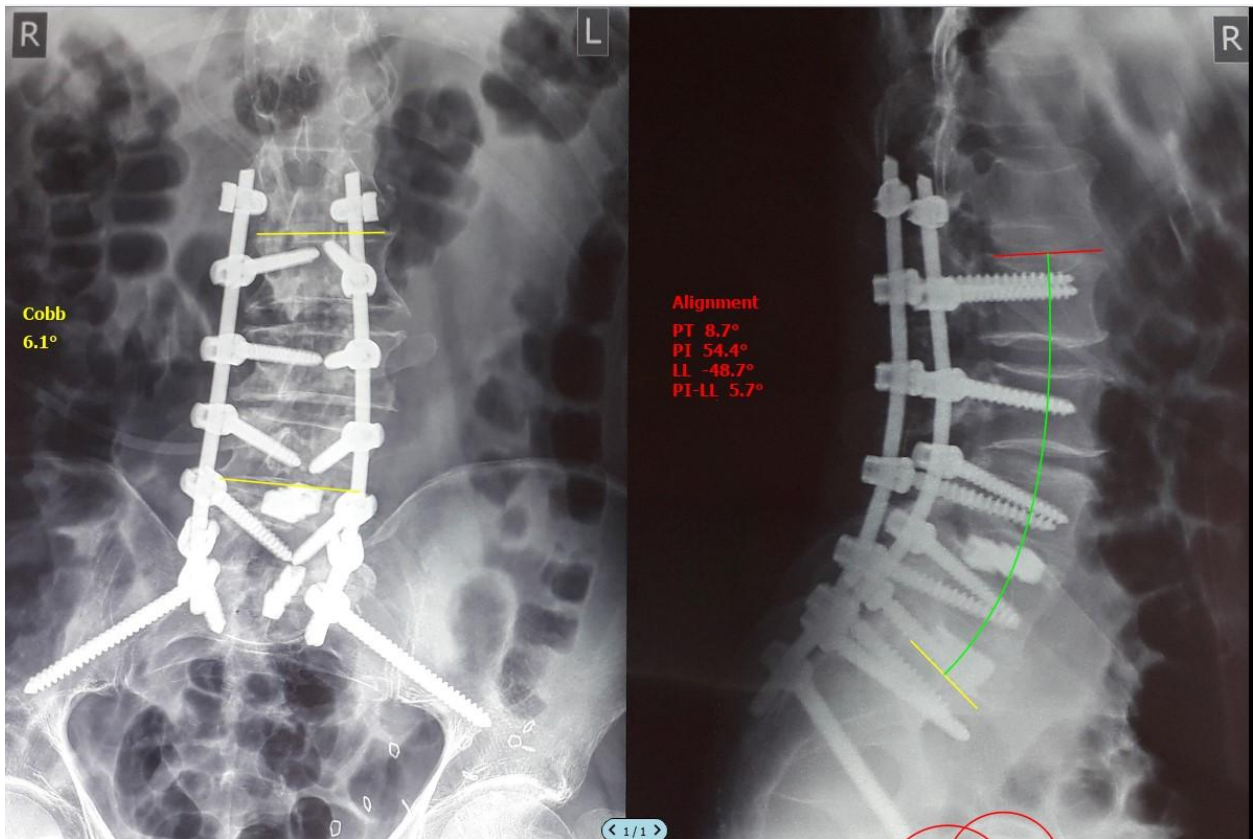
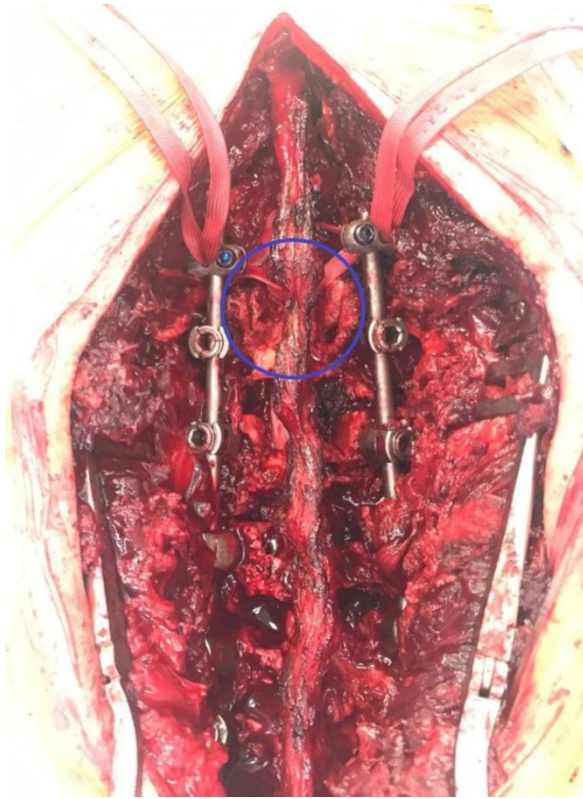


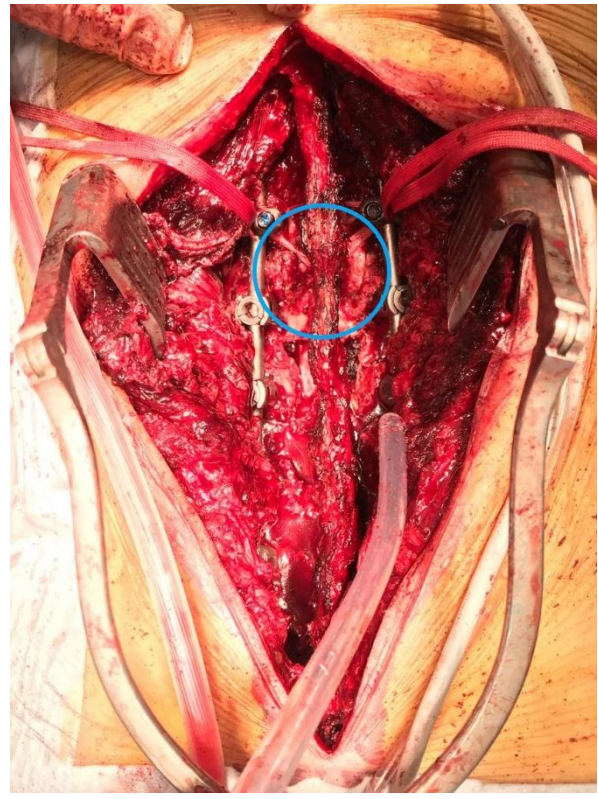
Рисунок 38. Клинический пример ламинарной фиксации проксимального сегмента позвоночника ламинарной системой «Universal Clamp»

При этом интраоперационно, после формирования лордоза, у пациентов (как показано в клиническом примере на рисунке 38, 39) за счет остеотомии, кейджей и ТПФ, часто происходил подвывих в вышележащих дугоотростчатых суставах (по отношению к верхнему ригидно фиксированному позвонку) (рисунок 39 А). Последующее натяжение лент ламинарных фиксаторов восстанавливало конгруэнтность суставов (рис. 39 Б).





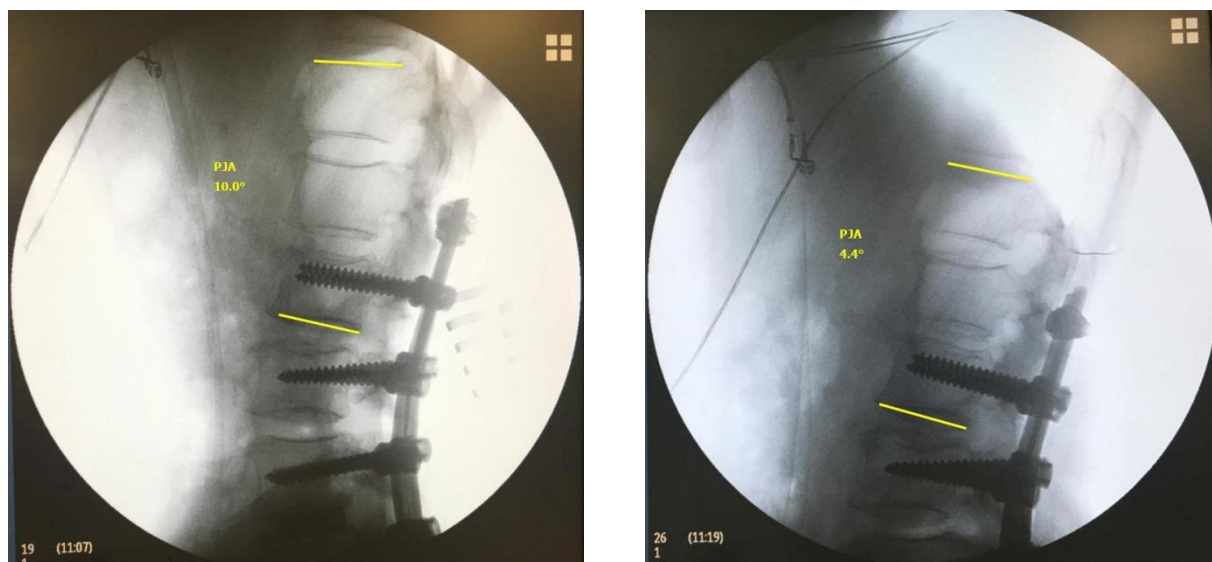
А



Б

Рисунок 39. Фото интраоперационного применения ламинарных фиксаторов:  
А – подвывих в дугоотростчатых суставах после коррекции поясничного лордоза;  
Б – восстановление формы дугоотростчатых суставов после натяжения лент ламинарных фиксаторов

Этот же маневр приводил к коррекции проксимального переходного кифоза (рис. 40).



А

Б

Рисунок 40. Интраоперационный рентген-контроль величины проксимального переходного угла:

А – в положении лежа, после установки и фиксации стержней на фоне увеличения лордоза, до натяжения лент ламинарных фиксаторов величина РЖА составила  $10,0^\circ$ ;

Б – после натяжения лент ламинарных фиксаторов произошла коррекция, РЖА составил  $4,4^\circ$

Кроме того, во всех случаях мы наблюдали, что, несмотря на прочность фиксации сегмента во всех трех плоскостях, сохраняются микродвижения в нем. Это позволяет считать данную фиксацию условно динамической, позволяющей осуществлять плавную передачу нагрузок между абсолютно ригидным и до мобильным сегментами.

Заключительным этапом, после окончательной фиксации металлоконструкции и обязательного рентгенологического контроля выполнялось послойное ушивание послеоперационной раны с оставлением активных дренажей на срок от 2 до 7 дней. Пациенты активизировались на 1-2-й день после операции.

В раннем послеоперационном периоде не было отмечено ни одного случая нарастания неврологического дефицита.

## **5.2. Интраоперационный контроль за качеством выполнения коррекции деформации и адекватностью декомпрессии**

Одной из наиболее сложных задач при хирургическом лечении деформаций позвоночника является объективная оценка изменений позвоночно-тазовых параметров во время оперативного вмешательства. При этом интраоперационный анализ изменений биомеханики позвоночника весьма ограничен даже в условиях полноценного телерентгенологического контроля вследствие отсутствия осевой нагрузки, определенного положения на ортопедическом столе и действия миорелаксантов. Кроме того, крайне сложно предсказать изменения в нефиксируемой части позвоночника ввиду различной степени ригидности позвоночно-двигательных сегментов, в результате чего, послеоперационная рентгенологическая картина зачастую не соответствует результатам, полученным в ходе предоперационного планирования. Так, в случаях низкой мобильности свободного грудного отдела, даже незначительные отклонения от оптимальных целевых значений остеотомий могут приводить к выраженному смещению позвоночника в сагиттальной и фронтальной плоскостях. Особенную актуальность данное утверждение приобретает в условиях фиксации к тазу. При этом, для значимого смещения позвоночника во фронтальной плоскости, в некоторых случаях достаточно незначительной неравномерной контракции в поясничном отделе на этапе окончательной фиксации металлоконструкции. Так при отклонении в сегменте L<sub>5</sub>-S<sub>1</sub> на 2° во фронтальной плоскости общее смещение С<sub>7</sub> позвонка относительно центральной вертикальной линии крестца может достигать более 1 см (рис. 41).



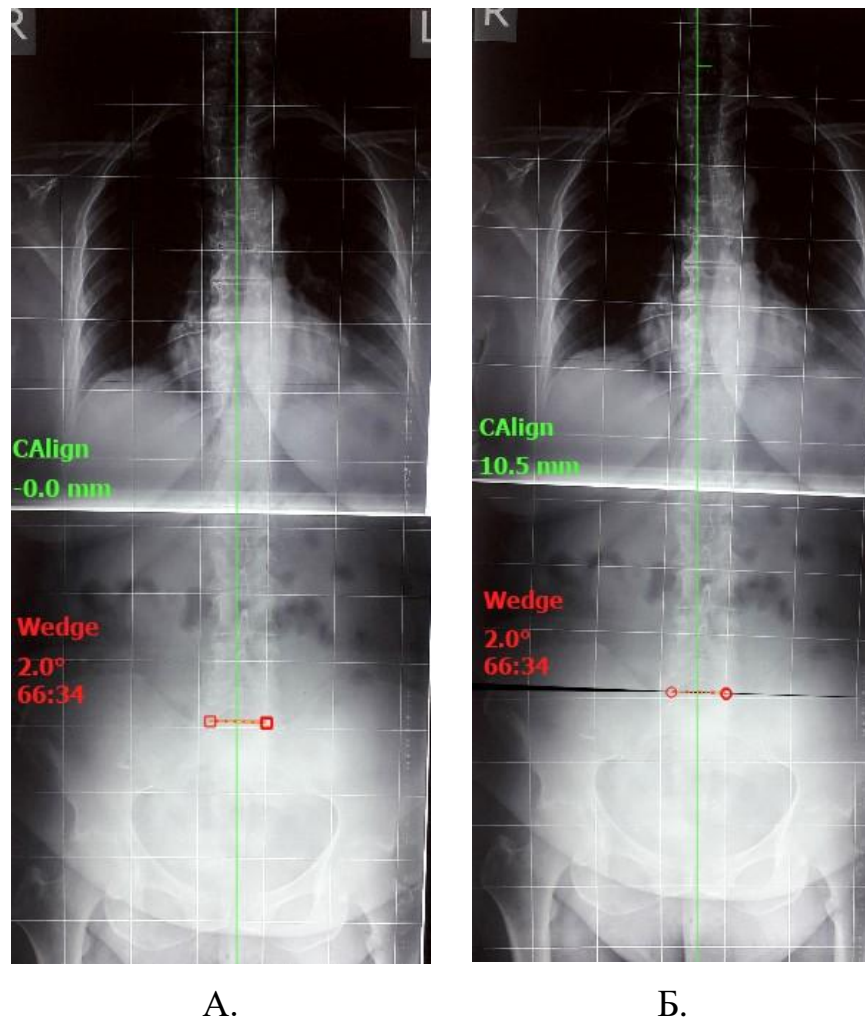


Рисунок 41. Отклонение позвоночника от центральной вертикальной линии крестца вследствие контракции в  $2^\circ$  на сегменте  $L_5-S_1$ . А. планирование остеотомии в  $2^\circ$  на уровне  $L_5-S_1$ . Б. рентгенограмма после закрытия остеотомии

Данное обстоятельство необходимо учитывать особенно во время оперативного лечения пациентов старшей возрастной категории со сниженными компенсаторными возможностями грудного отдела позвоночника вследствие снижения его мобильности.

Таким образом, интраоперационный рентгенологический контроль должен включать в себя не только оценку корректности положения имплантатов, но и обязательный анализ изменений позвоночно-тазовых соотношений после окончательной фиксации металлоконструкции. Кроме того, полученные на основании ретроспективной части настоящего исследования данные, указывают

на необходимость рентгенологической оценки проксимального переходного угла после коррекции деформации и закрытия остеотомий.

Кроме того, этап декомпрессии невральных структур, его адекватность и полноценность в условиях предстоящей коррекции деформации позвоночника, также требует объективного интраоперационного контроля. Наиболее эффективным методом данного контроля на сегодняшний день является использование интраоперационного нейромониторинга, который позволяет оценивать вызванные моторные потенциалы в необходимые моменты операции. В хирургическом лечении деформаций позвоночника следует учитывать, что развитие неврологического дефицита в послеоперационном периоде может быть обусловлено не только непосредственной компрессией невральных структур, но и тракционным воздействием на них. В этих случаях регистрация нейрофизиологического ответа во время оперативного вмешательства является единственным методом объективной оценки данного осложнения.

### **5.3 Общая характеристика пациентов проспективного исследования**

Проспективная часть исследования основана на анализе результатов хирургического лечения 140 взрослых пациентов с деформациями поясничного отдела позвоночника после инструментальной фиксации в период с 2010 по 2015 г.

Средний возраст пациентов проспективной группы составил  $59,8 \pm 5,2$  лет (от 52 до 66), большинство пациентов имели возраст старше 55 лет. Среди исследуемых преобладали женщины – 113 (80,7%), мужчин было – 27 (19,3%). Возрастное и половое распределение представлено в таблице 33.

Распределение пациентов по возрасту и полу

Пол	Возраст, лет			Итого	
	52-55	56-60	61-66	абс. ч.	%
Женщины	6	59	48	113	80,7
Мужчины	1	5	21	27	19,3
Всего	7	64	69	140	100

Пациенты, включенные в данное исследование, имели деформацию поясничного отдела позвоночника I и IIIb типа по классификации М.Аеbi (2005) (табл. 34).

Таблица 34

Распределение пациентов по этиологическому типу деформации по М.Аеbi (2005)

Тип деформации	Мужчины	Женщины	Итого	
			абс. ч.	%
I	18 (66,7%)	88 (77,9%)	106	75,7%
IIIb	9 (33,3%)	25 (22,1%)	34	24,3%
Всего	27 (19,3%)	113 (80,7%)	140	100

Следует отметить, что показания к инструментальной фиксации были определены вследствие наличия у пациентов выраженной фронтальной деформации и/или сагиттального дисбаланса, что соответствовало III и IV типу деформации по Р. Verjano и К. Lamartina (2013) (табл. 35).

Распределение пациентов по характеру деформации  
по Р. Verjano и К. Lamartina (2013)

Тип деформации	Мужчины	Женщины	Итого	
			абс. ч.	%
III	21 (15%)	68 (48,6%)	89	63,6
IV	6 (4,3%)	45 (32,1%)	51	36,4
Всего	27 (19,3%)	113 (80,7%)	140	100

Таким образом, критериями включения в данную когорту являлись:

- принципы когортности – единство места (ГБУЗ «НИИ – Краевая клиническая больница №1 им. С.В. Очаповского Министерства здравоохранения Краснодарского края»);

- возраст - взрослые пациенты не старше 66 лет;

- нозологическая группа – пациенты с деформациями поясничного и грудопоясничного отделов позвоночника, на дегенеративно-дистрофического процесса или системного остеопороза;

- наличие сопутствующего остеопороза (Т-критерий менее -2,5 SD). При этом диагноз остеопороз тяжелой степени был установлен у 62 пациентов на основании Т-критерия ниже -3,5 SD (n=21; 34%) и наличия в анамнезе как минимум одного низкоэнергетического перелома (n=41; 66%).

Критериями исключения являлись:

- смещение сагиттальной вертикальной оси кпереди более чем на 15 см;

- наличие фронтального дисбаланса свыше 5 см;

- величина проксимального переходного угла, рассчитываемая на этапе предоперационного планирования, превышающая 10°.

Параметры оптимальных позвоночно-тазовых соотношений были определены нами в соответствие с формулой, предложенной Kim et al. в 2009

году. Согласно проведенному авторами исследованию, сумма значений параметров тазового угла (PI), поясничного лордоза (LL) и грудного кифоза (TK) менее  $45^\circ$  обеспечивает сохранение оптимального сагиттального профиля у пациентов на протяжении двухлетнего периода наблюдения с чувствительностью в 91%. В дальнейшем исследователи доработали формулу, определив нижнюю границу суммы данных показателей в  $20^\circ$ . Таким образом, на этапе предоперационного планирования нами была рассчитана величина необходимой коррекции поясничного лордоза в соответствие с формулой  $20^\circ < PI + LL + TK < 45^\circ$ . Однако, восстановление сагиттального баланса подразумевает отсутствие значимого смещения сагиттальной вертикальной оси (SVA), что не всегда соответствует достаточно широкому интервалу значений согласно используемой формуле. Т.е. величина рассчитанной по формуле остеотомии, попадая в границы данного интервала, не всегда приводит к полному восстановлению сагиттального профиля вследствие наличия остаточного смещения SVA. Согласно M.C. Makhni с соавторами (2018), целевые значения остеотомии, необходимой для восстановления сагиттального профиля позвоночника, рассчитываются не только в соответствии с описанной выше формулой, но и с учетом смещения SVA в пределах от 0 до 3 см кпереди. Однако авторами описывается допустимое восстановление сагиттального профиля до субоптимальных значений, при которых SVA смещена от 3 до 8 см, а сумма значений PI, LL и TK соответствует заданному интервалу от  $20^\circ$  до  $45^\circ$  (Makhni M.C. et al., 2018).

Таким образом, нами было предложено сравнение методик восстановления оптимального и субоптимального сагиттального профиля с учетом различной коррекции величины поясничного лордоза и мероприятий, направленных на профилактику развития ППК.

Расчеты проводились на основании анализа телерентгенограмм в программной среде «Surgimap version 2.2.9.9».

Особенностью хирургического этапа лечения пациентов **первой группы**, включающей в себя 36 пациентов, являлась величина коррекции поясничного лордоза, не превышающая  $30^\circ$ , вне зависимости от требуемой для восстановления

оптимальных позвоночно-тазовых соотношений. В данной группе мы достигали субоптимальных значений сагиттального профиля с суммой значений PI, LL и ТК от 20° до 45° и смещением SVA кпереди не более 8 см.

#### Клинический пример 1.

Больная Ш., 56 лет, госпитализирована в нашу клинику 24.11.2014 г. с диагнозом: Дегенеративный сколиоз поясничного отдела позвоночника, стеноз позвоночного канала на уровне L<sub>2</sub>-S<sub>1</sub>, состояние после микродискэктомии L<sub>2-3</sub> (2001 год), L<sub>4-5</sub> (2009 год), асептический послеоперационный дисцит L<sub>2-3</sub>, нарушение фронтального и сагиттального баланса позвоночника. ИБС, стенокардия напряжения I-II фк. Гипертоническая болезнь III стадии (риск 4, ХСН I-II ст. (NYHA). Сахарный диабет II тип, средней степени тяжести. Ревматоидный полиартрит I ст. активности, поздняя стадия. Токсико-дисметаболическая полинейропатия, моторно-сенсорная форма. Оклюзивный тромбоз подколенной вены правой н/к, без флотации.

При поступлении предъявляла жалобы на интенсивные боли в поясничном отделе позвоночника с иррадиацией в нижние конечности, более выраженные справа, усиливающиеся при движениях и ходьбе (до 9 баллов по ВАШ в пояснице, 8 баллов в правой и 6 баллов в левых нижних конечностях). Боли в спине беспокоят более 25 лет. Дважды оперирована на позвоночнике: 2001 год – микродискэктомия L<sub>2-3</sub>, 2009 год – микродискэктомия L<sub>4-5</sub> по поводу межпозвоночных грыж. Все время сохранялись и постепенно прогрессировали боли в пояснице и нижних конечностях. К 2014 году люмбалгия и радикулярный болевой синдромы значительно усилились. Консервативное лечение стало неэффективно.

На момент госпитализации общее состояние средней степени тяжести. Анталгическая походка с опорой на ходунки. Объективно выявлены признаки радикулопатии L<sub>2</sub> с двух сторон, L<sub>3</sub> справа, L<sub>4</sub> слева, L<sub>5</sub>, S<sub>1</sub> справа. Рентгенологическое обследование показало выпрямление поясничного лордоза, нарушение фронтальной оси поясничного отдела позвоночника за счет

выраженных дегенеративно-дистрофических изменений с формированием правостороннего поясничного сколиоза. Выявлены признаки асептического дисцита L<sub>2-3</sub> и L<sub>4-5</sub>, комбинированный дискогенный и артрогенный стеноз позвоночного канала (рис. 42).

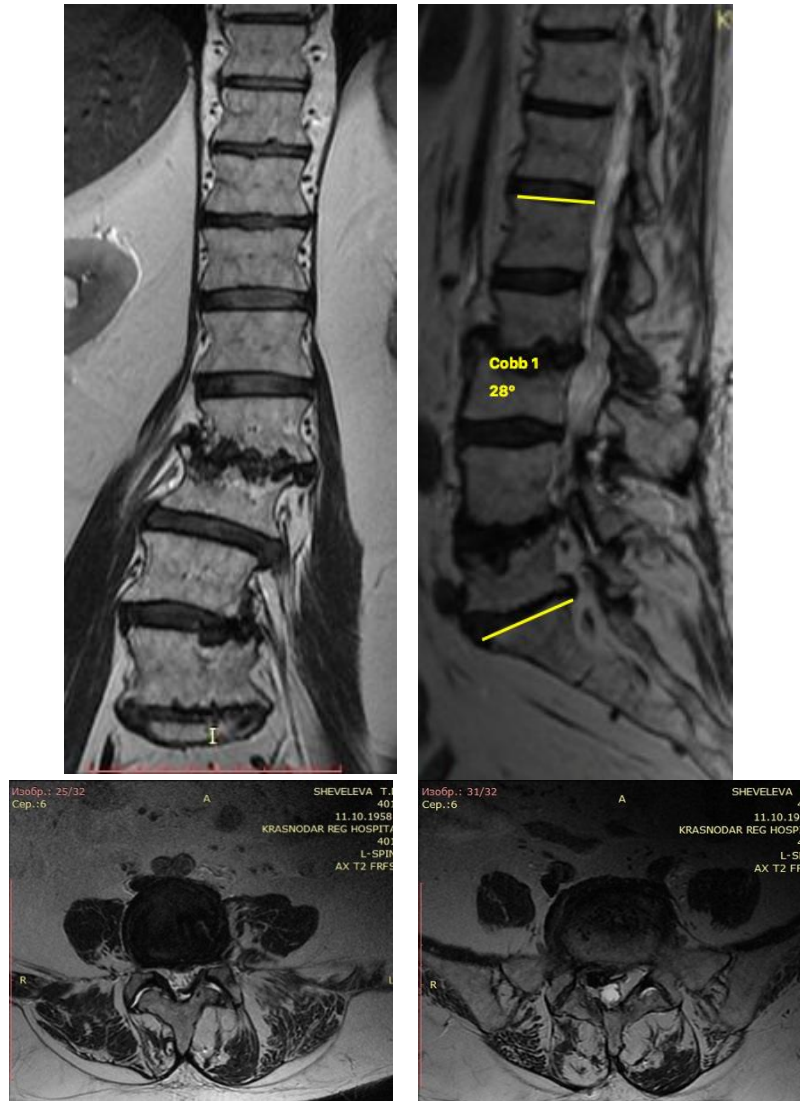


Рисунок 42. МРТ поясничного отдела позвоночника, T2 режим, сагиттальные и аксиальные сканы пациентки Ш., 56 лет. Комбинированный стеноз позвоночного канала на уровне L<sub>2</sub>-S<sub>1</sub>

После обследования и подготовки – 26.11.14 больной выполнена операция: ТПФ L<sub>2</sub> - S<sub>1</sub> – os ilium 12-ти винтовой системой. Декомпрессивная фасет-флаэктомия на уровне L<sub>2</sub>-L<sub>5</sub>. Ламинэктомия L<sub>2</sub>-L<sub>3</sub>. Менингоградикулолиз на уровне

L<sub>2-3</sub>, L<sub>4-5</sub>. Коррекция сколиотической деформации. TLIFL<sub>2</sub>-S<sub>1</sub>. Продолжительность операции - 420 мин. Кровопотеря - 800 мл.

Интраоперационно был выявлен критический стеноз на всех оперированных уровнях, а также эпидуральный фиброз на уровнях L<sub>4-5</sub> слева и L<sub>2-3</sub> справа. На уровне L<sub>2-3</sub> обнаружен грубый задне-боковой рубец (вероятно повреждение ТМО в ходе предыдущей операции с выполненной пластикой). На обоих уровнях (L<sub>2-3</sub> и L<sub>4-5</sub>) произведен менингоградикулолиз. На операции достигнута коррекция фронтального и сагиттального профилей позвоночника, выполнена адекватная декомпрессия (рис. 43).

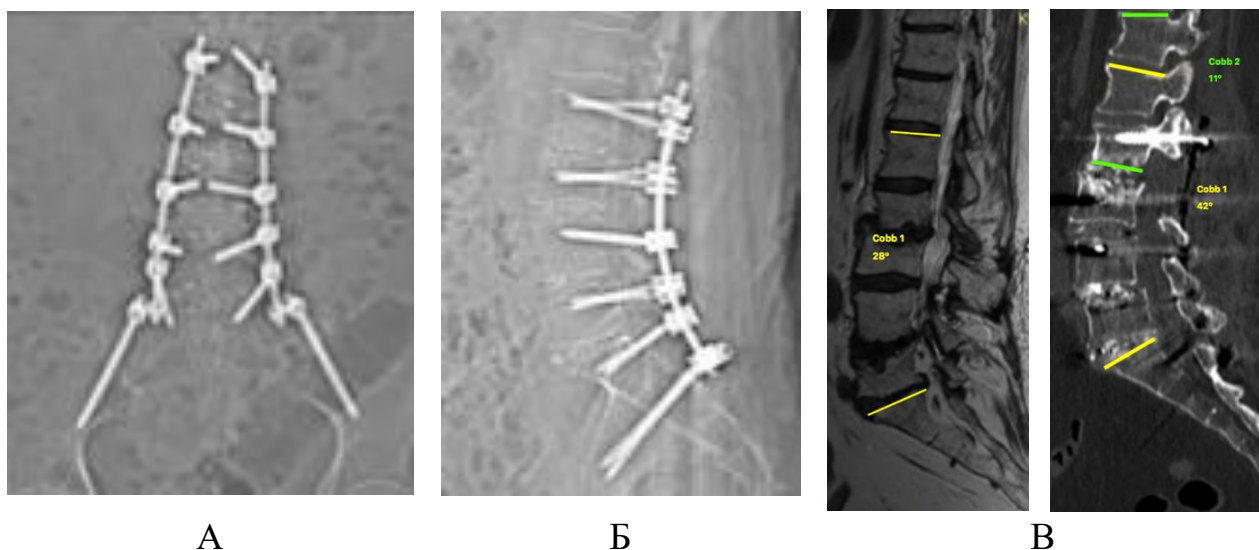


Рисунок 43. Топограммы после хирургического вмешательства (А, Б); результат выполненной коррекции (В)

В результате операции поясничный лордоз увеличился с 28° до 42° (коррекция составила 14°). ППУ после операции составлял 11°.

В раннем послеоперационном периоде назначалась гормональная, сосудистая и противовоспалительная терапия в сочетании с ФТЛ и ЛФК. Рана зажила первичным натяжением. Выписана под наблюдение невролога на 21-е сутки.

После выписки больная проходила реабилитацию в амбулаторных условиях по месту жительства. Полностью адаптировалась к бытовым условиям.



Самостоятельно передвигалась без средств дополнительной опоры на расстояния до 2-4 км. ежедневно.

Через 9 месяцев после операции (14.08.2015) после неловкого движения отметила резкое усиление болевого синдрома в верхне-поясничном отделе позвоночника (до 9 баллов по ВАШ). Любые движения в постели вызывали резкое усиление боли.

Доставлена в клинику. Выполнена компьютерная томография, которая выявила дестабилизацию винтов в теле  $L_2$  и перелом тела  $L_1$ . Транспедикулярные винты в телах  $L_3$ ,  $L_4$ ,  $L_5$ ,  $S_1$  и osilium стабильны. В межтеловых промежутках  $L_2$ - $S_1$  формирующийся костный блок (рис. 44).



Рисунок 44. КТ-граммы с диагностированной ППН на уровне  $L_1$ - $L_2$

Для устранения возникшего осложнения больной выполнено этапное хирургическое лечение. Первый этап 18.08.2015: рефиксация позвоночника, ТПФ  $Th_{10}$  - Os.  $\Pi ium$  17-винтовой системой с использованием ревизионных винтов на уровне  $L_2$  ( $d=7$ мм). Продолжительность операции – 75 мин. Кровопотеря 200 мл. Выполненная ревизионная операция купировала болевой синдром. Второй этап 15.09.2015: левосторонняя торако-френотомия, корпорэктомия  $L_1$ , корпородез  $Th_{12}$  –  $L_2$  имплантом контейнерного типа с аутокостью. Продолжительность операции – 100 мин, кровопотеря 300 мл. На контрольной КТ фронтальный и

сагиттальный профиль позвоночника в норме, положение винтов удовлетворительное. Межтеловой имплант Th12-L2 позиционирован правильно. На уровне TLIF L<sub>2</sub>-S<sub>1</sub> – сформированный костный блок (рис. 45). Обе раны зажили первичным натяжением. Осложнений не отмечалось.

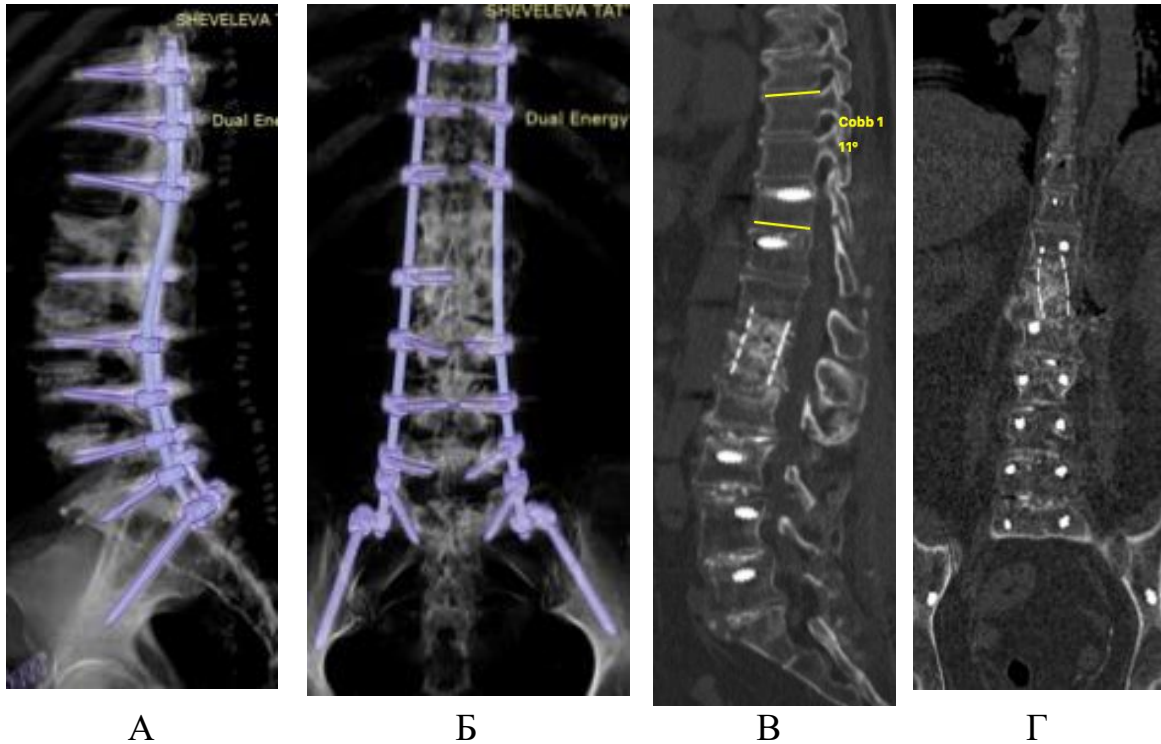


Рисунок 45. КТ в режиме VRT (А, Б) и MPR, сагиттальный скан (В) и фронтальный скан (Г). Визуализируется установленная металлоконструкция на уровне Th<sub>10</sub> - Os. Iium с величиной ППУ 11°

Рентгенологически результаты ревизионного вмешательства оценены как хорошие. ППУ составлял 11°. Пациентка соблюдала предписанный ей режим, продолжала реабилитацию.

Через 3 месяца после выполнения трансплеврального корпоротомии, 02.12.2015 - внезапное появление болевого синдрома в ниже-грудном отделе позвоночника (9 баллов по ВАШ). Больная доставлена в клинику. Выполненная компьютерная томография выявила дестабилизацию винтов в Th<sub>10</sub>, перелом тела Th<sub>9</sub> (рис. 46). Винты каудальнее Th<sub>10</sub> без признаков дестабилизации. На уровне

TLIF L<sub>2</sub>-S<sub>1</sub> межтеловой костный блок. Межтеловой имплант Th<sub>12</sub>-L<sub>2</sub> без признаков дестабилизации в стадии формирующегося костного блока.



Рисунок 46. КТ поясничного отдела пациентки Ш, 57 лет. Коронарный, сагиттальный и аксиальный КТ срезы области P<sub>1</sub>F, нестабильность винтов на уровне Th<sub>10</sub>

Повторно произошедший P<sub>1</sub>F и появившийся P<sub>1</sub>K являлись показанием к ревизионной операции, предусматривающей увеличение протяженности фиксации в краниальном направлении. Было принято решение об использовании гибридной фиксации с ламинарными краниальными элементами, а также профилактики P<sub>1</sub>F путем вертебропластики смежного позвонка, краниального по отношению к стабилизируемым ПДС. С учетом планируемой схемы стабилизации позвоночника верхним позвонком для имплантации транспедикулярных винтов был выбран Th<sub>6</sub>. Позвонки Th<sub>4</sub> и Th<sub>5</sub> мы оставили для профилактических мероприятий, в качестве которых была запланирована пункционная вертебропластика Th<sub>4</sub> и Th<sub>5</sub> позвонков и ламинарная фиксация системой «Universal Clamp» за дугу Th<sub>5</sub>. В случае отсроченного возникновения перелома

(PJF) над металлоконструкцией и позвонками с профилактической вертебропластикой (Th<sub>3</sub>) мы оставили шанс на продление металлоконструкции до уровня окципитоспондилодеза с точками фиксации в верхне-грудном отделе (Th<sub>1</sub>, Th<sub>2</sub>).

7.12.2015 выполнена операция: перемонтаж системы транспедикулярной фиксации позвоночника ТПФ Th<sub>6</sub> - Os ilium с дополнительной ламинарной фиксацией Th<sub>5</sub> системой «Universal Clamp». Пункционная цементная вертебропластика тел Th<sub>4</sub>, Th<sub>5</sub>. С целью уменьшения травматичности, длительности операции и кровопотери было принято решение о не полном доступе только к краниальной части спинальной конструкции и не полной замене стержней. Для этого использовали коннекторы для штанг d=5,5 мм (конец в конец). Продолжительность операции составила – 60 мин, кровопотеря – 400 мл.

Контрольный осмотр пациентки в декабре 2017 года (рис. 47). Самочувствие удовлетворительное. Передвигается самостоятельно без дополнительных средств опоры. Болевой синдром в спине в покое - 2 балла, при ходьбе – 4 балла по ВАШ. Болевой синдром в ногах в покое – 1 балл, при ходьбе – 2 бала по ВАШ. В течении дня ходит до 4-6 км.



Рисунок 47. Внешний вид пациентки после окончания хирургического лечения, восстановление глобального баланса позвоночника

По данным контрольной КТ позвоночник фиксирован протяженной гибридной металлоконструкцией Th<sub>5</sub>-os ilium. В телах Th<sub>4</sub>, Th<sub>5</sub> выполнена вертебропластика. Уровень Th<sub>5</sub> фиксирован ламинарной лентой «Universal Clamp». На уровне Th<sub>9-11</sub> соединительные коннекторы. Положение межтеловых имплантов удовлетворительное. Признаков дестабилизации металлоконструкции нет (рис. 48).

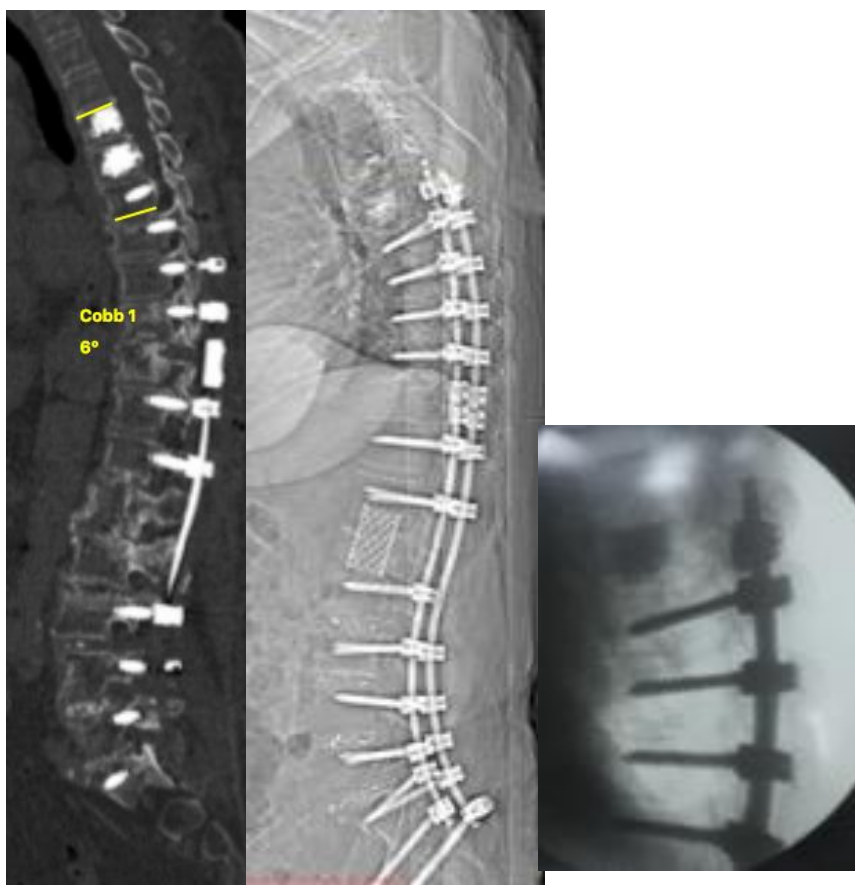


Рисунок 48. Рентгенологические результаты хирургического лечения.

Конструкция стабильная. Баланс туловища сохранен. ППУ – 6°

Представленный клинический случай показывает, что при использовании ТПФ наиболее слабым в механическом отношении является верхний из стабилизированных позвонков и смежный с ним краниально расположенный позвонок. Несмотря на наличие остеопороза ни один из винтов в средней и нижней части конструкции за время наблюдения не был дестабилизирован. Выполнение межтелового спондилодеза обеспечило формирование вентрального костно-металлического блока, что на наш взгляд гарантирует стабильность металлоконструкции на протяжении сросшихся ПДС. Тем не менее, верхний инструментированный позвонок и смежный с ним краниальный позвонок были проблемными в каждом случае. Причиной этому, по нашему мнению, являются особые не физиологические механические условия, возникающие в переходной зоне между жестко фиксированными ПДС и свободным подвижным краниально

расположенным участком позвоночника. При этом остаточный ППУ, который в каждом случае составлял  $11^\circ$  обуславливал возникновение PЖ. Наличие остеопороза создает предпосылки для более быстрой дестабилизации проксимальной пары винтов и перелома краниального позвонка.

В нашем случае использование вертебропластики позволило предотвратить возможные перелом тел позвонков, смежных с транспедикулярной системой. Использование ламинарной ленточной фиксации за дугу Th<sub>5</sub> позволило обеспечить перевод ригидной протяженной системы в полуригидную в ее проксимальном отделе, что так же способствовало профилактике PЖ и PЖК.

Во **вторую группу** с коррекцией поясничного лордоза не более  $30^\circ$  и профилактической ламинарной фиксацией смежного вышележащего позвонка вошли 24 пациента. Необходимо было использовать гипокоррекцию с частичным восстановлением баланса и методами профилактики ППН в виде воссоздания полуригидной системы в проксимальной зоне за счет ламинарной ленточной фиксации. Все пациенты прошли контрольное обследование через 24 месяца после операции и показали наилучшие результаты в отношении возникновения ППК, ППН и НМК.

#### Клинический пример 2.

Больной Б., 64 лет, был госпитализирован в НИИ ККБ №1 НХО №3 26.03.2014 г. с диагнозом: ДДЗП. Распространенный остеохондроз. Деформирующий спондилоартроз поясничного отдела. Фронтальный поясничный сколиоз. Комбинированный спинальный стеноз L<sub>1</sub>-L<sub>2</sub>-L<sub>3</sub>-L<sub>4</sub>-L<sub>5</sub> тип С-D по С. Schizas (2010). Синдром каудальной компрессии. Атеросклероз. ХСН1. ФК2 по NYHA. Нефроангиосклероз. ХБП С4. Хронический обструктивный бронхит. Хронический пиелонефрит (рис. 49).

Жалобы: выраженные боли в поясничном отделе позвоночника по ВАШ 9 баллов, вынужденное положение тела, боли в ногах (по ВАШ 8 баллов), невозможность передвигаться на расстояния более 15 метров.





Рисунок 49. Внешний вид деформации позвоночника пациента Б.  
Визуализируется выраженный фронтальный и сагиттальный дисбаланс

Объективно: состояние больного средней тяжести, обусловлено неврологическим дефицитом и выраженным корешковым болевым синдромом. Правильного телосложения, нормального питания. Кожные покровы обычной окраски, чистые. Дыхание самостоятельное, адекватное, аускультативно везикулярное. Тоны сердца приглушены, ритм правильный. ЧСС 80 в 1 мин, АД 130/80 мм рт. ст. Живот мягкий, безболезненный при пальпации. Печень и селезёнка не увеличены. Симптом поколачивания отрицательный с 2-х сторон. Функции тазовых органов нарушены.

Неврологический статус: в сознании, ориентирован. Зрачки симметричные, фотореакции живые. Черепная иннервация не нарушена. Анталгическая поза, болезненность при пальпации в паравертебральных точках L<sub>1</sub>-L<sub>5</sub>, гипестезия болевой чувствительности по корешкам L<sub>2</sub>, L<sub>3</sub>, L<sub>4</sub>, L<sub>5</sub> слева, L<sub>2</sub>, L<sub>3</sub>, L<sub>4</sub> справа, с гиперестезией. Симптомы натяжения слева положительные с угла 30°, справа 50°.



коленные рефлексы, ахиллов и подошвенный рефлексы угнетены. Парез разгибателей левой стопы до 3б. Менингеальных симптомов нет. ФТО нарушены по типу недержания.

Рентгенологически: Изменение фронтальной оси поясничного отдела позвоночника за счет выраженных дегенеративно-дистрофических изменений поясничного отдела позвоночника с формированием левостороннего поясничного сколиоза. Выпрямление поясничного лордоза. Дегенеративный комбинированный стеноз позвоночного канала с уровня L<sub>1</sub>-L<sub>5</sub> тип C/D по C.Schizas (Schizas C et al., 2010). Рентгенологические параметры: PI - 54°, PT - 29°, LL - 28°. Данные лучевого обследования представлены на рисунке 50.

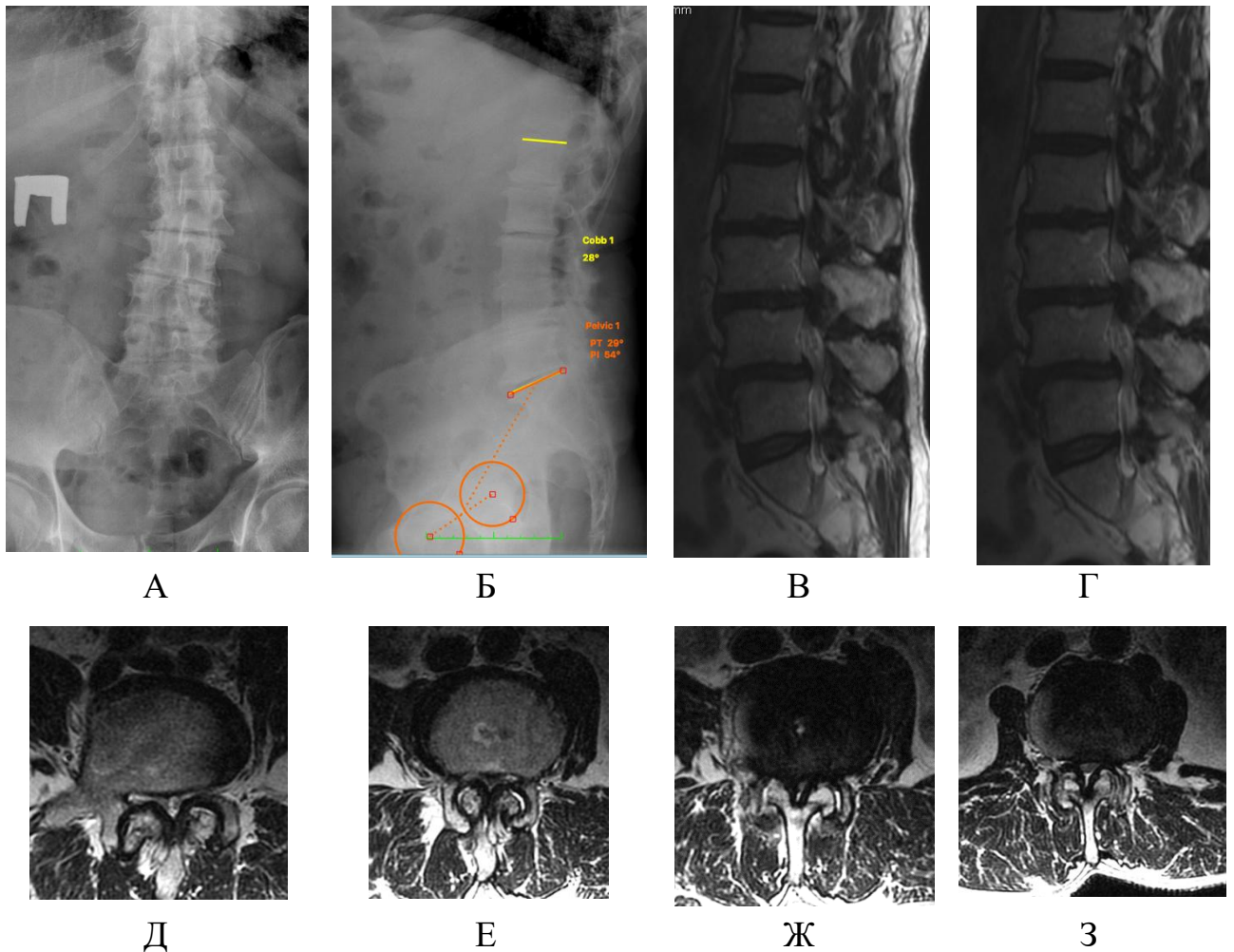


Рисунок 50. Данные лучевого обследования пациента Б:

А, Б – рентгенограммы поясничного отдела; В, Г – МРТ сагиттальные реконструкции; Д, Е, Ж, З – МРТ аксиальные срезы на пораженных уровнях. Визуализируется выраженный стеноз позвоночного канала на уровне L<sub>1</sub>-L<sub>5</sub>

После обследования и подготовки 28.03.2014 г. Выполнена операция: Двусторонняя декомпрессивная фасет-флапэктомия L<sub>1</sub>-L<sub>2</sub>, ламинэктомия L<sub>3</sub>, L<sub>4</sub>, L<sub>5</sub>, ТПФ на уровне L1-S1-os ilium, с дополнительной ламинарной фиксацией Th<sub>12</sub> системой «Universal Clamp». Продолжительность операции 460 мин., кровопотеря – 2800 мл. Послеоперационный период протекал без осложнений, рана зажила первичным натяжением. Пациент выписан в удовлетворительном состоянии через 12 суток после операции. После выписки проходил долечивание и реабилитацию по месту жительства. Послеоперационные рентгенограммы представлены на рисунке 51.

В итоге, после операции, достигнута полная декомпрессия позвоночного канала на всех пораженных уровнях, полная коррекция фронтальной оси, а также коррекция поясничного лордоза, которая в данном случае составила 20°. Достигнутый угол коррекции был запрограммирован на этапе предоперационного планирования и полностью воспроизведен в ходе выполнения хирургического вмешательства. Полученный после операции поясничный лордоз (LL = 48°) является меньшим объемом от показанной пациенту коррекции, с учетом его пояснично-тазовых параметров (PI - 54°, PT - 29).

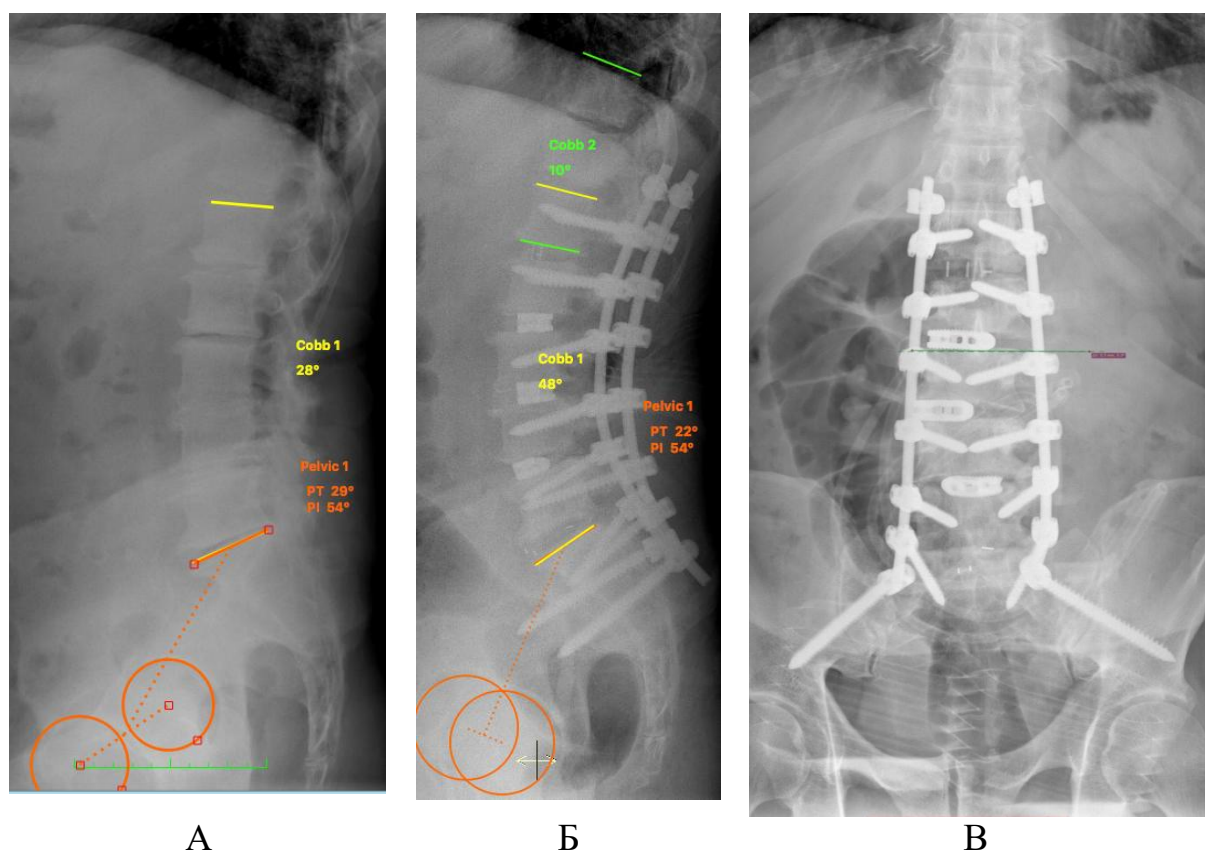


Рисунок 51. Послеоперационные рентгенограммы: А – рентгенограмма поясничного отдела в боковой проекции пациента Б., 64 лет, до операции; Б – рентгенограмма поясничного отдела в боковой проекции после операции; В – рентгенограмма поясничного отдела в прямой проекции после операции. Визуализируется установленная металлоконструкция на уровне Th<sub>12</sub> - os ilium с величиной ППУ 10°

Согласно данным С. Barrey с соавт. (2013) при наличии имеющихся тазовых параметров (PI=54, PT=29) пациент имел принадлежность к группе III и его теоретический лордоз должен был составлять  $61,5 \pm 8,4$  или PI+10. Таким образом, мы осуществили частичную коррекцию имеющихся сагиттальных нарушений и в качестве мер профилактики ППК и ППН применили дополнительную ламинарную фиксацию за дугу вышележащего позвонка. При этом послеоперационный анализ лучевых данных показал наличие ППУ в 10°.

Пациент прошел полноценный курс реабилитации, включая ЛФК, ФТЛ, ИРТ, медикаментозную терапию и через 12 месяцев приступил к своей работе

сварщиком. Через 3, 6, 9, 12 месяца проводились плановые консультации с осмотром пациента и выдачей рекомендаций.

Контрольный осмотр через 24 месяца после операции. Чувствует себя удовлетворительно. Физически активен. Работает полноценный график с периодическим отдыхом. Болевой синдром умеренный до 2 балла по ВАШ в покое и до 4-5 баллов при чрезмерной нагрузке. Отдых в течение 15-20 мин приносит выраженное облегчение. Контрольная рентгенография и КТ-томография указывает на стабильность металлоконструкции, состоявшийся костный блок, а также сохранение достигнутых после операции параметров сагиттального баланса. Данные рентгенографии через 24 месяца представлены на рисунке 52.

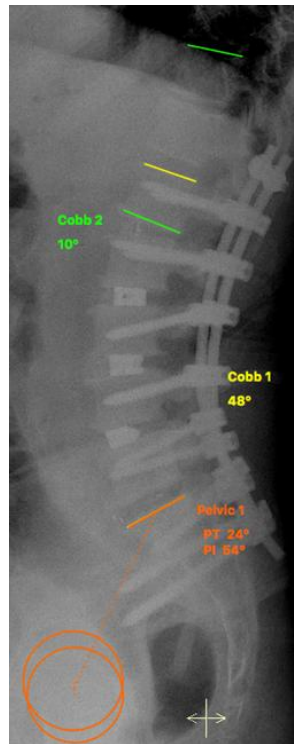


Рисунок 52. Контрольная рентгенография через 24 мес. после операции. Сохранены достигнутые после операции параметры LL (48°) и ППУ (10°)

Анализ представленного случая показывает, что гипокоррекция поясничного лордоза (до 30°) в совокупности с профилактической ламинарной фиксацией вышележащего позвонка в состоянии обеспечить пациенту клиническое благополучие без возникновения ППК и НМК в отдаленном послеоперационном периоде даже при пограничном значении ППУ в 10°.

Таким образом, у пациентов данных 1-й и 2-й групп нами был исключен такой значимый фактор риска в развитии ППК и нестабильности МК как коррекция поясничного лордоза более 30°.

**Третья группа**, состоящая из 20 пациентов, была прооперирована по принципам полного восстановления оптимальных позвоночно-тазовых соотношений с профилактической вертебропластикой смежного вышележащего позвонка. У пациентов данной группы мы достигали оптимальных значений сагиттального профиля с суммой значений PI, LL и ТК от 20° до 45° и смещением SVA кпереди не более 3 см.

### Клинический пример 3.

Пациентка 3., 62 лет была госпитализирована в НИИ ККБ№1 НХОН№3 в 2013 г. с диагнозом: ДДЗП. Распространенный остеохондроз. Деформирующий спондилоартроз поясничного отдела. Дегенеративный сколиоз поясничного отдела. Стеноз позвоночного канала на уровне L<sub>2</sub>-L<sub>3</sub>-L<sub>4</sub>-L<sub>5</sub> тип C-D по С. Schizas (2010). Нижний парапарез.

Сопутствующая патология: Гипертоническая болезнь III стадии, (риск 4, ХСН I-II ст. (NYHA). Бронхиальная астма. Системный остеопороз. Гемангиома L<sub>2</sub>.

Жалобы: на выраженные боли в поясничном отделе позвоночника по ВАШ 8 б, вынужденное положение тела, боли в ногах (по ВАШ 6б), слабость в ногах, невозможность передвигаться на расстояния более 100 метров.

Объективно: состояние больной средней тяжести, обусловлено неврологическим дефицитом и выраженным корешковым болевым синдромом. Правильного телосложения, повышенного питания. Кожные покровы обычной окраски, чистые. Дыхание самостоятельное, адекватное, аускультативно везикулярное. Тоны сердца приглушены, ритм правильный. ЧСС 76 в 1 мин, АД 130/80 мм рт. ст. Живот мягкий, безболезненный при пальпации. Печень и селезёнка не увеличены. Симптом поколачивания отрицательный с 2-х сторон. Функции тазовых органов не нарушены.

Неврологический статус: в сознании, ориентирована. Зрачки симметричные, фотореакции живые. Черепная иннервация не нарушена. Анталгическая поза, болезненность при пальпации в паравертебральных точках L<sub>1</sub>-L<sub>5</sub>, гипестезия по корешкам L<sub>3</sub>, L<sub>4</sub>, L<sub>5</sub> слева, L<sub>3</sub>, L<sub>4</sub> справа. Симптомы натяжения слева положительные с угла 40°, справа 60°, коленные рефлексы, ахиллов и подошвенный рефлексы снижены. Парез в нижних конечностях до 3б. Менингеальных симптомов нет. ФТО не нарушены.

Рентгенологически: Изменение фронтальной оси поясничного отдела позвоночника за счет выраженных дегенеративно-дистрофических изменений поясничного отдела позвоночника с формированием правостороннего поясничного сколиоза. Дегенеративный комбинированный стеноз позвоночного канала с уровня L<sub>2</sub>-L<sub>5</sub> тип C/D по С. Schizas (2010). Рентгенологические параметры: отклонение центральной оси во фронтальной плоскости вправо на 26,7 мм, смещение сагиттальной вертикальной оси кпереди на 8,8 см. PI - 56°, PT - 27°, LL - 32°. Данные лучевого обследования представлены на рисунке 53.

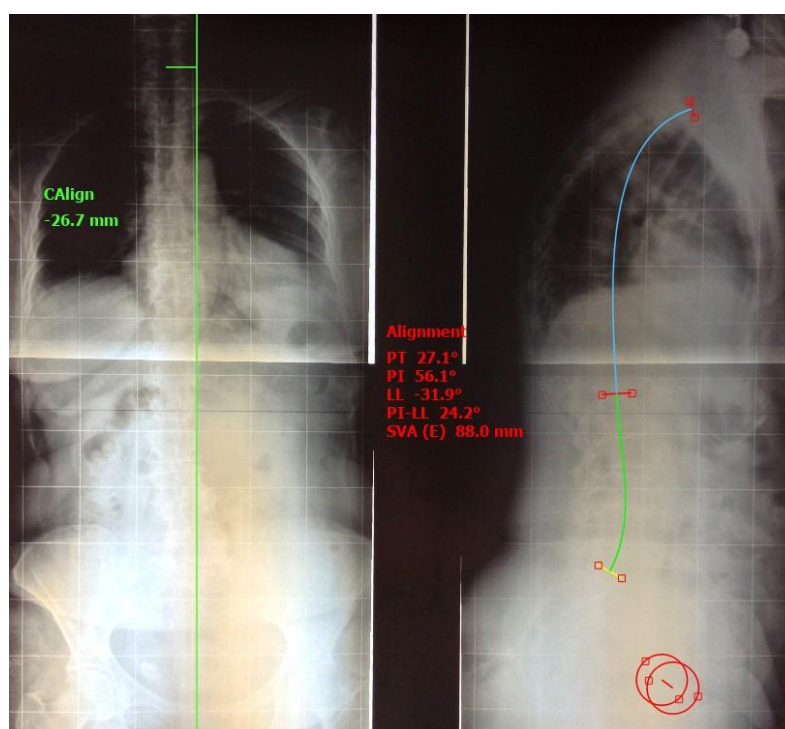


Рисунок 53. Телерентгенограмма пациентки 3., 62 лет до операции  
(комментарии в тексте)



После обследования и предоперационной подготовки 12.02.13 г. выполнена операция: Двусторонняя декомпрессивная фасет-флаэктомия L<sub>1</sub>-L<sub>5</sub>. Спондилосинтез Th<sub>10</sub>-S<sub>1</sub>-os ilium системой «Expedium De Puy Synthes» и «Transmed» с установкой винтов на цемент «De Puy Synthes». Спондилодез L<sub>2</sub>-L<sub>3</sub>-L<sub>4</sub>-L<sub>5</sub>-S<sub>1</sub> кейджами «Concord De Puy Synthes». Вертебропластика L<sub>2</sub> позвонка костным цементом «De Puy Synthes».

Продолжительность операции 440 мин., кровопотеря – 2500 мл. Послеоперационный период протекал без осложнений, рана зажила первичным натяжением.

Пациентка выписана в удовлетворительном состоянии через 16 суток после операции. После выписки проходила реабилитацию по месту жительства. Послеоперационные рентгенограммы представлены на рисунке 54.

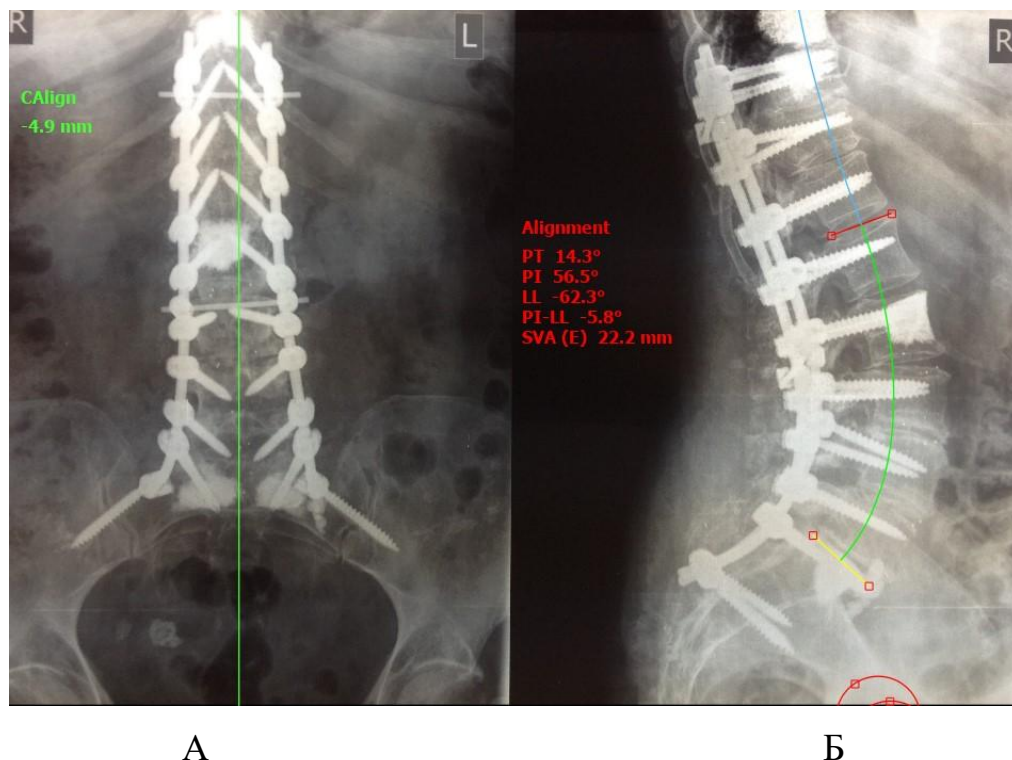


Рисунок 54. Рентгенограмма пациентки З., 62 лет после операции: А – прямая проекция, Б – боковая проекция. Визуализируется установленная металлоконструкция на уровне Th<sub>10</sub>-os ilium с профилактической вертебропластикой Th<sub>9</sub> позвонка

В результате оперативного лечения достигнута полная декомпрессия позвоночного канала на всех пораженных уровнях, полная коррекция фронтальной оси, а также коррекция поясничного лордоза, которая в данном случае составила  $30^\circ$ . Достигнутый угол коррекции был запрограммирован на этапе предоперационного планирования и полностью воспроизведен в ходе выполнения хирургического вмешательства. Через 18 месяцев после оперативного лечения пациентка отметила появление нарастающего болевого синдрома грудном отделе позвоночника (6 баллов по ВАШ) и увеличение наклона туловища кпереди. Пациентке выполнено рентгенографическое исследование, по результатам которого выявлено формирование ППК с увеличением ППУ до  $38^\circ$  (рис. 55).

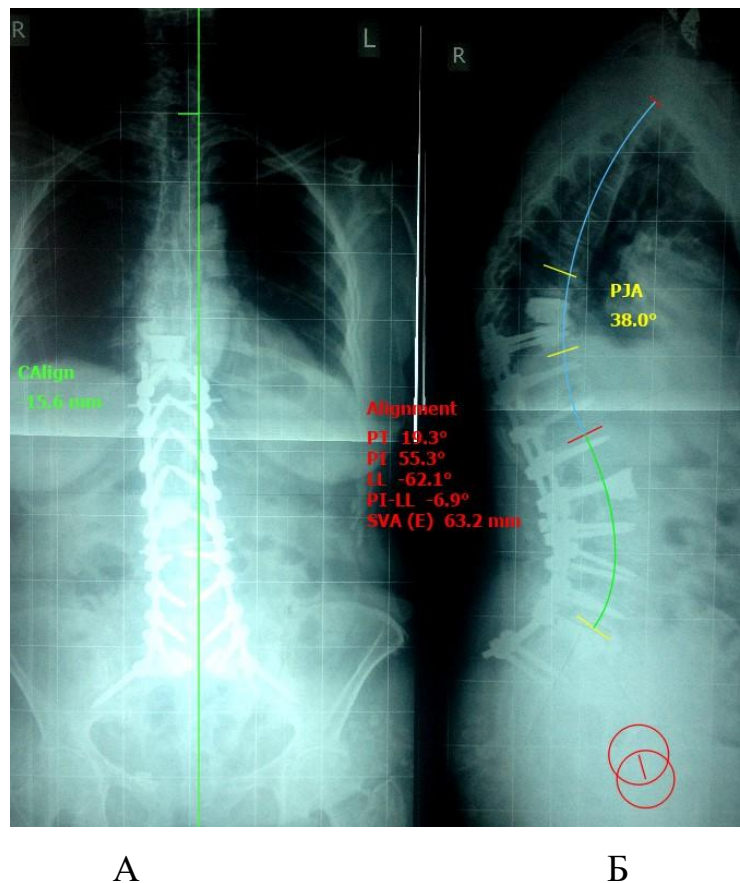


Рисунок 55. Телерентгенограмма пациентки 3., 63 лет, 18 месяцев после операции: А – прямая проекция, Б – боковая проекция. Визуализируется ППУ  $38^\circ$ , смещение SVA кпереди на 63 мм



Выполненная компьютерная томография выявила выраженные дегенеративные изменения на уровне Th<sub>9</sub>-Th<sub>10</sub> (рис. 56).

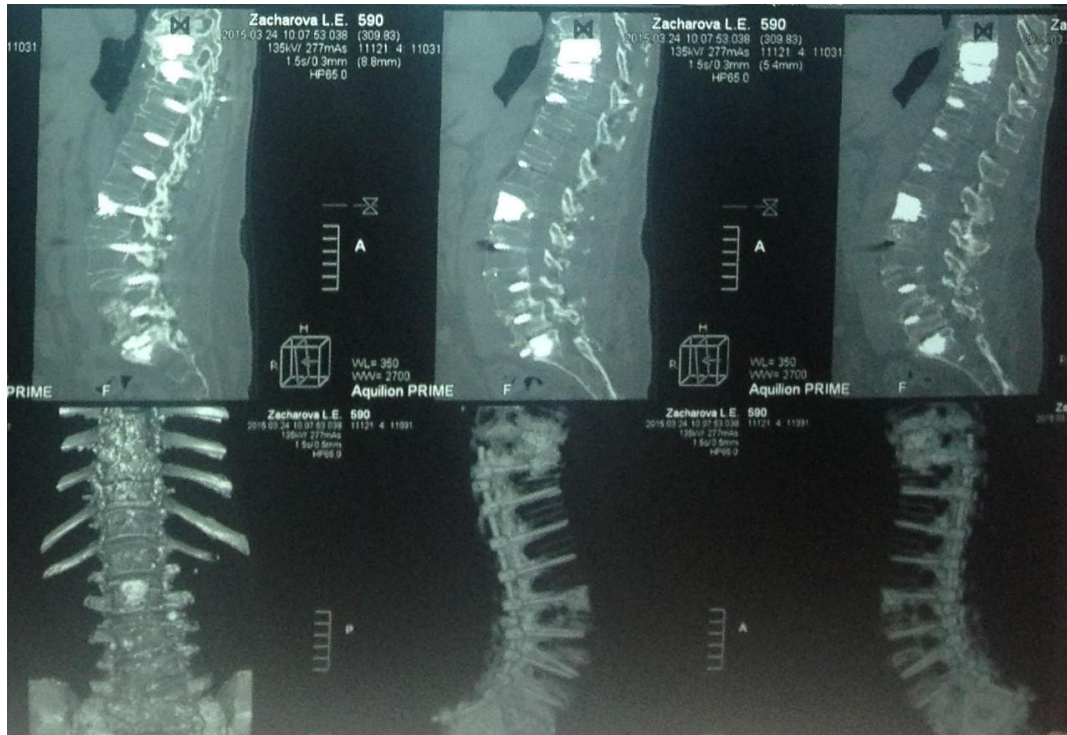


Рисунок 56. КТ пациентки З., 63 лет. 18 месяцев после операции. Резко выраженное снижение высоты межпозвонкового диска Th<sub>9</sub>-Th<sub>10</sub>

Винты в позвонках Th<sub>10</sub>-L<sub>5</sub> без признаков дестабилизации. Винты на уровне S<sub>1</sub> и подвздошных костей с выраженной зоной остеолиза (рис. 57).

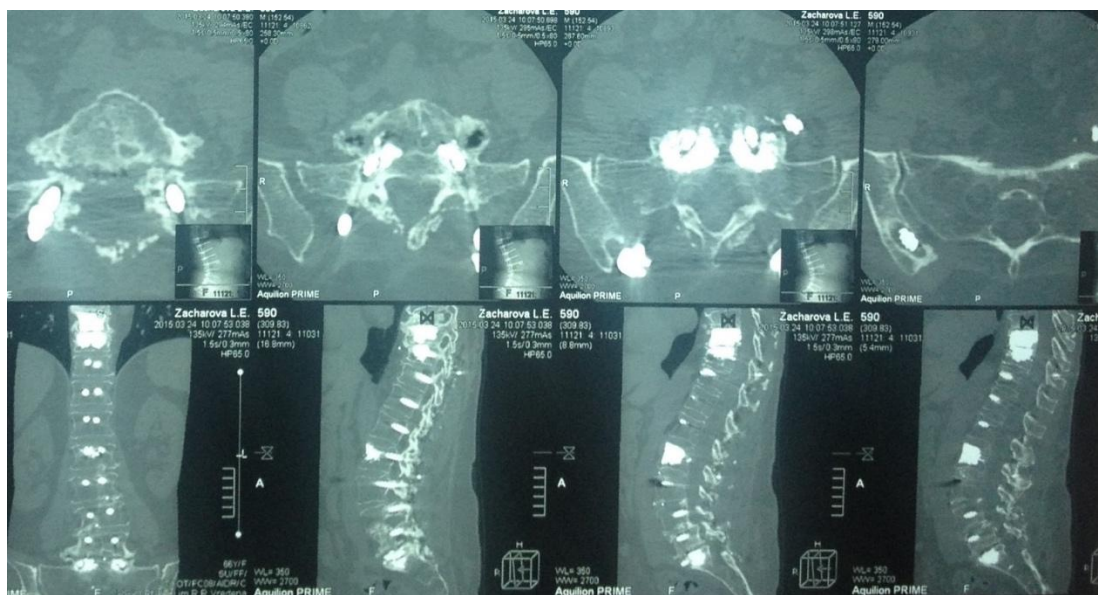


Рисунок 57. КТ пациентки З., 63 лет. 18 месяцев после операции

Для восстановления сагиттального профиля позвоночника пациентке выполнена клиновидная остеотомия L<sub>3</sub> позвонка (PSO), перепроведение тазовых винтов и установка винтов большего диаметра в S<sub>1</sub> (рис. 58).

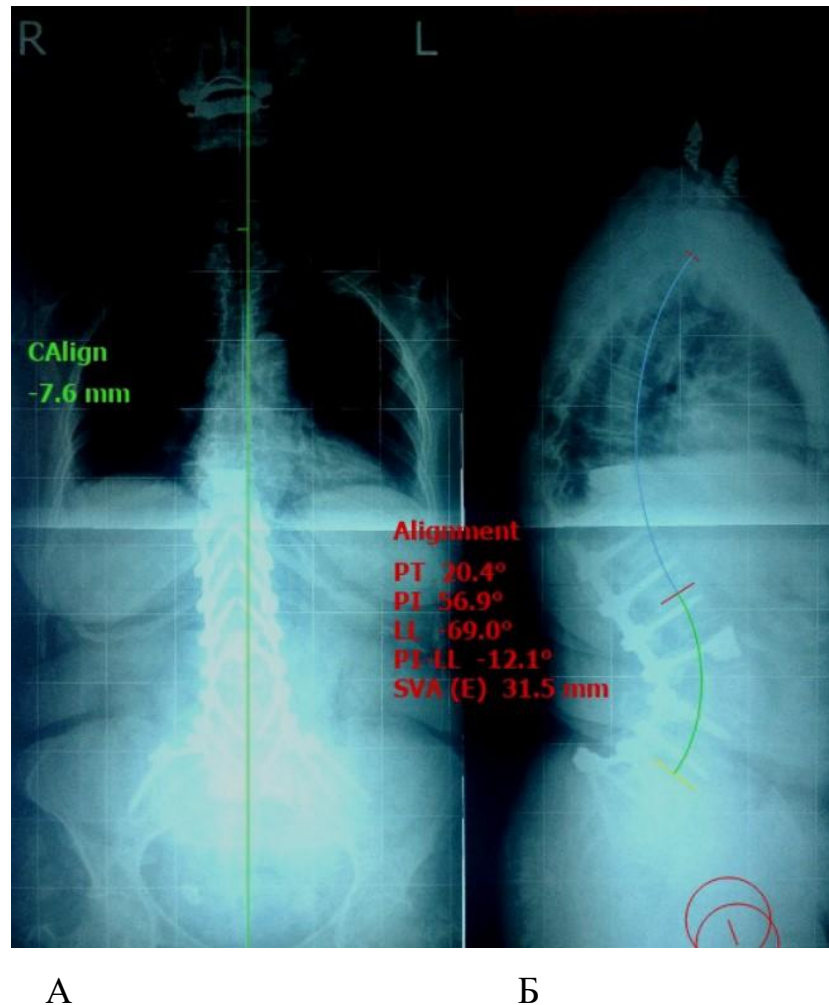


Рисунок 58. Телерентгенограмма пациентки З., 63 лет, после ревизионной операции: А – прямая проекция; Б – боковая проекция

Продолжительность операции 380 мин., кровопотеря – 1100 мл. Послеоперационный период протекал без осложнений, рана зажила первичным натяжением. Пациентка выписана в удовлетворительном состоянии через 12 суток после операции. После выписки проходила реабилитацию по месту жительства.

Через 3, 6, 9, 12 месяца проводились плановые консультации с осмотром пациента и выдачей рекомендаций. Контрольный осмотр через 24 месяца после

операции. Состояние удовлетворительное. Болевой синдром до 3 балла по ВАШ в покое и до 4-5 баллов при значительной нагрузке.

**В четвертую группу** мы включили 60 пациентов, оперированных также с полным восстановлением глобального баланса позвоночника без каких-либо дополнительных методов профилактики развития ППК и НМК.

#### Клинический пример 4.

Пациентка Д., 62 лет поступила в клинику с диагнозом: Дегенеративный сколиоз поясничного отдела позвоночника. Стеноз позвоночного канала на уровне L<sub>2</sub>-S<sub>1</sub>. Нарушение фронтального и сагиттального баланса. ИБС. Стенокардия напряжения I-II ФК. Гипертоническая болезнь III стадии, риск 4, ХСН I-II ст. (NYHA). Склеродермия. Синдром Рейно. Ожирение I степени.

Жалобы: на выраженные боли в поясничном отделе позвоночника (по ВАШ – 8 баллов). Боли усиливались при любых видах движений, ходьбе до 9 баллов (по ВАШ). Кроме этого, она отмечала наличие выраженного болевого синдрома в нижних конечностях по ВАШ справа 7 баллов, слева 8 баллов.

Объективно: Общее состояние средней степени тяжести. Походка с опорой на трость и наклоненным вперед туловищем. Кожные покровы и видимые слизистые обычной окраски, сухие. Мышечная система развита удовлетворительно. Аускультативно: дыхание везикулярное. Число дыханий 19 в 1 минуту. Хрипы не прослушиваются. Сердечные тоны ясные, ритмичные. Пульс 82 в 1 минуту, ритмичный, удовлетворительных качеств. АД =145/90 мм.рт.ст. Живот мягкий, безболезненный, участвует в акте дыхания. Печень, селезенка не увеличены. Лимфатические узлы паховые, подмышечные не увеличены. Диурез и стул не нарушены.

В неврологическом статусе: Глубокие рефлексы с рук: S=D, средней высоты, без патологических кистевых знаков; с ног - коленные и ахилловы D<S, ослаблены. Мышечная сила в нижних конечностях до 4-х баллов проксимально, дистально парез разгибателей стопы до 3-х баллов. Радикулопатия: L<sub>2</sub> с двух сторон, L<sub>3</sub> – справа, L<sub>4</sub>, L<sub>5</sub> – слева, S<sub>1</sub> – справа.

Рентгенологически: Изменение фронтальной оси поясничного отдела позвоночника за счет выраженных дегенеративно-дистрофических изменений поясничного отдела позвоночника с формированием левостороннего поясничного сколиоза. Выпрямление поясничного лордоза ( $22^\circ$ ). Комбинированный стеноз позвоночного канала за счет грыжевых выпячиваний и задних элементов степени С по С.Schizas (2010) (рис. 59).

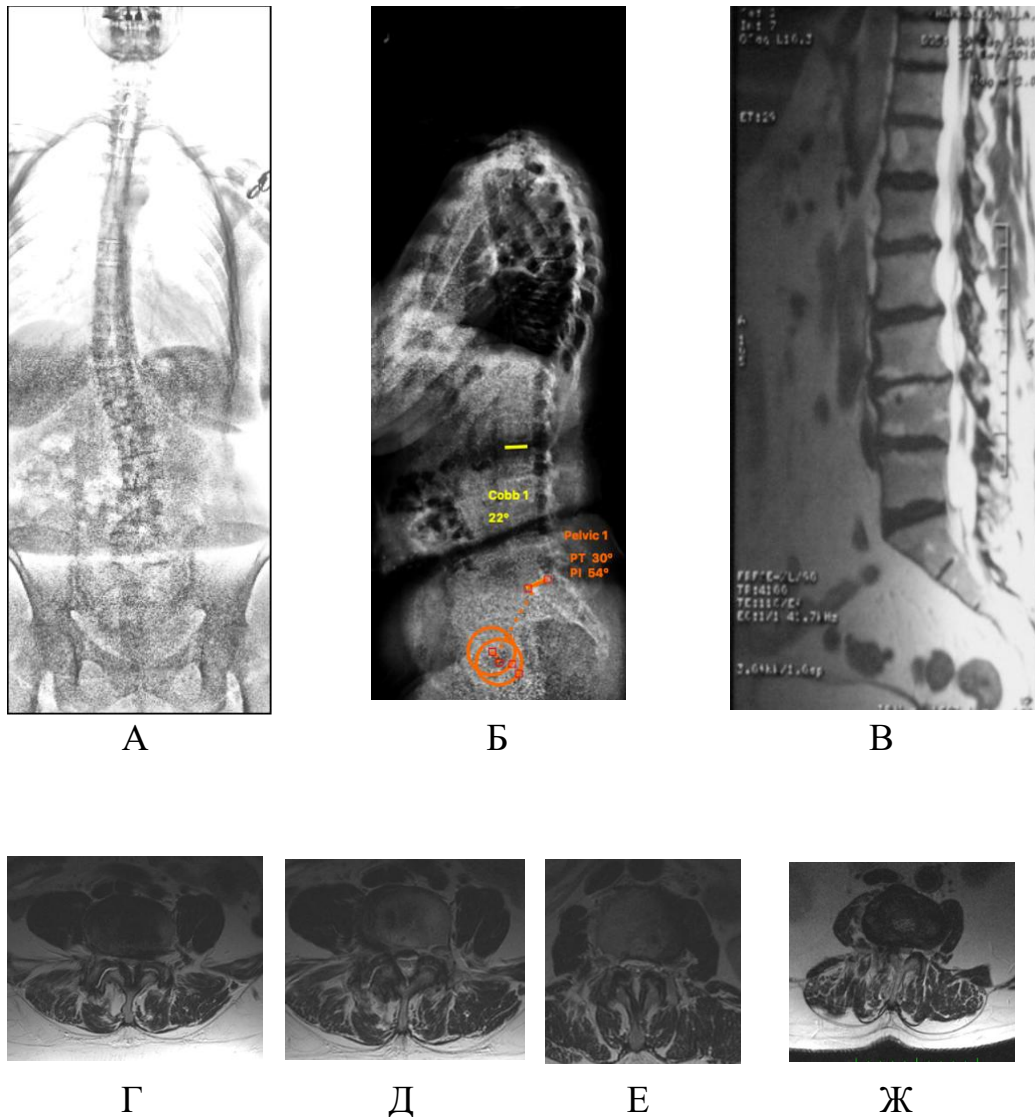


Рисунок 59. Результаты лучевого обследования пациентки Д., 62 лет: А, Б – телерентгенограммы в прямой и боковой проекциях; В – сагиттальная реконструкция компьютерной томограммы; Г, Д, Е, Ж – МРТ: аксиальные сканы четырех нижних сегментов. Визуализируется стеноз позвоночного канала степени С по С. Schizas (2010)

Учитывая выраженность болевого синдрома, полирадикулопатию, неэффективность длительного консервативного лечения, прогрессирование клинической симптоматики, нарушение фронтального и сагиттального баланса, а также невозможность устранения имеющихся симптомов и проявлений при использовании локальной декомпрессии или короткой фиксации с декомпрессией было принято решение о выполнении полноценной реконструкции поясничного отдела позвоночника с многоуровневой декомпрессией и восстановлением сагиттального и фронтального балансов позвоночника.

Согласно литературным данным (Barrey et al., 2013) при наличии имеющихся тазовых параметров (PI=54, PT=30) теоретический лордоз у нашей пациентки должен был составлять  $61,5 \pm 8,4$  или PI+10. Эти показатели легли в основу операции, и мы придерживались расчетных данных в ходе выполнения хирургического вмешательства.

15.04.2015 выполнена операция – транспедикулярный остеосинтез Th<sub>11</sub>-L<sub>5</sub> 14-ти винтовой системой, многоуровневая двусторонняя декомпрессия L<sub>1</sub>-L<sub>5</sub>, заднелатеральный межтеловой спондилодез L<sub>2</sub>-L<sub>3</sub>, L<sub>3-4</sub>, L<sub>4</sub>-L<sub>5</sub>, коррекция деформации. Операция прошла в штатном режиме. Длительность операции – 6ч45 мин, кровопотеря составила 2100 мл. Послеоперационный период протекал без осложнений. Реабилитационные мероприятия начаты в стационаре. Пациентка была выписана из стационара на 9-е сутки после операции в удовлетворительном состоянии для продолжения реабилитации по месту жительства. В дальнейшем рана зажила первичным натяжением, без осложнений. Рентгенограмма в боковой проекции представлена на рисунке 60.



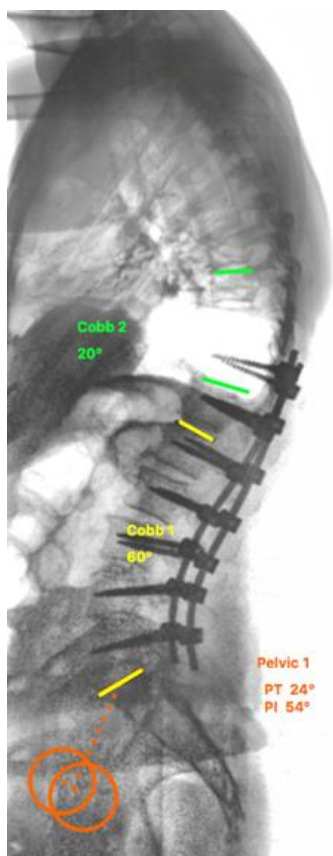


Рисунок 60. Рентгенограмма пациентки Д., 62 лет после операции в боковой проекции. PI=54°, PT=24°, SVA=24 mm, LL=60°, PJA=20°

Анализ рентгенологических параметров до и после операции указывает на полное достижение цели операции. Полностью восстановлен поясничный лордоз (с 22 до 60°). Увеличение лордоза составило 38°. Достигнуто его соответствие показателям теоретического лордоза ( $61,5 \pm 8,4$ ), восстановлен глобальный сагиттальный баланс относительно линии SVA. ППУ после операции составил 20°. Неврологические проявления купированы.

Пациентка продолжала обычную жизнь без нарушения предписанного режима, наблюдалась у невролога, дозированно занималась ЛФК.

Через 5 месяцев после операции при обычной нагрузке пациентка почувствовала резкую боль в спине, что заставило ее в ближайшее время обратиться к врачу. На выполненной рентгенограмме выявлены признаки ППН за счет возникновения ППТФ, увеличение ППУ с 20° до 33° (рис. 61), что

потребовало ревизионного хирургического вмешательства с продлением металлоконструкции

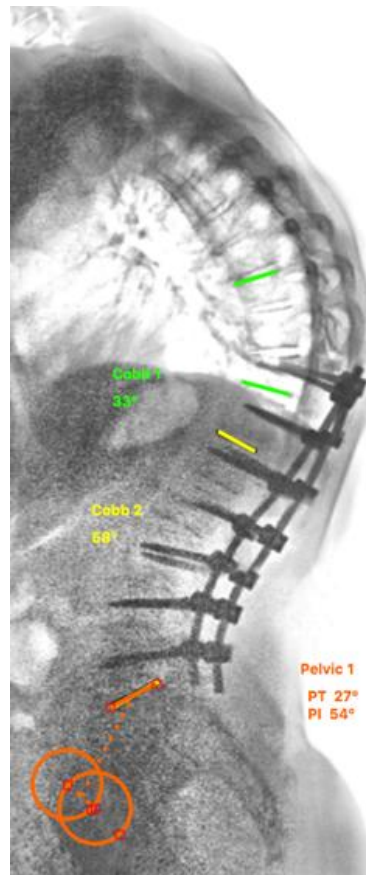


Рисунок 61. Боковая рентгенограмма пациентки Д., 62 лет, через 5 мес. после хирургического вмешательства. Визуализируется ППК (ППУ 33°). PI=54°, PT=27°, SVA=44 мм, LL=58°.

Анализ данного случая показывает, что избыточная коррекция поясничного лордоза (более 30°) с достижением полноценных пояснично-тазовых взаимоотношений без каких-либо методов профилактики ППК запрограммирована на его возникновение. Несмотря на то, что объем хирургической коррекции был полностью рассчитан и выполнен согласно плану в ближайшее время после хирургического лечения возникло осложнение, потребовавшее повторного хирургического лечения. Причиной развития ППН явился, на наш взгляд, чрезмерный ППУ в 20° диагностированный сразу после

выполнения первичного хирургического вмешательства и игнорирование методов профилактики ППК.

Кроме того, необходимо подчеркнуть, что во всех случаях наличия тяжелого остеопороза имплантация металлоконструкции сопровождалась аугментацией костным цементом позвонков краниальной и каудальной точек фиксации.

Результаты хирургического лечения были оценены во всех группах по данным послеоперационного и контрольного рентгенологического обследования, анализа качества жизни по ODI, а также числу и характеру развившихся осложнений.

#### **5.4 Анализ рентгенологических параметров у пациентов проспективной группы**

Для выявления статистически значимых различий в показателях позвоночно-тазовых соотношений у пациентов четырех, описанных выше, групп проспективного исследования, нами были использованы методы непараметрической статистики с оценкой значимости результатов по критерию Краскела-Уоллиса. Средние показатели изучаемых параметров, а также статистическая значимость различий показателей между группами представлена в таблице 36.



Средние значения показателей позвоночно-тазовых соотношений у пациентов проспективной группы

Факторы риска	1 группа (n=36)	2 группа (n=24)	3 группа (n=20)	4 группа (n=60)	P значение (Н - тест)*
<b>Остеопороз критерий) (Т</b>	-2,8 ± 0,6	-2,9 ± 0,4	-2,8 ± 0,3	-3,1 ± 0,6	0,233
<b>Низкоэнергетические переломы</b>	11 (31%)	8 (33%)	6 (30%)	16 (27%)	0,576
<b>Тяжелый остеопороз</b>	14 (39%)	11 (46%)	12 (60%)	25 (42%)	0,124
<b>PI (°)</b>	56,9 ± 4,9	57,6 ± 4,1	57,8 ± 4,1	57,6 ± 3,5	0,963
<b>PT (°)</b>					
до операции	23,4 ± 3,9	22,5 ± 3,8	23,5 ± 4,0	23,4 ± 4,1	0,743
после операции	19,0 ± 2,7	18,8 ± 2,6	18,9 ± 2,7	19,1 ± 2,8	0,990
изменение	4,4 ± 3,0	3,7 ± 5,1	4,5 ± 5,6	4,3 ± 4,9	0,968
<b>LL (°)</b>					
до операции	21,8 ± 4,4	21,0 ± 4,0	21,1 ± 3,5	20,5 ± 2,8	0,718
после операции	46,7 ± 4,4	44,9 ± 4,0	56,4 ± 5,9	54,1 ± 4,8	0,001
изменение	24,9 ± 2,5	23,9 ± 2,6	35,3 ± 3,9	33,6 ± 4,2	0,001
<b>TK (°)</b>	31,5 ± 4,4	30,2 ± 4,4	33,1 ± 4,6	30,4 ± 4,4	0,084
<b>PI-LL(°)</b>					
до операции	35,1 ± 6,2	36,6 ± 5,9	36,7 ± 5,1	37,1 ± 4,3	0,532
после операции	10,2 ± 6,6	12,7 ± 6,3	1,4 ± 5,9	3,5 ± 6,1	0,001
изменение	24,9 ± 2,5	23,9 ± 2,6	35,3 ± 3,9	33,6 ± 4,2	0,001
<b>SVA(мм)</b>					
до операции	106,7 ± 29,8	105,0 ± 27,4	98,5 ± 25,6	97,2 ± 22,9	0,357
после операции	60,6 ± 11,9	60,4 ± 11,6	23,5 ± 5,9	18,0 ± 6,1	0,001
изменение	46,1 ± 21,3	44,6 ± 19,1	75,0 ± 24,0	79,2 ± 22,1	0,004
<b>PJA(°)</b>					
до операции	4,4 ± 2,0	4,5 ± 1,8	3,5 ± 1,9	4,0 ± 1,7	0,191
после	7,3 ± 2,1	2,5 ± 1,3	12,9 ± 1,4	13,8 ± 1,9	0,001
изменение	2,9 ± 0,2	-2,0 ± 1,2	9,4 ± 1,4	9,8 ± 0,6	0,001
<b>PI+LL+TK</b>					
до операции	66,6 ± 4,4	66,8 ± 6,4	69,8 ± 3,4	67,5 ± 4,2	0,085
после	41,7 ± 4,2	42,9 ± 6,2	34,5 ± 3,2	33,9 ± 4,1	0,001

\*На основании критерия Краскела – Уоллиса.

На основании оценки данных параметров нами статистически было подтверждено отсутствие значимых различий в показателях позвоночно-тазовых соотношений и степени тяжести остеопороза у пациентов проспективных групп

на дооперационном этапе. Это позволило сделать выводы о сопоставимости сравниваемых групп. Выявленные на послеоперационном этапе статистически значимые различия в определенных параметрах были дополнительно исследованы в парных групповых сравнениях с использованием непараметрического критерия Манна-Уитни (табл. 37–40).

Таблица 37

Сравнение средних значений поясничного лордоза (LL) на послеоперационном этапе у пациентов проспективных групп\*

Средние значения LL	1 группа (n=36)	2 группа (n=24)	3 группа (n=20)	4 группа (n=60)
1 группа (n=36)	-	0,510	0,001	0,001
2 группа (n=24)	0,510	-	0,001	0,001
3 группа (n=20)	0,001	0,001	-	0,108
4 группа (n=60)	0,001	0,001	0,108	-

\*На основании критерия Манна – Уитни.

Сравнение средних значений разницы тазового угла и поясничного лордоза (PI-LL) на послеоперационном этапе у пациентов проспективных групп\*

Средние значения PI-LL	1 группа (n=36)	2 группа (n=24)	3 группа (n=20)	4 группа (n=60)
1 группа (n=36)	-	0,410	0,001	0,002
2 группа (n=24)	0,410	-	0,001	0,001
3 группа (n=20)	0,001	0,001	-	0,173
4 группа (n=60)	0,002	0,001	0,173	-

\*На основании критерия Манна-Уитни.

Сравнение средних значений показателя смещения сагиттальной вертикальной оси (SVA) на послеоперационном этапе у пациентов проспективных групп\*

Средние значения SVA	1 группа (n=36)	2 группа (n=24)	3 группа (n=20)	4 группа (n=60)
1 группа (n=36)	-	0,987	0,001	0,001
2 группа (n=24)	0,987	-	0,001	0,001
3 группа (n=20)	0,001	0,001	-	0,062
4 группа (n=60)	0,001	0,001	0,062	-

\*На основании критерия Манна – Уитни.

Сравнение средних значений проксимального переходного угла (РЈА) на послеоперационном этапе у пациентов проспективных групп\*

Средние значения РЈА	1 группа (n=36)	2 группа (n=24)	3 группа (n=20)	4 группа (n=60)
1 группа (n=36)	-	0,001	0,004	0,001
2 группа (n=24)	0,001	-	0,001	0,001
3 группа (n=20)	0,004	0,001	-	0,426
4 группа (n=60)	0,001	0,001	0,426	-

\*На основании критерия Манна – Уитни.

Таким образом, после оперативного лечения статистически значимые различия были выявлены между группами с полным восстановлением сагиттального профиля (3 и 4) и группами с коррекцией поясничного лордоза не более 30° (1 и 2) в параметрах поясничного лордоза (LL), разницы тазового угла и поясничного лордоза (PI-LL) и смещения сагиттальной вертикальной оси (SVA). Кроме того, послеоперационные значения показателя РЈА у пациентов второй группы значимо отличались от соответствующих показателей у пациентов остальных групп (табл. 40). Также нами было выявлено статистически значимое увеличение показателя РЈА после операции у пациентов 3 и 4 групп (табл. 36).

### 5.5 Анализ результатов лечения пациентов проспективной группы

Отдаленные результаты хирургического лечения были проанализированы у пациентов всех групп на основании оценки уровня болевого синдрома по VAS, качества жизни по ODI, а также числа и характера развившихся осложнений на протяжении двухлетнего периода наблюдения. Полученные средние значения, а

также значимость полученных различий на основании непараметрического критерия Краскела – Уоллиса и Манна-Уитни представлены в таблице 41.

Таблица 41

Средние значения показателей интенсивности болевого синдрома и качества жизни до и после операции у пациентов проспективных групп

Параметры	1 группа (n=36)	2 группа (n=24)	3 группа (n=20)	4 группа (n=60)	Р значение (Н – тест)*
<b>VAS (спина)</b>					
до операции	5,7 ± 1,0	5,6 ± 1,0	5,7 ± 1,0	5,5 ± 1,0	0,877
3 мес	4,6 ± 0,6	4,7 ± 0,6	4,7 ± 0,6	4,7 ± 0,7	0,988
6 мес	3,7 ± 0,6	3,5 ± 0,6	3,6 ± 0,6	3,8 ± 0,7	0,922
12 мес	4,2 ± 0,7	3,2 ± 0,9	4,4 ± 0,7	4,5 ± 0,8	0,001
24 мес	4,0 ± 0,8	2,3 ± 1,0	4,1 ± 1,3	4,2 ± 1,2	0,001
Р значение (до операции – 6 мес)**	0,021	0,011	0,004	0,001	-
Р значение (6 – 24 мес)**	0,362	0,001	0,188	0,682	-
<b>VAS (ноги)</b>					
До операции	4,6 ± 1,1	4,4 ± 1,0	4,7 ± 1,0	4,2 ± 1,2	0,827
3 мес	1,5 ± 0,7	1,8 ± 0,8	1,7 ± 0,7	1,6 ± 0,8	0,718
6 мес	1,8 ± 0,6	1,7 ± 0,6	2,0 ± 0,6	2,0 ± 0,7	0,664
12 мес	1,9 ± 0,7	1,5 ± 0,9	1,9 ± 0,8	2,0 ± 0,7	0,921
24 мес	1,8 ± 1,1	1,2 ± 0,9	1,7 ± 1,0	1,5 ± 0,9	0,132
Р значение (до операции – 3мес)**	0,001	0,016	0,001	0,001	-
Р значение (3 – 24 мес)**	0,954	0,146	0,331	0,844	-
<b>ODI</b>					
До операции	41,5± 3,2	42,1± 3,9	41,8± 3,1	42,6± 3,3	0,532
3 мес	36,2± 3,6	34,6± 3,3	34,4± 2,9	35,1± 3,1	0,211
6 мес	31,9± 3,5	24,8± 2,6	31,2± 2,9	30,6± 3,2	0,018
12 мес	29,4± 3,7	21,2± 2,9	30,2± 3,2	29,2± 2,9	0,012
24 мес	25,1± 2,5	16,2± 2,6	31,2± 3,2	28,4± 3,2	0,001
Р значение (до операции – 24 мес)**	0,001	0,001	0,001	0,001	-

\*На основании критерия Краскела – Уоллиса; \*\*На основании критерия Манна – Уитни.

Анализ интенсивности болевого синдрома у пациентов проспективной части исследования показал отсутствие значимых различий данного параметра у пациентов изучаемых групп на предоперационном этапе. При этом данный вывод был справедлив как для болевого синдрома в спине, так и для иррадиации болей в ноги ( $p = 0,877$ ;  $p = 0,827$ ).

Оценка динамики болевого синдрома в спине в послеоперационном периоде показала отсутствие статистически значимых различий между группами в первые 6 месяцев после операции ( $p = 0,988$ ;  $p = 0,922$ ) и значимую разницу через 12 и 24 месяца ( $p = 0,001$ ;  $p = 0,001$ ). Группы со значимыми различиями были, в дальнейшем, проанализированы попарно. Данный анализ показал значимое снижение интенсивности болевого синдрома у пациентов второй группы по сравнению с пациентами остальных групп через 12 и 24 месяцев после оперативного вмешательства. Оценка динамики интенсивности болевого синдрома в каждой группе показала его значимое снижение с 6 месяца после операции во всех группах ( $p = 0,021$ ;  $p = 0,011$ ;  $p = 0,004$ ;  $p = 0,001$ ). При этом во второй группе было выявлено значимое снижение уровня болевого синдрома в спине на протяжении всего периода наблюдения ( $p = 0,011$ ;  $p = 0,001$ ).

Анализ интенсивности болевого синдрома в ногах показал статистически значимое отличие до и послеоперационных значений во всех группах с 3 месяца после операции ( $p = 0,001$ ;  $p = 0,016$ ;  $p = 0,001$ ;  $p = 0,001$ ). Оценка данного болевого синдрома в дальнейшем послеоперационном периоде не показала статистически значимой динамики ни в одной группе ( $p = 0,954$ ;  $p = 0,146$ ;  $p = 0,331$ ;  $p = 0,844$ ). Данная тенденция может свидетельствовать об эффективности декомпрессивного этапа лечения во всех группах пациентов.

Оценка качества жизни пациентов проводилась посредством анализа средних значений индекса нарушения жизнедеятельности по ODI. Предоперационные значения данного индекса значимо не отличались между исследуемыми группами ( $p = 0,532$ ). Положительная динамика в виде снижения данного индекса на протяжении послеоперационного периода наблюдалась во всех группах ( $p = 0,001$ ), однако наиболее выраженная тенденция улучшения

качества жизни наблюдалась у пациентов второй группы (табл. 41). Данная тенденция была статистически подтверждена попарным сравнением групп с использованием непараметрического критерия Манна-Уитни.

Динамика интенсивности болевого синдрома и качества жизни пациентов исследуемых групп представлена на рисунках 62 – 64.

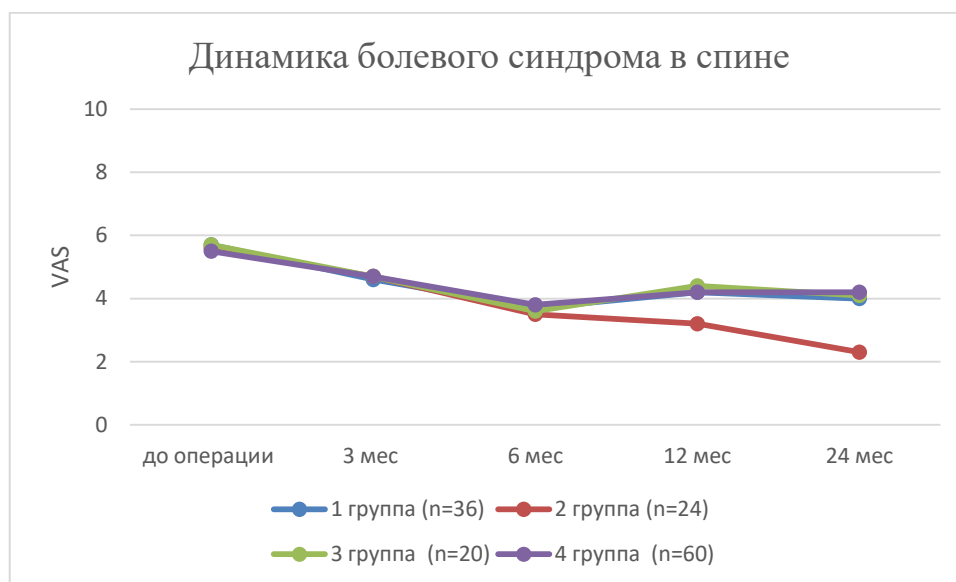


Рисунок 62. Динамика болевого синдрома в спине у пациентов исследуемых групп

В целом проведенный анализ показал, что уже через 6 месяцев после оперативного лечения на позвоночнике выраженность болевого синдрома в спине статистически значимо ( $p < 0,05$ ) снижалась в среднем на 2 балла по визуально-аналоговой шкале во всех исследуемых группах. В дальнейшем положительная динамика в виде снижения интенсивности болевого синдрома до 2,3 баллов по VAS отмечалась у пациентов второй группы ( $p = 0,001$ ). В остальных группах отмечалась статистически незначимая тенденция нарастания болевого синдрома ( $p = 0,362$ ;  $p = 0,188$ ;  $p = 0,682$ ).

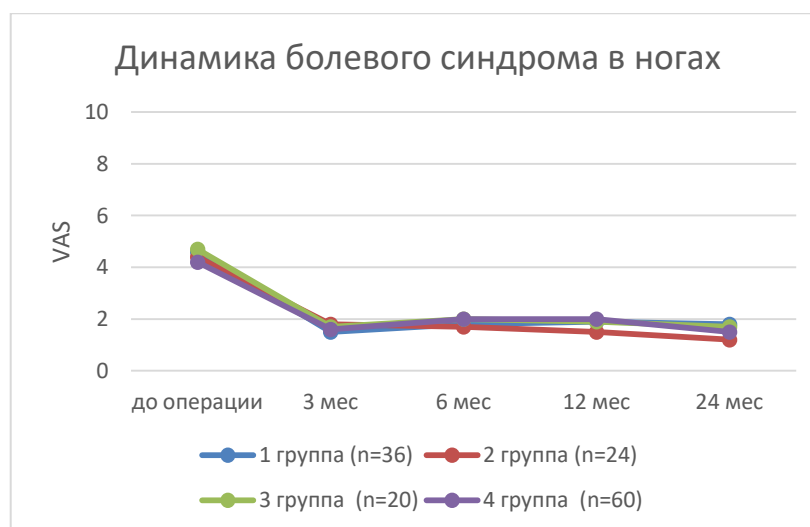


Рисунок 63. Динамика болевого синдрома в ногах у пациентов исследуемых групп

Интенсивность болевого синдрома иррадирующего в ноги статистически значимо ( $p < 0,05$ ) снижалась во всех группах к 3 месяцу после операции в среднем на 3 балла по VAS и оставалась на данном уровне на протяжении двухлетнего периода наблюдения.

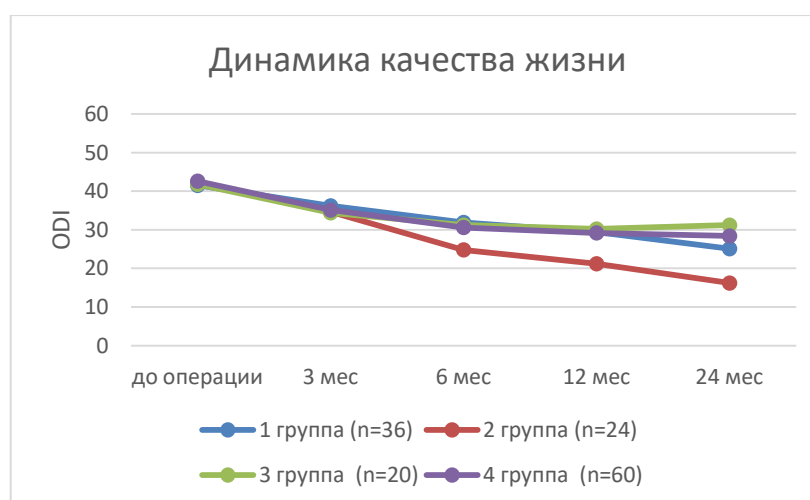


Рисунок 64. Динамика качества жизни (ODI) у пациентов исследуемых групп

Оценка качества жизни пациентов показала уменьшение средних значений индекса нарушения жизнедеятельности у пациентов всех групп на величину от 24% до 62% с более выраженной положительной динамикой во второй группе.



## 5.6 Анализ осложнений хирургического лечения пациентов проспективной группы

Неудовлетворительные результаты хирургического лечения были подробно изучены по характеру осложнений, частоте их встречаемости и зависимости от используемого метода оперативного вмешательства. В целом на протяжении двухлетнего периода наблюдения у пациентов проспективной части исследования нами было выявлено 86 (61%) случая развития осложнений. Среди них к ранним осложнениям послеоперационного периода нами были отнесены 10 (7%) случаев развития инфекции области хирургического вмешательства, 9 (6%) случаев появления неврологического дефицита и 13 (9%) случаев ликворреи. Развитие данных осложнений было диагностировано в течение первого месяца после операции. К осложнениям отдаленного периода мы отнесли 53 (38%) случая развития ППК и нестабильности МК (рисунок 65).

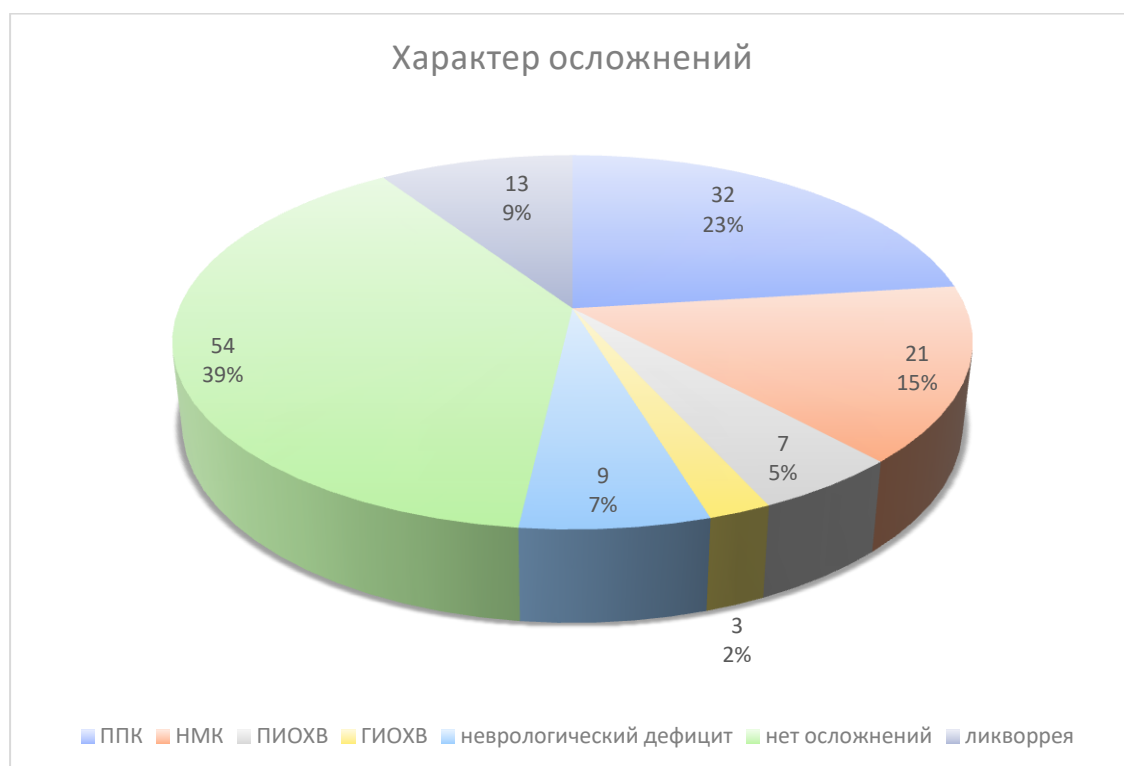


Рисунок 65. Структура осложнений у пациентов проспективной части исследования

Для изучения зависимости развития данных осложнений от метода оперативного лечения нами была проанализирована частота возникновения патологии отдельно в каждой из групп. Результаты проведенного анализа представлены в таблице 42.

Таблица 42

## Осложнения послеоперационного периода у пациентов проспективных групп

Осложнения	1 группа (n=36)	2 группа (n=24)	3 группа (n=20)	4 группа (n=60)	P значение (Н - тест)*
ППК	8 (22%)	1 (4%)	4 (20%)	19 (32%)	0,001
• дегенеративный	-	-	1	2	-
• перелом СВП	5	-	-	12	0,001
• перелом СВП + 1	-	-	2	-	
• перелом ППТФ	2	1	1	3	0,454
• перелом ППТФ + СВП	1	-	-	2	-
НМК	6 (17%)	4 (17%)	3 (15%)	8 (13%)	0,342
• остеолит	2	2	2	4	0,471
• миграция	0	-	-	1	-
• перелом	4 (11%)	2 (8%)	1 (5%)	3 (5%)	0,076
Неврологический дефицит	2 (6%)	1 (4%)	1 (5%)	5 (8%)	0,192
ПХОХВ	2 (6%)	1 (4%)	-	4 (7%)	0,433
ГХОХВ	1 (3%)	-	-	2 (3%)	0,121
Ликворрея	3 (8%)	2 (8%)	2 (10%)	6 (10%)	0,532
Всего	22 (61%)	9 (38%)	10 (50%)	44 (73%)	0,001

\*На основании критерия Краскела – Уоллиса.

ППК – проксимальный переходный кифоз; СВП – смежный вышележащий позвонок; СВП+1 – позвонок краниальнее смежного вышележащего позвонка; ППТФ – позвонок проксимальной точки фиксации; НМК – нестабильность металлоконструкции; ПХОХВ – поверхностная инфекция области хирургического вмешательства; ГХОХВ – глубокая инфекция области хирургического вмешательства.

По результатам проведенного анализа развитие ППК, обусловленного переломами позвонков наблюдались в 29 из 32 случаев (91%). При этом наибольшая частота развития ППК была выявлена у пациентов 4 группы (n=19; 32%). Данный показатель значимо отличался от показателей 1 (n=8; 22%), 2 (n=1; 4%) и 3 (n=4; 20%) групп ( $p < 0,05$ ). Также значимые различия в частоте развития данного осложнения наблюдались между второй группой пациентов (n=1; 4%) и остальными группами проспективного исследования ( $p=0,001$ ). Анализ характера развития ППК показал, что в большинстве случаев возникновение данного осложнения было обусловлено переломом смежного вышележащего позвонка (n=17; 53%). Однако данных вариантов ППК не было выявлено во 2 и 3 группах. Перелом позвонка проксимальной точки фиксации был причиной развития ППК в 7 случаях (22%), при этом значимых различий между исследуемыми группами выявлено не было ( $p=0,454$ ). Однако следует отметить, что перелом ППТФ в 3 группе возник в случаях с отсутствием сочетанной вертебропластики данных позвонков. В более чем в половине случаев (n = 12) в данной группе пациентов нами проводилась аугментация ППТФ костным цементом и введение транспедикулярных винтов до момента его полимеризации. Кроме того, анализ результатов лечения данной группы пациентов показал наличие переломов позвонков, расположенных краниальнее СВП с костным цементом (n=2; 6%).

Анализ частоты развития нестабильности МК в исследуемых группах не выявил значимых различий в зависимости от определенных вариантов лечения ( $p=0,342$ ), а также различных вариантов течения данного осложнения ( $p=0,471$ ; 0,076).

Явления неврологического дефицита, развившиеся после операции, были представлены нижними моностеральными парезами и, во всех случаях, регрессировали на фоне проводимой консервативной терапии.

Частота развития инфекционных осложнений не превышала средних значений соответствующих показателей, описываемых в мировой литературе (n=10; 7%).

Ревизионное хирургическое лечение потребовалось в 30 случаях (94%) при развитии ППК. Исключения составили 2 пациента (6%) с формированием ППК вследствие дегенеративных изменений смежного вышележащего межпозвонкового диска, которым проводилось комплексное консервативное лечение с положительным эффектом.

В случаях развития нестабильности МК ревизионного лечения требовали 18 (86%) пациентов. В 3 случаях нестабильности МК вследствие развития остеолита (14%) на фоне консервативного лечения наблюдалась положительная динамика в виде уменьшения болевого синдрома с образованием костного блока.

В случаях развития инфекционного процесса ревизионное оперативное лечение проводилось у всех пациентов, при этом во всех случаях с сохранением МК.

Таким образом, резюмируя характер и частоту осложнений, возникших в проспективных группах, можно сказать, что ППК у пациентов с остеопорозом развивается с высокой частотой (23%) несмотря на восстановление оптимального сагиттального профиля позвоночника и применение профилактической вертебропластики (20%). По всей видимости, ключевая роль в развитии данного осложнения принадлежит значительному изменению величины поясничного лордоза и, как следствие, компенсаторному увеличению локального кифоза за счет ближайших подвижных сегментов. При этом выраженная ригидность грудного отдела на фоне дегенеративных изменений, способствует перегрузке ПДС краниальнее зоны инструментальной фиксации.

Уменьшению локального кифоза проксимальнее установленной металлоконструкции способствует снижение величины коррекции поясничного лордоза и применение систем ламинарной фиксации переходного отдела.

При этом частота развития ППК значительно уменьшается в условиях отсутствия выраженной коррекции поясничного лордоза даже, несмотря на неполное восстановление сагиттального профиля.

Нестабильность МК у пациентов изучаемого профиля развивается несколько чаще в субоптимальных условиях сагиттального баланса (SVA от 3 до 8 см), чем в случаях полного восстановления данных параметров.

Частота общих хирургических осложнений не превышала среднюю частоту по данным мировой литературы.

## **5.7 Обсуждение результатов лечения пациентов в проспективной группе.**

### **Обоснование системы профилактики ППК и НМК при хирургическом лечении пациентов с дегенеративным сколиозом**

Основными задачами оперативного лечения пациентов с дегенеративными сколиозами являются снижение интенсивности болевого синдрома, регресс неврологического дефицита, коррекция деформации и, в конечном итоге, улучшение качества жизни. При этом изолированное решение данных задач посредством хирургического вмешательства зачастую приводит к ухудшению качества жизни в отдаленном послеоперационном периоде вследствие декомпенсации биомеханики позвоночника или прогрессирования неврологического дефицита. Для достижения удовлетворительных результатов в отдаленном периоде хирургическое лечение данной патологии должно включать в себя полноценную декомпрессию неврологических структур, стабилизацию позвоночно-двигательных сегментов, коррекцию деформации с восстановлением оптимальных позвоночно-тазовых соотношений и создание условий для формирования костного блока.

Вместе с тем, увеличение в последние годы оперативной активности при лечении данной категории пациентов сопровождается ростом числа осложнений в отдаленном периоде, связанных с нестабильностью металлоконструкции и декомпенсацией вышележащего нефиксированного уровня.

Ключевая роль в развитии осложнений отдаленного периода принадлежит, по нашим данным, наличию исходного дефицита минеральной плотности костной ткани на фоне сохраняющихся нарушений биомеханики позвоночника и

сформированных, в течение длительного времени, патологических мышечных паттернов.

Среди множества позвоночно-тазовых параметров, оказывающих потенциальное влияние на развитие изучаемых осложнений, нами были определены ключевые показатели, непосредственно ассоциированные с возникновением ППК. К таким показателям мы отнесли коррекцию поясничного лордоза (LL) более  $30^\circ$  и величину послеоперационного проксимального переходного угла (PJA) более  $10^\circ$ . К позвоночно-тазовым параметрам, оказывающим независимое влияние на частоту развития нестабильности МК нами, были отнесены коррекция поясничного лордоза (LL) более  $30^\circ$  и смещение сагиттальной вертикальной оси (SVA) кпереди более чем на 5 см.

В экспериментальной части исследования были проверены возможности различных способов профилактики развития ППК и НМК. Они показали, что ламинарная фиксация СВП повышает устойчивость позвонка к нагрузкам в 1,2-1,6 раза, а пункционная вертебропластика весьма эффективна как средство профилактики его перелома.

Дальнейшее проспективное исследование подтвердило результаты полученные на первых этапах исследования. Причем ламинарная фиксация СВП полностью оправдала наши надежды и в клинике, тогда как его профилактическая вертебропластика в реальной биомеханической среде не показала себя столь убедительной, хотя в условиях остеопороза результаты у пациентов были всё-таки лучше. Проведенный анализ рентгенологических параметров показал возможность хирургической коррекции величины проксимального переходного угла (ППУ; PJA) без продления транспедикулярной фиксации и применения различных остеотомий. Так у пациентов второй группы, оперированных с использованием ламинарной фиксации дуги смежного вышележащего позвонка, было отмечено статистически значимое уменьшение данного угла после операции в среднем на  $5^\circ$  ( $p=0,001$ ). Таким образом, использование данной методики позволило исключить такой значимый фактор риска развития ППК, как ППУ превышающий  $10^\circ$ . В дальнейшем анализ отдаленных результатов лечения

показал статистически значимое уменьшение ППК во второй группе в сравнении с остальными ( $p=0,001$ ) и более выраженные тенденции снижения интенсивности болевого синдрома и индекса нарушения жизнедеятельности ODI. Расхождение данных проспективного исследования с результатами проведенного нами эксперимента, в которых ламинарная фиксация вышележащего сегмента не предохраняет от перелома СВП, обусловлено, по всей видимости, снижением нагрузки в зоне проксимальной точки фиксации вследствие изменения биомеханики в данной области позвоночника. Так ламинарная фиксация СВП приводит не только к уменьшению локального кифоза над зоной инструментальной фиксации, но и снижает нагрузку ventральных отделов позвонка, смещая кзади вертикальную ось и устраняя чрезмерную подвижность в данном сегменте во время постоянных переменных осевых нагрузок. Однако воссоздать идентичные условия в эксперименте, на сегодняшний день, не представляется возможным. Тем не менее, данные предположения и полученные выводы, безусловно, требуют дальнейшего изучения и, прежде всего, экспериментального подтверждения в условиях модели физиологической биомеханической нагрузки.

Применение профилактической вертебропластики смежного вышележащего позвонка у пациентов 3 группы значимо не снизило частоту развития ППК в целом, однако привело к перераспределению вариантов данной патологии с появлением переломов позвонков смежных с позвонком цементной фиксацией.

Наибольшая частота развития ППК ( $n=19$ ; 32%) была выявлена нами у пациентов 4 группы, несмотря на полноценное восстановление сагиттального профиля во всех случаях. Это, по всей видимости, обусловлено комплексным влиянием таких факторов риска развития ППК как остеопороз, ППУ более  $10^\circ$  и коррекция поясничного лордоза, превышающая  $30^\circ$ .

Частота развития нестабильности МК в целом имела определенную тенденцию к снижению в 3 и 4 группах, но при этом не была подтверждена статистически ( $p=0,342$ ). Однако при анализе частоты возникновения отдельных вариантов нестабильности МК нами была выявлена статистически

неподтвержденная тенденция уменьшения частоты развития переломов МК у пациентов 3 и 4 групп ( $p=0,076$ ). Данная тенденция, на наш взгляд, обусловлена отсутствием в группах с полноценной коррекцией сагиттального профиля такого фактора риска, как смещения сагиттальной вертикальной оси кпереди более чем на 5 см. Однако прямой зависимости частоты развития нестабильности МК от полноценного восстановления сагиттального баланса получено не было. Это может быть обусловлено влиянием гиперкоррекции поясничного лордоза как значимого фактора риска нестабильности МК, появляющегося в результате хирургического лечения по этой методике.

Полученные в результате проспективного исследования данные находят отражение в недавних работах, посвященных сравнению частоты развития ППК при транспедикулярной и гибридной фиксации с использованием крючков, устанавливаемых за поперечные отростки смежного вышележащего позвонка (Matsumura A. et al., 2018). При этом авторы отмечают тенденцию к уменьшению частоты развития данного осложнения и подчеркивают необходимость проведения дальнейших биомеханических исследований.

Подробный анализ результатов, полученных в ходе нашего исследования позволил обосновать систему диагностики, лечения и профилактики возможных осложнений у пациентов с дегенеративными сколиозами позвоночника. Схематически она состоит из двух блоков – диагностического и хирургического.

**«Диагностическая» часть** была представлена ранее, она состоит из двух частей:

- изучение состояния глобального сагиттального баланса;
- локальная диагностика состояния сегментов позвоночника в зоне клинических проявлений и предполагаемого вмешательства (рисунок 21).

Данная программа может быть представлена в виде алгоритма (рисунок 66).



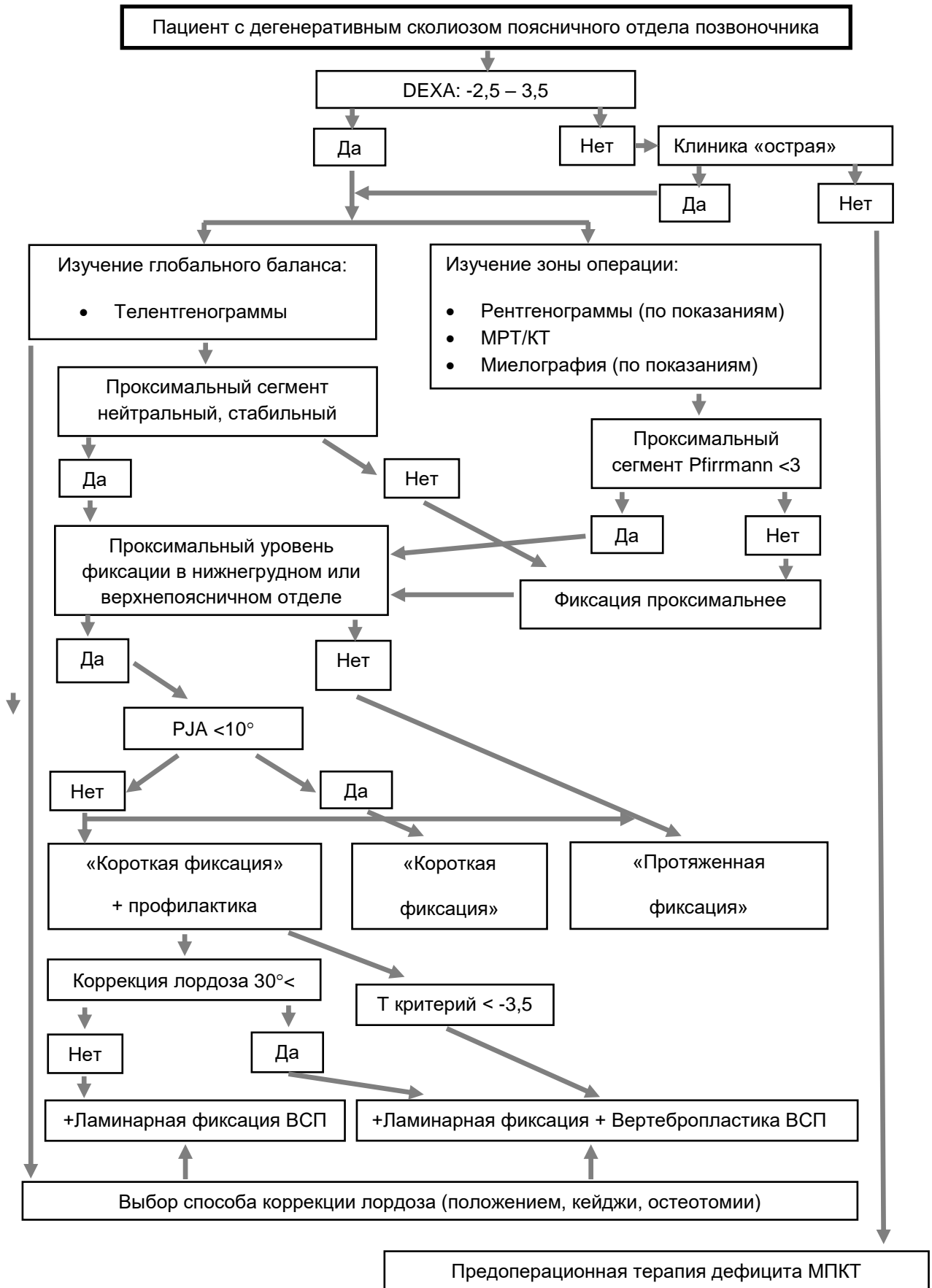


Рисунок 66. Алгоритм диагностики и лечения пациентов с дегенеративным сколиозом

После клинически детерминированной зоны интереса необходимо выполнить телерентгенограммы в прямой и боковой проекции для изучения, обозначенных выше, показателей глобального баланса туловища, и КТ, МРТ для локальной оценки сегментов позвоночника в зоне предполагаемой фиксации. Для определения степени мобильности деформации и необходимости той или иной остеотомии требуется выполнение функциональных рентгенограмм в положениях боковых наклонов или на фоне тракции позвоночника. Кроме того, если качество телерентгенограмм не позволяет оценить локально деформацию (например, у пациентов с ожирением) необходимо выполнить прицельные рентгенограммы заинтересованного сегмента.

Анализ полученных данных позволит принять решение об объеме декомпрессии невральных структур, выбрать оптимальную стратегию коррекции деформации (коррекция положением на столе, необходимость межтеловых кейджей и их локализацию, при наличии показаний - варианты остеотомии), а также определить уровни спондилодеза. Последний аспект является наиболее важным, так как от него зависит количество сегментов, выключенных из функции (а, следовательно, перераспределение нагрузок с риском перегрузки смежных сегментов), профилактика как PJK, так и PJF.

Например, если для ликвидации стеноза и коррекции деформации необходимо зафиксировать минимально несколько сегментов, но межпозвонковый диск или суставы вышележащего сегмента находятся в плохом состоянии (дегенеративные изменения 3-й и выше стадии по Pfirmан), то следует этот сегмент включить в зону фиксации. Если PJA при выборе проксимального уровня фиксации оказался более  $10^\circ$ , то так же необходимо принимать решение о продлении фиксации. Кроме того, на выбор проксимального фиксированного позвонка влияют общие законы биомеханики фиксации. Это должен быть стабильный нейтральный позвонок без патологической ротации. Эти же правила гласят, что если в результате анализа предполагаемый проксимальный уровень «короткой» фиксации достигает вершины дуги грудного кифоза, то следует подумать либо о профилактических мероприятиях, рассматриваемый в данном

исследовании, либо продлить спондилодез до верхнегрудного отдела и выполнить «протяженную» фиксацию.

Далее **«хирургическая» часть** программы позволяет определить способ профилактики ППК и НМК. Так, при необходимости коррекции РЈА при нормальной минеральной плотности кости достаточно будет выполнить ламинарную фиксацию СВП, а при наличии остеопороза и при коррекции лордоза более 30° его дополнительная вертебропластика позволяет снизить частоту осложнений (ППК и НМК).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Хирургическое лечение пациентов с дегенеративными сколиозами грудно-поясничного отдела позвоночника на протяжении последних десятилетий вызывает устойчивый, повышенный интерес исследователей. Это объясняется многими факторами. В первую очередь сама патология существенно снижает качество жизни пациентов. Во-вторых, являясь по сути нейро-ортопедической проблемой, требует мультидисциплинарного подхода в лечении (Коновалов Н.А. с соавт., 2009; Маркин С.П. 2009; Калинин А.А. с соавт., 2015; Гуца А.О. с соавт., 2015; 2017; Bridwell К.Н. et. al., 2007). Кроме того, несмотря на существенные прорывы в понимании этиопатогенеза заболевания, комплекса биомеханических расстройств позвоночника на его фоне и развитие хирургических технологий, процент неудовлетворительных результатов лечения остается достаточно высоким, а суммарное количество осложнений превышает 50% случаев (Baron E.M. et. al., 2006; Berjano P. et al., 2013).

Целью диссертационного исследования являлось усовершенствование диагностической программы и обоснование системы хирургического лечения пациентов с дегенеративным сколиозом поясничного отдела позвоночника, учитывающей факторы риска развития наиболее часто встречающихся осложнений, таких как проксимальный переходный кифоз (ППК) и нестабильность металлоконструкции (НМК), а также возможности их профилактики.

Диссертация построена по классическому типу и состоит из трех последовательных этапов, включающих в себя ретроспективную (аналитическую), экспериментальную (моделирующую) и проспективную (апробационную) части.

Ретроспективное клиническое исследование включает наблюдение за 382 пациентами с дегенеративным сколиозом поясничного отдела позвоночника, проходившими хирургическое лечение в клинике ФГБУ РНИИТО им. Р.Р. Вредена и отделении ГБУЗ «НИИ – Краевая клиническая больница №1 им. С.В.

Очаповского» Министерства здравоохранения Краснодарского края в период с 2009 по 2015 год.

На первом этапе исследования, на основании ретроспективного анализа собственного материала, была оценена значимость различных факторов риска развития ППК и НМК у пациентов с дегенеративным сколиозом.

Для решения задачи №1 все пациенты ретроспективной части исследования последовательно были проанализированы на предмет наличия наиболее часто обсуждаемых в мировой литературе факторов риска развития ППК и НМК. В их число вошли факторы, связанные с пациентом (возраст, пол, наличие остеопороза, индекс массы тела, курение), хирургические факторы (тип остеотомии, величина коррекции поясничного лордоза, включение в зону фиксации крестца) и рентгенологические параметры (PI, ТК, LL, SVA, PI-LL, PJA).

Пациенты первичной когорты были разделены на группы с клинико-рентгенологическими проявлениями ППК и НМК и без таких проявлений на основании двухлетнего периода наблюдения. Проведен комплексный анализ результатов клинического и рентгенологического обследования, а также количественная оценка уровня болевого синдрома, качества жизни и функционального состояния пациентов на основании шкал VAS, ODI и Nurick с использованием метода статистической регрессии Кокса и ROC анализа.

По результатам данного анализа статистически значимое влияние на риски развития ППК было выявлено при остеопорозе, когда Т критерий  $< -2,5$  ( $p = 0,001$ ), коррекции поясничного лордоза более  $30^\circ$  ( $p = 0,036$ ) и проксимального переходного угла ( $p = 0,001$ ). При этом, интерпретируя результаты регрессионного анализа Кокса, были сделаны выводы, что вероятность развития ППК увеличивается в 2,5 раза при наличии остеопороза ( $\text{Exp (B)} = 2,532$ ;  $p = 0,001$ ), а также в 1,5 раза при восстановлении поясничного лордоза более чем на  $30^\circ$  ( $\text{Exp (B)} = 1,475$ ;  $p=0,036$ ). Результаты ROC достоверно показали значимое влияние показателя PJA на риск развития ППК. Оказалось, что при возрастании показателя PJA, превышающего  $10^\circ$  на  $1^\circ$  риск развития ППК увеличивается в 1,258 раза или на 25,8% ( $\text{Exp (B)} = 1,258$ ;  $p=0,001$ ).

Анализ причин возникновения нестабильности металлоконструкции показал статистически значимое влияние таких факторов, как остеопороз (при значении Т критерия  $< -2,5$ ) ( $p = 0,018$ ), коррекции поясничного лордоза более  $30^\circ$  ( $p = 0,034$ ) и изменение сагиттальной вертикальной оси ( $p = 0,001$ ). При этом, интерпретируя результаты регрессионного анализа Кокса, можно сделать выводы, что вероятность развития нестабильности МК увеличивается в 1,8 раза на фоне остеопороза, при значении Т критерия  $< -2,5$  ( $\text{Exp (B)} = 1,812$ ;  $p = 0,018$ ), а также в 1,7 раза при восстановлении поясничного лордоза более чем на  $30^\circ$  ( $\text{Exp (B)} = 1,722$ ;  $p=0,034$ ). Многофакторный статистический анализ показал, что смещение сагиттальной вертикальной оси кпереди более чем на 50 мм является статистически значимым фактором риска развития нестабильности МК, увеличивая ее вероятность в 3,3 раза ( $\text{Exp (B)} = 3,292$ ;  $p=0,001$ ).

Полученные нами данные сопоставимы с результатами некоторых современных исследований (Kim H.J. et al., 2012; Yagi M. et al., 2012; Berjano P. et al., 2013; Annis P. et al., 2014, Yagi M. et al., 2014; Lewis S.J. et al., 2016, Han S., Hyun S.J. et al., 2017). Хотя такого строгого количественного взаимоотношения между изучаемыми факторами риска и степенью риска возникновения данных осложнений в доступной литературе нами найдено не было.

На втором этапе исследования, для решения задачи №2 была оценена клиническая эффективность существующих методов лучевой диагностики относительно выявления обнаруженных факторов риска (рентгенография стоя в полный рост, функциональные рентгенограммы для определения ригидности грудного кифоза и поясничного лордоза, определение PJA и прочее). На основании проведенного анализа была предложена диагностическая программа, позволяющая не только оценить состояние пациента с дегенеративным сколиозом, но и принять решения о способе операции. Ее особенностью является параллельное изучение глобального сагиттального баланса и локальная диагностика состояния сегментов позвоночника в зоне клинических проявлений и предполагаемого вмешательства, позволяющая рекомендовать необходимые, и исключать ненужные способы диагностики.

На третьем этапе работы для решения задачи №3 было выполнено экспериментальное исследование, посвященное оценке эффективности различных методик, способствующих профилактике ППК и НМК. На специальных патологоанатомических блоках, состоящих из полноценных препаратов позвонков с сохраненными межпозвонковыми дисками и капсульно-связочным аппаратом, были воссозданы условия повышенного риска развития ППК и НМК

Эксперименты с блоками позвоночных сегментов показали, что наиболее уязвимым местом в отношении возникновения перелома над транспедикулярной системой является ближайший краниально расположенный позвонок. Рассматриваемые профилактические хирургические методы защиты вышележащих уровней показали свою эффективность в отношении повышения устойчивости к вертикальным нагрузкам и возникновению ППК. Так, прочностные характеристики позвонков в отношении возникновения первых графических признаков микроперелома трабекул позвонка, возрастают в 1,2-1,6 раза при использовании ленточной ламинарной фиксации за дугу вышележащего позвонка, а при использовании профилактической вертебропластики в 1,7-2,3 раза, по сравнению с группой без профилактических способов защиты краниальнее расположенных уровней. Дальнейшее нарастание нагрузки приводило к более глубокому и грубому разрушению позвонка (определяемый компрессионный перелом на рентгенограмме), при этом экспериментально было доказано, что использование ламинарной фиксации повышает устойчивость проксимальных от металлоконструкции уровней на 71%, а использование профилактической вертебропластики повышало устойчивость на 77% в сравнении с контрольной группой без использования методов профилактики. Профилактическую вертебропластику каудального от уровня фиксации позвонка проводить нецелесообразно ввиду незначительного риска его перелома.

Данные экспериментальных исследований подтвердили результаты многих авторов, указывающих ранее на возможную эффективность профилактической вертебропластики и ламинарной фиксации для снижения риска ППК и НМК (R. Hart et al., 2008; К.М. Kebaish et al., 2013; Hassanzadeh H. et al., 2013). Однако мы

не нашли данных, показывающих высокую эффективность именно ленточных ламинарных систем, как с точки зрения влияния на переходный кифоз, так и «смягчения» нагрузки на смежный с фиксированным сегмент.

В третьей, проспективной клинической части исследования, на его четвертом этапе (для решения задачи №4) мы провели анализ эффективности различных вариантов хирургического лечения 140 пациентов с дегенеративным сколиозом поясничного отдела позвоночника и сопутствующим остеопорозом с учетом выявленных факторов риска и экспериментально апробированных способов профилактики ППК и НМК у профильных пациентов. Пациенты были распределены на 4 репрезентативные группы относительно исходных до операционных данных.

Проведенный анализ рентгенологических параметров показал возможность хирургической коррекции величины проксимального переходного угла (ППУ; PJA) без продления транспедикулярной фиксации и применения различных остеотомий. Так, у пациентов второй группы, оперированных с использованием ламинарной фиксации дуги смежного вышележащего позвонка, было отмечено статистически значимое уменьшение данного угла после операции в среднем на  $5^\circ$  ( $p=0,001$ ). Таким образом, использование данной методики позволило исключить такой значимый фактор риска развития ППК, как ППУ превышающий  $10^\circ$ . В дальнейшем анализ отдаленных результатов лечения показал статистически значимое уменьшение ППК во второй группе в сравнении с остальными ( $p=0,001$ ) и более выраженные тенденции снижения интенсивности болевого синдрома и индекса нарушения жизнедеятельности ODI. Расхождение данных проспективного исследования с результатами проведенного нами эксперимента, в которых ламинарная фиксация вышележащего сегмента не предохраняет от перелома СВП, обусловлено, по всей видимости, снижением нагрузки в зоне проксимальной точки фиксации вследствие изменения биомеханики в данной области позвоночника. Так, ламинарная фиксация СВП приводит не только к уменьшению локального кифоза над зоной инструментальной фиксации, но и снижает нагрузку ventральных отделов



позвонка, смещая кзади вертикальную ось и устраняя чрезмерную подвижность в данном сегменте во время постоянных переменных осевых нагрузок. Однако воссоздать идентичные условия в эксперименте, на сегодняшний день, не представляется возможным. Тем не менее, данные предположения и полученные выводы, безусловно, требуют дальнейшего изучения и, прежде всего, экспериментального подтверждения в условиях биомеханики схожей с физиологической.

Применение профилактической вертебропластики смежного вышележащего позвонка у пациентов 3 группы значимо не снизило частоту развития ППК в целом, однако привело к перераспределению вариантов данной патологии с появлением переломов позвонков смежных с позвонком цементной фиксации.

Наибольшая частота развития ППК ( $n=19$ ; 32%) была выявлена нами у пациентов 4 группы, несмотря на полноценное восстановление сагиттального профиля во всех случаях. Это, по всей видимости, обусловлено комплексным влиянием таких факторов риска развития ППК как остеопороз, ППУ более  $10^\circ$  и коррекция поясничного лордоза, превышающая  $30^\circ$ .

Частота развития нестабильности МК в целом имела определенную тенденцию к снижению в 3 и 4 группах, но при этом не была подтверждена статистически ( $p=0,342$ ). Однако при анализе частоты возникновения отдельных вариантов нестабильности МК нами была выявлена статистически неподтвержденная тенденция уменьшения частоты развития переломов МК у пациентов 3 и 4 групп ( $p=0,076$ ). Данная тенденция, на наш взгляд, обусловлена отсутствием в группах с полноценной коррекцией сагиттального профиля такого фактора риска, как смещения сагиттальной вертикальной оси кпереди более чем на 5 см. Однако прямой зависимости частоты развития нестабильности МК от полноценного восстановления сагиттального баланса получено не было. Это может быть обусловлено влиянием гиперкоррекции поясничного лордоза как значимого фактора риска нестабильности МК, появляющегося в результате хирургического лечения по данной методике.

В ходе решения задач, поставленных в проспективной части исследования были разработаны новые методики лечения пациентов и технические приемы: разработаны способ реконструкции поясничного позвоночно-двигательного сегмента (патент №2527150 от 24.05.2013г), а также профилактики переломов смежных позвонков при транспедикулярной фиксации на фоне остеопороза (патент №2669028 от 05.10.2018г).

Полученные в результате проспективного исследования данные находят отражение в недавних работах, посвященных сравнению частоты развития ППК при транспедикулярной и гибридной фиксации с использованием крючков, устанавливаемых за поперечные отростки смежного вышележащего позвонка (Matsumura A. et al., 2018). При этом авторы отмечают тенденцию к уменьшению частоты развития данного осложнения и подчеркивают необходимость проведения дальнейших биомеханических исследований.

На заключительном, пятом этапе исследования решалась задача №5. В ходе обобщения материала исследования была обоснована система профилактики проксимального переходного кифоза и нестабильности металлоконструкции при хирургическом лечении пациентов с дегенеративными сколиозами с учетом профилактики развития изучаемых осложнений и предложен эффективный алгоритм выбора тактики лечения пациентов в зависимости от данных их комплексного обследования.

Таким образом, все поставленные в ходе диссертационного исследования задачи были раскрыты и его цель достигнута.

## ВЫВОДЫ

1. Статистически достоверными факторами риска возникновения проксимального переходного кифоза (ППК) являются исходный остеопороз, коррекция поясничного лордоза в ходе оперативного вмешательства более, чем на  $30^{\circ}$ , а также величина проксимального переходного угла (РЈА) более  $10^{\circ}$ . Для нестабильности металлоконструкций (НМК) таковыми факторами являются исходный остеопороз, коррекция поясничного лордоза в ходе оперативного вмешательства более, чем на  $30^{\circ}$ , а также фактор смещения сагиттальной вертикальной оси позвоночника (SVA) более, чем на 50 мм кпереди от нормального физиологического положения.

2. Наличие остеопороза повышает риск развития ППК – в 2,5 раза, а НМК – в 1,8 раза; чрезмерная коррекция во время операции исходного лордоза (более  $30^{\circ}$ ) приводит к возрастанию риска ППК – в 1,5 раза, а НМК – в 1,7 раза, увеличение РЈА более  $10^{\circ}$  повышает риск возникновения ППК в 3,5 раза, и еще в 1,3 раза на каждый последующий  $1^{\circ}$ ; а смещение оси SVA более, чем на 50 мм кпереди увеличивает вероятность развития НМК в 3,3 раза, и в 2,3 раза на каждый последующий 1 см.

3. Для выявления потенциально опасных предоперационных факторов риска развития ППК и НМК необходимо проведение полноценной клинической, инструментальной и лучевой диагностики с обязательным включением в диагностическую программу рентгеновской денситометрии, компьютерной и магниторезонансной томографии, миелографии, расчета показателей РЈА и SVA, а также предоперационное интерактивное планирование с помощью существующих компьютерных программ, что в совокупности позволит не только обоснованно выбрать рациональную методику оперативного лечения профильных пациентов, но и определить необходимую протяженность транспедикулярной фиксации.

4. Экспериментально доказано, что в зоне повышенного риска в отношении перелома находится смежный вышележащий позвонок, перелом

которого в более чем 50% случаев определяет развитие ППК. Возникновение перелома отмечается при вертикальной нагрузке в пределах от 0,78 до 0,94 kN, а исследуемые методы профилактики повышают устойчивость указанного позвонка к вертикальным нагрузкам: ламинарная фиксация повышает устойчивость в 1,2 – 1,6 раз, а профилактическая цементная вертебропластика укрепляет его в 1,7 – 2,3 раза.

5. У пациентов проспективной клинической группы с частичной коррекцией поясничного лордоза (не более  $30^{\circ}$ ) и выполненной профилактической ламинарной фиксацией вышележащего позвонка получены достоверно наилучшие клинические результаты (более, чем на 50%,  $P=0,001$ ) по сравнению с тремя другими клиническими группами в виде снижения уровня болевого синдрома и улучшения показателя качества жизни, а также отмечено наименьшее число случаев развития изученных осложнений: ППК – на 16 – 28% ( $P = 0,001$ ), а НМК – на 10 – 20% ( $P=0,001$ ).

6. К развитию ППК наиболее часто приводила чрезмерная коррекция лордоза (более  $30^{\circ}$ ) и увеличение PJA после операции, а в развитии НМК наибольшую роль играла остаточная SVA более 50мм. При этом каждый из рассматриваемых методов профилактики ППК оказался эффективным применительно к тем условиям, в которых был использован.

7. Основой сформированной системы профилактики ППК и НМК при хирургическом лечении пациентов с дегенеративным сколиозом поясничного отдела позвоночника, является алгоритм, включающий в себя два взаимосвязанных блока – диагностический и хирургический, при этом ключевыми моментами в снижении вероятности возникновения ППК и НМК являются учет факторов риска возникновения данных осложнений, а также выбор метода хирургического пособия с учетом использования возможных методов профилактики, что в итоге обеспечивает достоверное улучшение результатов лечения на протяжении двух лет после выполненных операций.

## ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Для уменьшения осложнений хирургического лечения дегенеративного сколиоза поясничного отдела позвоночника на этапе его планирования необходимо учитывать наиболее значимые факторы риска развития ППК и НМК, такие как – остеопороз, значение проксимального переходного угла (РJA) более  $10^\circ$ , коррекция лордоза свыше  $30^\circ$ , и остаточная величина SVA более 5 см.

2. Диагностическая программа пациента с дегенеративным сколиозом поясничного отдела позвоночника должна включать в себя рентгеновскую денситометрию, магниторезонансную и компьютерную томографию, миелографию, расчет показателей РJA и SVA, а также предоперационное компьютерное планирование, для выявления факторов риска развития ППК и НМК и определения объема хирургического вмешательства.

3. Хирургическое лечение пациентов с дегенеративным сколиозом поясничного отдела позвоночника должно проводиться в ближайшие сроки после диагностики заболевания, пока поясничный лордоз и отклонение SVA не достигли критических отметок.

4. Наиболее оптимальный клинический результат, с минимальным риском развития ППК и НМК в послеоперационном периоде, может быть достигнут при помощи «короткой» фиксации у пациентов с нормальной величиной минеральной плотности костной ткани, если величина коррекции поясничного лордоза не превышает  $30^\circ$ , а «остаточная» величина SVA не превышает 5 см.

5. Ламинарная фиксация проксимального смежного позвонка рекомендована при необходимости коррекции проксимального переходного угла если тот изначально, или в ходе коррекции превышает величину  $10^\circ$ .

6. При необходимости выраженной коррекции поясничного лордоза (превышающим  $30^\circ$  от исходного), а также остеопорозе следует выполнять профилактическую вертебропластику верхнего смежного позвонка.

**СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ**

ВАШ/VAS – визуально аналоговая шкала/Visual Analog Scale

ВИП – верхний инструментированный позвонок

ГИОХВ – глубокая инфекция области хирургического вмешательства

ЗСК – задний связочный комплекс

КТ – компьютерная томография

МК – металлоконструкция

МПКТ – минеральная плотность костной ткани

М/П – межпозвонковый

МРТ – Магнитно-резонансная томография

НМК – нестабильность металлоконструкции

ПДС – позвоночно-двигательный сегмент

ПИОХВ – поверхностная инфекция области хирургического вмешательства

ПММА – полиметилметакрилат

ППК/PJK – проксимальный переходный кифоз/Proximal Junctional Kyphosis;

ППН/PJF – проксимальная переходная несостоятельность/Proximal Junctional Failure;

ППТФ – позвонок проксимальной точки фиксации;

ППУ/PJA – проксимальный переходный угол/Proximal Junctional Angle;

СВП – смежный вышележащий позвонок;

ТПФ – транспедикулярная фиксация;

ODI – Oswestry Disability Index/Индекс качества жизни Освестри;

LL – lumbar lordosis/поясничная лордоз;

PI – pelvic incidence/«падение» таза;

PSO – pedicle subtraction osteotomy/подножковая вычлняющая остеотомия;

PT – pelvic tilt угол/наклона таза к вертикали;

SS – sacral slop/наклон крестца;

SVA– sagittal vertical axis/сагиттальная вертикальная ось позвоночника;

TK – thoracic kyphosis/грудной кифоз.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Амин, Ф.И. Тактика хирургического лечения дегенеративно-дистрофических заболеваний пояснично-крестцового отдела позвоночника у лиц пожилого и старческого возраста / Ф.И. Амин // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. — 2009. — № 2. — С. 40–47.
2. Аскарлов, А.А. Ошибки и осложнения транспедикулярной фиксации позвоночника погружными конструкциями / А.А. Аскарлов, К.А. Бердюгин, А.К. Чертков [и др.] // Фундаментальные исследования. — 2012. — № 4. — С. 425–431.
3. Афаунов, А.А. Анализ результатов применения транспедикулярной фиксации с цементной имплантацией винтов при лечении повреждений грудного и поясничного отделов позвоночника на фоне остеопороза / А.А. Афаунов, И.В. Басанкин, К.К. Тахмазян // Перспективы развития вертебродологии: Инновационные технологии в лечении повреждений и заболеваний позвоночника и спинного мозга : Материалы IV съезда межрегион. обществ. организации «Ассоциация хирургов-вертебродологов» с международным участием. — Новосибирск, 2013. — С. 10–16.
4. Афаунов, А.А. 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 // Хирургия позвоночника. — 2014. — № 1. — С. 86–93.
5. Ахметьянов, Ш.А. Результаты хирургического лечения дегенеративно-дистрофических поражений пояснично-крестцового отдела позвоночника / Ш.А. Ахметьянов, А.В. Крутько // Современные проблемы науки и образования. — 2015. — № 5. — URL : <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=22610>.
6. Белова А.Н. Шкалы, тесты и опросники в неврологии и нейрохирургии / А.Н. Белова. — М. : Практическая медицина, 2004. — 696 с.



7. Бердюгин, К.А. Осложнения транспедикулярной фиксации позвоночника и их профилактика / К.А. Бердюгин, М.С. Каренин // *Фундаментальные исследования*. — 2010. — № 9. — С. 61–71.
8. Борзых, К.О. Параметры сагиттального баланса у пациентов с посттравматическими деформациями нижнегрудной и верхнепоясничной локализации / К.О. Борзых, В.В. Рерих, А.Г. Самохин // *Современные проблемы науки и образования*. — 2018. — № 6. — С. 57.
9. Булатов, А.В. Эффективность применения минимально инвазивных декомпрессивно-стабилизирующих вмешательств в хирургическом лечении рецидивов болевого синдрома после операций на поясничном отделе позвоночника / А.В. Булатов, Д.М. Козлов, А.В. Крутько, Ш.А. Ахметьянов // *Хирургия позвоночника*. — 2014. — № 2. — С. 60–66.
10. Бурцев, А.В. Клинические аспекты сагиттального баланса у взрослых / А.В. Бурцев, С.О. Рябых, А.О. Котельников, А.В. Губин // *Гений ортопедии*. — 2017. — Т. 23, № 2. — С. 228–235.
11. Бывальцев, В.А. Применение шкал и анкет в обследовании пациентов с дегенеративным поражением поясничного отдела позвоночника: методические рекомендации / В.А. Бывальцев, Е.Г. Белых, Н.В. Алексеева, В.А. Сороковиков. — Иркутск : ФГБУ «НЦРВХ» СО РАМН, 2013. — 32 с.
12. Бывальцев, В.А. Оптимизация результатов лечения пациентов с сегментарной нестабильностью поясничного отдела позвоночника при использовании малоинвазивной методики спондилодеза / В.А. Бывальцев, А.А. Калинин, Е.Г. Белых [и др.] // *Журнал «Вопросы нейрохирургии» им. Н.Н. Бурденко*. — 2015. — № 3. — С. 45–54.
13. Бывальцев, В.А. Взаимосвязь спондилометрических параметров с исходом хирургического лечения пациентов с дегенеративными заболеваниями пояснично-крестцового перехода / В.А. Бывальцев, Ю.Я. Пестряков, А.А. Калинин // *Хирургия позвоночника*. — 2018. — № 3. — С. 61–72.
14. Василенко, И.И. Изменение сагиттального баланса у пациентов пожилого и старческого возраста с дегенеративным стенозом поясничного отдела

позвоночника / И.И. Василенко, В.С. Климов, А.В. Евсюков [и др.] // Журнал «Вопросы нейрохирургии» им. Н.Н. Бурденко. — 2015. — № 5. — С. 102–107.

15. Васильев, А.И. Дегенеративный сколиоз: обзор мировой литературы А.И. Васильев // Хирургия позвоночника. — 2016. — № 4. — С. 56–65.

16. Ветрилэ, С.Т. Показания и особенности выбора тактики хирургического лечения поясничного остеохондроза с использованием транспедикулярных фиксаторов / С.Т. Ветрилэ, В.В. Швец, А.И. Крупаткин // Хирургия позвоночника. — 2004. — № 4. — С. 40–46.

17. Ветрилэ, С.Т. Особенности хирургического лечения больных с осложненными компрессионными переломами тел позвонков грудного и поясничного отдела позвоночника на фоне системного остеопороза / С.Т. Ветрилэ, А.А. Кулешов, Л.Ю. Дарчия [и др.] // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. — 2009. — № 2. — С. 34.

18. Губин, А.В. Ретроспективный анализ мальпозиции винтов после инструментальной коррекции деформаций грудного и поясничного отделов позвоночника / А.В. Губин, С.О. Рябых, А.В. Бурцев // Хирургия позвоночника. — 2015. — № 1. — С. 8–13.

19. Гуща, А.О. Диагностика и хирургическое лечение спондилогенной шейной миелопатии: клинические рекомендации / А.О. Гуща, С.О. Арестов, М.Д. Древаль [и др.]. — М., 2015. — 167 с. — URL: <http://www.almazovcentre.ru/wp-content/uploads/%D0%97%D0%B0%D0%B2%D0%B3%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D1%8F%D1%8F.pdf>.

20. Гуща, А.О. Оценка исходов хирургического лечения дегенеративно-дистрофических заболеваний позвоночника / А.О. Гуща, А.Р. Юсупова // Хирургия позвоночника. — 2017. — № 4. — С. 85–94.

21. Калинин, А.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.

22. Климов, В.С. Применение технологии LLIF у пациентов с дегенеративным сколиозом поясничного отдела позвоночника: анализ ретроспективной когорты и обзор литературы / В.С. Климов, И.И. Василенко, А.В. Евсюков [и др.] // Гений ортопедии. — 2018. — № 3. — С. 393–403.

23. Козлов, Д.М. Отдаленные результаты хирургического лечения дегенеративных заболеваний поясничного отдела позвоночника у пациентов старше 60 лет / Д.М. Козлов, А.В. Крутько, Е.Б. Колотов, Ш.А. Ахметьянов // Журнал «Вопросы нейрохирургии» им. Н.Н. Бурденко. — 2011. — № 3. — С. 57–61.

24. Колесов, С.В. 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. — № 1. — С. 41–49.

25. Коновалов, Н.А. 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.

26. 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.

27. Крутько, А.В. Минимально инвазивные технологии в хирургическом лечении дегенеративного поясничного сколиоза взрослых / А.В. Крутько, П. Дурни, А.И. Васильев, А.В. Булатов // Хирургия позвоночника. — 2014. — № 4. — С. 49–56.

28. Крутько, А.В. Сагиттальный баланс. Гармония в формулах / А.В. Крутько. — Новосибирск, 2016. — 64 с.

29. Крутько, А.В. Моделирование компенсаторной реакции позвоночника при его деформации / А.В. Крутько, А.В. Гладков, В.В. Комиссаров, Н.В. Комиссарова // Хирургия позвоночника. — 2018. — Т. 15, № 3. — С. 85–91.
30. Кудяшев, А.Л. Биомеханические предпосылки формирования проксимального переходного кифоза после транспедикулярной фиксации поясничного отдела позвоночника / А.Л. Кудяшев, В.В. Хоминец, А.В. Теремшонок [и др.] // Российский журнал биомеханики. — 2017. — Т. 21, № 3. — С. 313–323.
31. Левченко, С.К. Экспериментально-анатомическое исследование функциональной транспедикулярной стабилизации позвоночника / С.К. Левченко, О.Н. Древаль, А.А. Ильин [и др.] // Журнал «Вопросы нейрохирургии» им. Н.Н. Бурденко. — 2011. — Т. 75, № 1. — Р. 20–26.
32. Лесняк, О.М. Остеопороз: руководство для врачей / О.М. Лесняк. — М. : ГЭОТАР-Медиа, 2016. — 224 с.
33. Макаревич, С.В. Исторические аспекты транспедикулярной фиксации позвоночника: обзор литературы / С.В. Макаревич // Хирургия позвоночника. — 2018. — № 4. — С. 95–106.
34. Мануковский, В.А. Вертебропластика в лечении патологии позвоночника : автореф. дис. ... д-ра мед. наук : 14.00.28 / Мануковский Вадим Анатольевич. — СПб., 2009. — 37 с.
35. Маркин, С.П. Современный взгляд на проблему боли в позвоночнике / С.П. Маркин // Русский медицинский журнал. — 2009. — № 11. — С. 794.
36. Михайловский, М.В. Проксимальные переходные кифозы актуальная проблема современной вертебродологии / М.В. Михайловский, А.Ю. Сергунин // Хирургия позвоночника. — 2014. — № 1. — С. 11–23.
37. Млявых, С.Г. Клинико-рентгенографические корреляции (по данным компьютерной томографии) у пациентов с дегенеративным поясничным стенозом позвоночника / С.Г. Млявых, А.Я. Алейник, А.Е. Боков [и др.] // Медицинская визуализация. — 2017. — Т. 21, № 5. — С. 124–130.

38. Продан, А.И. Современные технологии хирургического лечения поясничного спинального стеноза / А.И. Продан, О.А. Перепечай, В.А. Колесниченко [и др.] // Хирургия позвоночника. — 2008. — № 3. — С. 40–47.
39. Продан, А.И. Осложнения хирургического лечения поясничного спинального стеноза / А.И. Продан, О.И. Перепечай, В.А. Колесниченко // Хирургия позвоночника. — 2009. — № 1. — С. 31–37.
40. Радченко, В.А. Ретроспективный анализ хирургического лечения дегенеративного сколиоза / В.А. Радченко, А.А. Мезенцев, А.А. Барков // Травма. — 2011. — Т. 12, № 1. — С. 26–34.
41. Рерих, В.В. Сравнительный анализ исходов хирургических методов лечения, применяемых при переломах тел грудного и поясничного отделов позвоночника на фоне остеопороза / В.В. Рерих, Ш.Н. Рахматиллаев // Травматология и ортопедия XXI века: Сборник тезисов докладов VIII съезда травматологов-ортопедов России. – М., 2006. – С. 800.
42. Сергунин, А.Ю. Факторы риска развития проксимальных переходных кифозов в хирургии идиопатического сколиоза / А.Ю. Сергунин, М.В. Михайловский, А.Н. Сорокин // Хирургия позвоночника. — 2015. — № 3. — С. 28–32.
43. Шевченко, Е.Г. Возможности мультиспиральной компьютерной томографии в оценке состояния позвоночника после оперативных вмешательств с использованием метода транспедикулярного остеосинтеза / Е.Г. Шевченко, Н.В. Агурина, Е.И. Зяблова [и др.] // Инновационная медицина Кубани. — 2018. — № 2. — С. 17–23.
44. Шульга, А.Е. Результаты вертебропластики при повреждениях грудного и поясничного отделов позвоночника у больных с остеопорозом / А.Е. Шульга // Саратовский научно-медицинский журнал. — 2009. — Т. 5, № 2. — С. 2.
45. Abumi, K. Pedicle screw fixation for nontraumatic lesions of the cervical spine / K. Abumi, K. Kaneda // Spine (Phila Pa 1976). — 1997. — Vol. 22. — P. 1853–1863.

46. Annis, P. Predictive factors for acute proximal junctional failure after adult deformity surgery with upper instrumented vertebrae in the thoracolumbar spine / P. Annis, B.D. Lawrence, W.R. Spiker [et al.] // *Evid. Based Spine Care J.* — 2014. — Vol. 5. — P. 160–162.
47. Aghayev, E. Development and validation of a quantitative method to assess pedicle screw loosening in posterior spine instrumentation on plain radiographs / E. Aghayev, N. Zullig, P. Diel [et al.] // *Eur. Spine J.* — 2014. — Vol. 23. — P. 689–694.
48. Arlet, V. Junctional spinal disorders in operated adult spinal deformities: present understanding and future perspectives / V. Arlet, M. Aebi // *Eur. Spine J.* — 2013. — Vol. 22, Suppl. 2. — P. 276–295.
49. Barber, J.W. Biomechanical study of lumbar pedicle screws: does convergence affect axial pullout strength? / J.W. Barber, S.D. Boden, T. Ganey, W.C. Hutton // *J. Spinal Disord.* — 1998. — Vol. 11. — P. 215–220.
50. Baron, E.M. Medical complications of surgical treatment of adult spinal deformity and how to avoid them / E.M. Baron, T.J. Albert // *Spine.* — 2006. — Vol. 31, N 19. — P. 106–118.
51. Barrey, C. Sagittal balance of the pelvispine complex and lumbar degenerative diseases. A comparative study about 85 cases / C. Barrey, J. Jund, O. Nosedá, P. Roussouly // *Eur. Spine J.* — 2007. — Vol. 16. — P. 1459–1467.
52. Barrey, C. Sagittal balance disorders in severe degenerative spine. Can we identify the compensatory mechanisms? / C. Barrey, P. Roussouly, G. Perrin // *Eur. Spine J.* — 2011. — Vol. 20, N 5. — P. 626–633.
53. Becker, S. Assessment of different screw augmentation techniques and screw designs in osteoporotic spines / S. Becker, A. Chavanne, R. Spitaler [et al.] // *Eur. Spine J.* — 2008. — Vol. 17. — P. 1462–1469.
54. Bennett, G.J. An experimental study of lumbar destabilization. Restabilization and bone density / G.J. Bennett, H.A. Serhan, P.M. Sorini, B.H. Willis // *Spine (Phila Pa 1976).* — 1997. — Vol. 22. — P. 1448–1453.

55. Berjano, P. Failures and revisions in surgery for sagittal imbalance: analysis of factors influencing failure / P. Berjano, K. Bassani // *Eur. Spine J.* — 2013. — Vol. 22, Suppl. 6. — P. S853–S858.
56. Berjano, P. Far lateral approaches (XLIF) in adult scoliosis / P. Berjano, C. Lamartina // *Eur Spine J.* — 2013. — Vol. 22, Suppl. 2. — P. S242–S253.
57. Bjerke-Kroll, B. Postsurgical predictors of proximal junctional kyphosis in adolescent idiopathic scoliosis / B. Bjerke-Kroll, R. Saiyed, Z. Cheung [et al.] // *Spine J.* — 2015. — Vol. 15, N 10. — P. 148.
58. Bokov, A. Pedicle Screws Loosening in Patients With Degenerative Diseases of the Lumbar Spine: Potential Risk Factors and Relative Contribution / A. Bokov, A. Bulkin, A. Aleynik [et al.] // *Global Spine J.* — 2019. — Vol. 9, N 1. — P. 55–61.
59. Bridwell, K.H. Decision making regarding Smith-Petersen vs. pedicle subtraction osteotomy vs. vertebral column resection for spinal deformity / K.H. Bridwell // *Spine (Phila Pa 1976)*. — 2006. — Vol. 31, 19 Suppl. — P. 171–178.
60. Bridwell, K.H. Adult spinal deformity revision surgery / K.H. Bridwell, R.F. Heary, T.J. Albert // *Spinal Deformity*. — 2007. — Vol. 1. — P. 240–248.
61. Bridwell, K.H. Proximal junctional kyphosis in primary adult deformity surgery: evaluation of 20 degrees as a critical angle / K.H. Bridwell, L.G. Lenke, S.K. Cho [et al.] // *Neurosurgery*. — 2013. — Vol. 72. — P. 899–906.
62. Bullmann, V. Revision of cannulated and perforated cement-augmented pedicle screws: a biomechanical study in human cadavers / V. Bullmann, W. Schmoelz, M. Richter [et al.] // *Spine (Phila Pa 1976)*. — 2010. — Vol. 35. — P. E932–E939.
63. Cammarata, M. Biomechanical risk factors for proximal junctional kyphosis: a detailed numerical analysis of surgical instrumentation variables / M. Cammarata, C.E. Aubin, X. Wang, J.M. Mac-Thiong // *Spine*. — 2014. — Vol. 39, N 8. — P. 500–507.
64. Carragee, E.J. A critical review of recombinant human bone morphogenetic protein-2 trials in spinal surgery: emerging safety concerns and lessons learned / E.J.

Carragee, E.L. Hurwitz, B.K. Weiner // *Spine J.* — 2011. — Vol. 11, N 6. — P. 471–491.

65. Chiu, Y.-C. Pedicle screw breakage in a vertebral body: A rare complication in a dynamic stabilization device / Y.-C. Chiu, Sh.-Ch. Yang, Sh.-W. Yu, Y.-K. Tu // *Formosan J. Musculoskelet. Disord.* — 2011. — Vol. 2. — P. 143–146.

66. Cho, K.J. Arthrodesis to L5 versus S1 in long instrumentation and fusion for degenerative lumbar scoliosis / K.J. Cho, S.I. Suk, S.R. Park [et al.] // *Eur. Spine J.* — 2009. — Vol. 18. — P. 531–537.

67. Cho, S.K. Proximal junctional kyphosis following adult spinal deformity surgery / S.K. Cho, J.I. Shin, Y.J. Kim // *Eur. Spine J.* — 2014. — Vol. 23. — P. 2726–2736.

68. Cunningham, B.W. The effect of spinal destabilization and instrumentation on lumbar intradiscal pressure: an in vitro biomechanical analysis / B.W. Cunningham, Y. Kotani, P.S. McNulty [et al.] // *Spine (Phila Pa 1976)*. — 1997. — Vol. 22. — P. 2655–2663.

69. Denis, F. Incidence and risk factors for proximal and distal junctional kyphosis following surgical treatment for Scheuermann kyphosis: minimum five-year follow-up / F. Denis, E.C. Sun, R.B. Winter // *Spine (Phila Pa 1976)*. — 2009. — Vol. 34. — P. 729–734.

70. Dick, J.C. Mechanical evaluation of cross-link designs in rigid pedicle screw systems / J.C. Dick, T.A. Zdeblick, B.D. Bartel, D.N. Kunz // *Spine (Phila Pa 1976)*. — 1997. — Vol. 22. — P. 370–375.

71. Donovan, D.J. The removal of a transdural pedicle screw placed for thoracolumbar spine fracture / D.J. Donovan, D.W. Jr. Polly, S.L. Ondra // *Spine (Phila Pa 1976)*. — 1996. — Vol. 21. — P. 2495–2498.

72. Duncan, J.D. Extraction of broken pedicle screws: technical note / J.D. Duncan, J.D. MacDonald // *Neurosurgery*. — 1998. — Vol. 42. — P. 1399–1400.

73. Esses, S.I. Complications associated with the technique of pedicle screw fixation. A selected survey of ABS members / S.I. Esses, B.L. Sachs, V. Dreyzin // *Spine*. — 1993. — Vol. 18. — P. 2231–2238.



74. Faraj, A.A. Early complications of spinal pedicle screw / A.A. Faraj, J.K. Webb // *Eur. Spine J.* — 1997. — Vol. 6. — P. 324–326.
75. Fernandez-Baillo, N. Proximal junctional vertebral fracture-subluxation after adult spine deformity surgery. Does vertebral augmentation avoid this complication? A case report / N. Fernandez-Baillo, J.M. Sanchez Marquez, F.J. Sanchez Perez-Grueso, F.A. Garcia // *Scoliosis.* — 2012. — Vol. 7, N 1. — P. 16.
76. Fölsch, C. Correlation of pull-out strength of cement-augmented pedicle screws with CT-volumetric measurement of cement / C. Fölsch, H. Goost, J. Figiel [et al.] // *Biomed. Tech.* — 2012. — Vol. 57, N 6. — P. 473–480
77. Fu, R. Effectiveness and harms of recombinant human bone morphogenetic protein-2 in spine fusion: a systematic review and meta-analysis / R. Fu, S. Selph, M. McDonagh [et al.] // *Ann. Intern. Med.* — 2013. — Vol. 158, N 12. — P. 890–902.
78. Galbusera, F. Pedicle screw loosening: a clinically relevant complication? / F. Galbusera, D. Volkheimer, S. Reitmaier [et al.] // *Eur. Spine J.* — 2015. — Vol. 24. — P. 1005–1016.
79. Gaines, R.W. Improving quality of spinal internal fixation: evolution toward “ideal immobilization”: a biomechanical study / R.W. Gaines, W.L. Carson, C.C. Satterlee, G.I. Groh // *Orthop. Trans.* — 1987. — Vol. 11. — P. 86–87.
80. Gaines, R.W. Jr. The use of pedicle-screw internal fixation for the operative treatment of spinal disorders / R.W.Jr. Gaines // *J. Bone Joint Surg. Am.* — 2000. — Vol. 82. — P. 1458–1476.
81. Glassman, S.D. Correlation of radiographic parameters and clinical symptoms in adult scoliosis / S.D. Glassman, S. Berven, K. Bridwell [et al.] // *Spine.* — 2005. — Vol. 30. — P. 682–688.
82. Glattes, R.C. Proximal junctional kyphosis in adult spinal deformity following long instrumented posterior spinal fusion: incidence, outcomes, and risk factor analysis / R.C. Glattes, K.H. Bridwell, L.G. Lenke [et al.] // *Spine (Phila Pa 1976).* — 2005. — Vol. 30. — P. 1643–1649.
83. Goldstein, C.L. Comparative outcomes of minimally invasive surgery for posterior lumbar fusion: a systematic review / C.L. Goldstein, K. Macwan, K.

Sundararajan, Y.R. Rampersaud // *Clin. Orthop. Relat. Res.* — 2014. — Vol. 472, N 6. — P. 1727–1737.

84. Gomez, C.H. Efficacy of pedicle screw fixation in the treatment of spinal instability and failed back surgery: a 5-year review / C.H. Gomez, D.G. Karahalios, V.K. Sonntag // *J. Neurosurg.* — 1998. — Vol. 89. — P. 371–377.

85. Gillet, P. The fate of the adjacent motion segments after lumbar fusion / P. Gillet // *J. Spinal Dis. Tech.* — 2003. — Vol. 16, N 4. — P. 338–345.

86. Ha, Y. Proximal junctional kyphosis and clinical outcomes in adult spinal deformity surgery with fusion from the thoracic spine to the sacrum: a comparison of proximal and distal upper instrumented vertebrae / Y. Ha, K. Maruo, L. Racine [et al.] // *J. Neurosurg // Spine.* — 2013. — Vol. 19. — P. 360–369.

87. Han, S. Comparative study between cobalt chrome and titanium alloy rods for multilevel spinal fusion: proximal junctional kyphosis more frequently occurred in patients having cobalt chrome rods / S. Han, S.J. Hyun, K.J. Kim [et al.] // *World Neurosurg.* — 2017. — Vol. 103. — P. 404–409.

88. Han, S. Rod stiffness as a risk factor of proximal junctional kyphosis after adult spinal deformity surgery: comparative study between cobalt chrome multiple-rod constructs and titanium alloy two-rod constructs / S. Han, S.J. Hyun, K.J. Kim [et al.] // *Spine J.* — 2017. — Vol. 17. — P. 962–968.

89. Hart, R.A. Proximal junctional acute collapse cranial to multi-level lumbar fusion: a cost analysis of prophylactic vertebral augmentation / R.A. Hart, M.A. Prendergast, W.G. Roberts [et al.] // *Spine J.* — 2008. — Vol. 8, N 6. — P. 875–881.

90. Hart, R.A. Proximal junctional kyphosis and proximal junctional failure / R.A. Hart, I. McCarthy, C.P. Ames [et al.] // *Neurosurg. Clin. N. Am.* — 2013. — Vol. 24, N 2. — P. 213–218.

91. Hart, R. Identification of decision criteria for revision surgery among patients with proximal junctional failure after surgical treatment of spinal deformity / R.A. Hart, I. McCarthy, M. O'brien [et al.] // *Spine (Phila Pa 1976).* — 2013. — Vol. 38. — P. 1223–1227.

92. Hassanzadeh, H. Type of anchor at the proximal fusion level has a significant effect on the incidence of proximal junctional kyphosis and outcome in adults after long posterior spinal fusion / H. Hassanzadeh, S. Gupta, A. Jain [et al.] // *Spine Deformity*. — 2013. — Vol. 1, N 4. — P. 299–305.
93. Helgeson, M.D. Evaluation of proximal junctional kyphosis in adolescent idiopathic scoliosis following pedicle screw, hook, or hybrid instrumentation / M.D. Helgeson, S.A. Shah, P.O. Newton [et al.] // *Spine (Phila Pa 1976)*. — 2010. — Vol. 35. — P. 177–181.
94. Hollenbeck, S.M. The prevalence of increased proximal junctional flexion following posterior instrumentation and arthrodesis for adolescent idiopathic scoliosis / S.M. Hollenbeck, R.C. Glattes, M.A. Asher [et al.] // *Spine*. — 2008. — Vol. 33, N 15. — P. 1675–1681.
95. Horton, W. C. Is there an optimal patient stance for obtaining a lateral 36° radiograph? A critical comparison of three techniques / W.C. Horton, C.W. Brown, K.H. Bridwell [et al.] // *Spine (Phila Pa 1976)*. — 2005. — Vol. 30, N 4. — P. 427–433.
96. Hostin, R. Incidence, mode, and location of acute proximal junctional failures after surgical treatment of adult spinal deformity / R. Hostin, I. McCarthy, M. O'Brien [et al.] // *Spine (Phila Pa 1976)*. — 2013. — Vol. 38. — P. 1008–1015.
97. Hu, K. Fusion surgery for lumbar spinal stenosis / K. Hu, D. Feng // *N. Engl. J. Med.* — 2016. — Vol. 375. — P. 598–599.
98. Hustedt, J.W. The controversy surrounding bone morphogene proteins in the spine: a review of current research / J.W. Hustedt, D.J. Blizzard // *Yale J. Biol. Med.* — 2014. — Vol. 87, N 4. — P. 549–561.
99. Hyun, S.J. Patients with proximal junctional kyphosis after stopping at thoracolumbar junction have lower muscularity, fatty degeneration at the thoracolumbar area / S.J. Hyun, Y.J. Kim, S.C. Rhim // *Spine J.* — 2016. — Vol. 16. — P. 1095–1101.
100. Hyun, S.J. Clinical outcomes and complications after pedicle subtraction osteotomy for fixed sagittal imbalance patients: a long-term follow-up data / S.J. Hyun, S.C. Rhim // *J. Korean Neurosurg. Soc.* — 2010. — Vol. 47, N 2. — P. 95–101.

101. Hyun, S.J. Proximal Junctional Kyphosis and Proximal Junctional Failure Following Adult Spinal Deformity Surgery / S.J. Hyun, B.H. Lee, J.H. Park [et al.] // *Korean J. Spine.* — 2017. — Vol. 14, N 4. — P. 126–132.
102. Jouve J.-L. Use of the Universal Clamp for deformity correction and as an adjunct to fusion: preliminary result in scoliosis / J.-L. Jouve, J.S. de Gauzy, B. Blondel [et al.] // *J. Child. Orthop.* — 2009. — Vol. 4, N 1. — P. 73–80.
103. Kang, D.G. Complications associated with bone morphogenetic protein in the lumbar spine / D.G. Kang, W.K. Hsu, R.A.Jr. Lehman // *Orthopedics.* — 2017. — Vol. 40, N 2. — P. e229-e237.
104. Kawaguchi, S. Evaluation, prevention, and treatment of proximal junctional failure / S. Kawaguchi, R. Hart // *Global spinal alignment: principles, pathologies, and procedures.* — St. Louis : Quality Medical Publishing, 2015. — 687 p.
105. Kayanja, M.M. The biomechanics of 1, 2, and 3 levels of vertebral augmentation with polymethylmethacrylate in multilevel spinal segments / M.M. Kayanja, R. Schlenk, D. Togawa [et al.] // *Spine.* — 2006. — Vol. 31, N 7. — P. 769–774.
106. Kazunori, Y. Indication fusion for lumbar spinal stenosis in Elderly patients and its significance / Y. Kazunori, S. Takashi, K. Yosihisa [et al.] // *Spine.* — 1996. — Vol. 21. — P. 242–248.
107. Kebaish, K.M. Use of vertebroplasty to prevent proximal junctional fractures in adult deformity surgery: a biomechanical cadaveric study / K.M. Kebaish, C.T. Martin, J.R. O'Brien [et al.] // *Spine J.* — 2013. — Vol. 13, N 12. — P. 1897–1903.
108. Kim, J.Y. Sagittal thoracic decompensation following long adult spinal instrumentation and fusion to L5 or S1: causes, prevalence, and risk factor analysis / J.Y. Kim, K.H. Bridwell, L.G. Lenke [et al.] // *Spine.* — 2006. — Vol. 31. — P. 2359–2366.
109. Kim, J.Y. Paraspinal muscle, facet joint, and disc problems: risk factors for adjacent segment degeneration after lumbar fusion / J.Y. Kim, D.S. Ryu, H.K. Paik [et al.] // *Spine J.* — 2016. — Vol. 16. — P. 867–875.

110. Kim, H.J. Proximal junctional kyphosis as a distinct form of adjacent segment pathology after spinal deformity surgery: a systematic review / H.J. Kim, L.G. Lenke, C.I. Shaffrey [et al.] // *Spine*. — 2012. — Vol. 37, 22 Suppl. — P. 144–164.

111. Kim, H.J. Combined anterior-posterior surgery is the most important risk factor for developing proximal junctional kyphosis in idiopathic scoliosis / H.J. Kim, M. Yagi, J. Nyugen [et al.] // *Clin. Orthop. Relat. Res.* — 2012. — Vol. 470. — P. 1633–1639.

112. Kim, H.J. Proximal junctional kyphosis results in inferior SRS pain subscores in adult deformity patients / H.J. Kim, K.H. Bridwell, L.G. Lenke [et al.] // *Spine*. — 2013. — Vol. 38, N 11. — P. 896–901.

113. Kim, H.J. Patients with proximal junctional kyphosis requiring revision surgery have higher postoperative lumbar lordosis and larger sagittal balance corrections / H.J. Kim, K.H. Bridwell, L.G. Lenke [et al.] // *Spine (Phila Pa 1976)*. — 2014. — Vol. 39. — P. 576–580.

114. Kim, J.B. The effects of spinopelvic parameters and paraspinal muscle degeneration on S1 screw loosening / J.B. Kim, S.W. Park, Y.S. Lee [et al.] // *J. Korean Neurosurg. Soc.* — 2015. — Vol. 58. — P. 357–362.

115. Kim, J.B. The effects of spinopelvic parameters and paraspinal muscle degeneration on S1 screw loosening / J.B. Kim, S.W. Park, Y.S. Lee [et al.] // *J. Korean Neurosurg. Soc.* — 2015. — Vol. 58. — P. 357–362.

116. Kim, Y.J. Proximal junctional kyphosis in adolescent idiopathic scoliosis following segmental posterior spinal instrumentation and fusion: minimum 5-year follow-up / J.Y. Kim, K.H. Bridwell, L.G. Lenke [et al.] // *Spine (Phila Pa 1976)*. — 2005. — Vol. 30. — P. 2045–2050.

117. Kim, Y.J. Proximal junctional kyphosis in adolescent idiopathic scoliosis after 3 different types of posterior segmental spinal instrumentation and fusions: incidence and risk factor analysis of 410 cases / J.Y. Kim, L.G. Lenke, K.H. Bridwell [et al.] // *Spine (Phila Pa 1976)*. — 2007. — Vol. 32. — P. 2731–2738.

118. Kim, Y.J. Proximal junctional kyphosis in adult spinal deformity after segmental posterior spinal instrumentation and fusion: minimum five year follow-up /

J.Y. Kim, K.H. Bridwell, L.G. Lenke [et al.] // *Spine (Phila Pa 1976)*. — 2008. — Vol. 33. — P. 2179–2184.

119. Kim, Y.J. Decision making algorithm for adult spinal deformity surgery / Y.J. Kim, S.J. Hyun, G. Cheh [et al.] // *J. Korean Neurosurg. Soc.* — 2016. — Vol. 59. — P. 327–333.

120. Kim, Y. Comparative radiographic analysis of the sagittal spinopelvic alignment between 100 asymptomatic adults and 100 patients with sagittal imbalance: the best angular parameters to sagittal vertical axis / Y. Kim, K.H. Bridwell, L.G. Lenke [et al.] // *Spine*. — 2009. — Vol. 10, Suppl. 3. — P. 178–180.

121. Kothe, R. Multidirectional instability of the thoracic spine due to iatrogenic pedicle injuries during transpedicular fixation. A biomechanical investigation / R. Kothe, M.M. Panjabi, W. Liu // *Spine (Phila Pa 1976)*. — 1997. — Vol. 22. — P. 1836–1842.

122. Kowalski, R.J. Biomechanics of bone fusion / R.J. Kowalski, L.A. Ferrara, E.C. Benzel // *Neurosurg. Focus*. — 2001. — Vol. 10. — P. E2.

123. Lafage, R. Defining spino-pelvic alignment thresholds: should operative goals in adult spinal deformity surgery account for age? / R. Lafage, F. Schwab, V. Chailier [et al.] // *Spine*. — 2016. — Vol. 41, N 1. — P. 62–68.

124. Lafage, V. Sagittal spino-pelvic alignment failures following three column thoracic osteotomy for adult spinal deformity / V. Lafage, J.S. Smith, S. Bess [et al.] // *Eur Spine J*. — 2012. — Vol. 4. — P. 698–704.

125. Lau, D. Proximal junctional kyphosis and failure after spinal deformity surgery: a systematic review of the literature as a background to classification development / D. Lau, A.J. Clark, J.K. Scheer [et al.] // *Spine (Phila Pa 1976)*. — 2014. — Vol. 39. — P. 2093–2102.

126. Le Huec, J.C. Pelvic parameters: origin and significance / J.C. Le Huec, S. Aunoble, L. Philippe, P. Nicolas // *Eur. Spine J*. — 2011. — Vol. 20, Suppl. 5. — P. 564–571.

127. Lee, J.H. Analysis of the incidence and risk factors for the progression of proximal junctional kyphosis following surgical treatment for lumbar degenerative

kyphosis: minimum 2-year follow-up / J.H. Lee, J.U. Kim, J.S. Jang, S.H. Lee // *Br. J. Neurosurg.* — 2014. — Vol. 28. — P. 252–258.

128. Lee, J. Proximal Junctional Kyphosis: Diagnosis, Pathogenesis, and Treatment / J. Lee, Y-S. Park // *Asian Spine J.* — 2016. — Vol. 10, N 3. — P. 593–600.

129. Lee, G.A. Proximal kyphosis after posterior spinal fusion in patients with idiopathic scoliosis / G.A. Lee, R.R. Betz, D.H. 3<sup>rd</sup> Clements, G.K. Huss // *Spine (Phila Pa 1976)*. — 1999. — Vol. 24. — P. 795–799.

130. Lehman, R.A. Jr. Straight-forward versus anatomic trajectory technique of thoracic pedicle screw fixation: A biomechanical analysis / R.A. Jr. Lehman, D.W. Jr. Polly, T.R. Kuklo [et al.] // *Spine (Phila Pa 1976)*. — 2003. — Vol. 28, N 18. — P. 2058–2065.

131. Lehman, R. Jr. Low Lumbar Burst Fractures: A Unique Fracture Mechanism / R. Jr. Lehman, T. Eckel // *Spine (Phila Pa 1976)*. — 2009. — Vol. 9, N 1. — P. 47–148.

132. Lewis, S.J. Upper instrumented vertebral fractures in long lumbar fusions: what are the associated risk factors? / S.J. Lewis, H. Abbas, S. Chua [et al.] // *Spine (Phila Pa 1976)*. — 2012. — Vol. 37, N 16. — P. 1407–1414.

133. Lonner, B.S. Operative management of Scheuermann's kyphosis in 78 patients: radiographic outcomes, complications, and technique / B.S. Lonner, P. Newton, R. Betz [et al.] // *Spine.* — 2007. — Vol. 32, N 24. — P. 2644–2652.

134. Lowe, T.G. An analysis of sagittal curves and balance after Cotrel-Dubousset instrumentation for kyphosis secondary to Scheuermann's disease. A review of 32 patients / T.G. Lowe, M.D. Kasten // *Spine.* — 1994. — Vol. 19, N 15. — P. 1680–1685.

135. Lonstein, J.E. Complications associated with pedicle screws / J.E. Lonstein, F. Denis, J.H. Perra [et al.] // *J. Bone Joint Surg. Am.* — 1999. — Vol. 81. — P. 1519–1528.

136. Lynn, G. Mechanical stability of thoracolumbar pedicle screw fixation. The effect of crosslinks / G. Lynn, D.P. Mukherjee, R.N. Kruse [et al.] // *Spine (Phila Pa 1976)*. — 1997. — Vol. 22. — P. 1568–1572.

137. Mac-Thiong, J.M. Sagittal parameters of global spinal balance: normative values from a prospective cohort of seven hundred nine Caucasian asymptomatic adults / J.M. Mac-Thiong, P. Roussouly, E. Berthonnaud [et al.] // *Spine*. — 2010. — Vol. 35, N 22. — P. E1193–E1198.
138. Machin, D. *Survival analysis: a practical approach* / D. Machin, Y. Cheung, M. Parmar. — New York, 2006. — 267 p.
139. Maier, S.P. Revision surgery after 3-column osteotomy in 335 patients with adult spinal deformity: intercenter variability and risk factors / S.P. Maier, J.S. Smith, F.J. Schwab [et al.] // *Spine (Phila Pa 1976)*. — 2014. — Vol. 39. — P. 881–885.
140. Makhni, M.C. Restoration of Sagittal Balance in Spinal Deformity Surgery / M.C. Makhni, J.N. Shillingford, J.L. Laratta [et al.] // *J. Korean Neurosurg. Soc.* — 2018. — Vol. 61, N 2. — P. 167–179.
141. Maruo, K. Predictive factors for proximal junctional kyphosis in long fusions to the sacrum in adult spinal deformity / K. Maruo, Y. Ha, S. Inoue [et al.] // *Spine (Phila Pa 1976)*. — 2013. — Vol. 38. — P. 1469–1476.
142. Matsumoto, T. Spinopelvic sagittal imbalance as a risk factor for adjacent-segment disease after single-segment posterior lumbar interbody fusion / T. Matsumoto, S. Okuda, T. Maeno [et al.] // *J. Neurosurg Spine*. — 2017. — Vol. 26, N 4. — P. 435–440.
143. Matsumura, A. Effect of Different Types of Upper Instrumented Vertebrae Instruments on Proximal Junctional Kyphosis Following Adult Spinal Deformity Surgery: Pedicle Screw versus Transverse Process Hook / A. Matsumura, T. Namikawa // *Asian Spine J.* — 2018. — Vol. 12, N 4. — P. 622–631.
144. McAfee, P.C. Survivorship analysis of pedicle spinal instrumentation / P.C. McAfee, D.J. Weiland, J.J. Carlow // *Spine*. — 1991. — Vol. 16. — P. S422–S427.
145. McClendon, J. Jr. Techniques for operative correction of proximal junctional kyphosis of the upper thoracic spine / J. Jr. McClendon, B.A. O’Shaughnessy, P.A. Sugrue [et al.] // *Spine*. — 2012. — Vol. 37, N 4. — P. 292–303.



146. McLain, R.F. Early failure of short-segment pedicle instrumentation for thoracolumbar fractures. A preliminary report / R.F. McLain, E. Sparling, D.R. Benson // *J. Bone Joint Surg. Am.* — 1993. — Vol. 75. — P. 162–167.

147. Mendoza-Lattes, S. Proximal junctional kyphosis in adult reconstructive spine surgery results from incomplete restoration of the lumbar lordosis relative to the magnitude of the thoracic kyphosis / S. Mendoza-Lattes, Z. Ries, Y.Gao, S.L. Weinstein // *Iowa Orthop. J.* — 2011. — Vol. 31. — P. 199–206.

148. Mohi Eldin, M.M. Lumbar Transpedicular Implant Failure: A Clinical and Surgical Challenge and Its Radiological Assessment / M.M. Mohi Eldin, A.M. Arafa Ali // *Asian Spine J.* — 2014. — Vol. 8, N 3. — P. 281–297.

149. Mohamed, A. Prophylactic rib fixation to prevent proximal junctional failure following instrumented posterior spinal fusion in adult spinal deformity / A. Mohamed, E. Coburn, K. Hamilton [et al.] // Presented at the American Academy of Orthopaedic Surgeons Annual Meeting, March 24–28. — Las Vegas, Nevada, 2015.

150. Mizuno, T. Biomechanical study of rotational micromovement of the pedicle screw / T. Mizuno, Y. Kasai, T. Sakakibara [et al.] // *Springerplus.* — 2016. — Vol. 5. — P. 1016.

151. Nakashima, H. Complications of cervical pedicle screw fixation for non-traumatic lesions: a multicenter study of 84 patients / H. Nakashima, Y. Yukawa, S. Imagama [et al.] // *J. Neurosurg. Spine.* — 2012. — Vol. 16. — P. 238–247.

152. Nguyen, N.-L.M. Diagnosis and Classification of Proximal Junctional Kyphosis and Proximal Junctional Failure / N.-L.M. Nguyen, C.Y. Kong, Kh.M. Kebaish [at al.] // *Adult Lumbar Scoliosis.* — Springer, Cham, 2017. — P. 195–216.

153. Nguyen, N.L. Proximal junctional kyphosis and failure-diagnosis, prevention, and treatment / N.L. Nguyen, C.Y. Kong, R.A. Hart // *Curr. Rev. Musculoskelet. Med.* — 2016. — Vol. 9. — P. 299–308.

154. Ohlin, A. Complications after transpedicular stabilization of the spine. A survivorship analysis of 163 cases / A. Ohlin, M. Karlsson, H. Duppe [et al.] // *Spine.* — 1994. — Vol. 19. — P. 2774–2779.

155. Ohtori, S. Teriparatide accelerates lumbar posterolateral fusion in women with postmenopausal osteoporosis: prospective study / S. Ohtori, G. Inoue, S. Orita [et al.] // *Spine (Phila Pa 1976)*. — 2012. — Vol. 37. — P. E1464–E1468.

156. Ohtori, S. Comparison of teriparatide and bisphosphonate treatment to reduce pedicle screw loosening after lumbar spinal fusion surgery in postmenopausal women with osteoporosis from a bone quality perspective / S. Ohtori, G. Inoue, S. Orita [et al.] // *Spine (Phila Pa 1976)*. — 2013. — Vol. 38. — P. E487–E492.

157. O’Leary, P.T. Risk factors and outcomes for catastrophic failures at the top of long pedicle screw constructs: a matched cohort analysis performed at a single center / P.T. O’Leary, K.H. Bridwell, L.G. Lenke [et al.] // *Spine*. — 2009. — Vol. 34, N 20. — P. 2134–2139.

158. Okuyama, K. Can insertional torque predict screw loosening and related failures? An in vivo study of pedicle screw fixation augmenting posterior lumbar interbody fusion / K. Okuyama, E. Abe, T. Suzuki [et al.] // *Spine*. — 2000. — Vol. 25. — P. 858–864.

159. Ondra, S.L. Revision strategies for lumbar pseudarthrosis / S.L. Ondra, S. Marzouk // *Neurosurg. Focus*. — 2003. — Vol. 15. — P. E9.

160. O’Shaughnessy, B.A. Does a long-fusion “T3-sacrum” portend a worse outcome than a short-fusion “T10-sacrum” in primary surgery for adult scoliosis? / B.A. O’Shaughnessy, K.H. Bridwell, L.G. Lenke [et al.] // *Spine (Phila Pa 1976)*. — 2012. — Vol. 37. — P. 884–890.

161. Park, S.J. Different risk factors of proximal junctional kyphosis and proximal junctional failure following long instrumented fusion to the sacrum for adult spinal deformity: survivorship analysis of 160 patients / S.J. Park, C.S. Lee, S.S. Chung [et al.] // *Neurosurgery*. — 2017. — Vol. 80. — P. 279–286.

162. Pihlajamaki, H. 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.

163. Parker, J.W. Successful short-segment instrumentation and fusion for thoracolumbar spine fractures: a consecutive 41/2-year series / J.W. Parker, J.R. Lane,

E.E. Karaikovic, R.W. Gaines // *Spine (Phila Pa 1976)*. — 2000. — Vol. 25. — P. 1157–1170.

164. Pumberger, M. Spinal deformity surgery: a critical review of alignment and balance / M. Pumberger // *Asian Spine J.* — 2018. — Vol. 12, N 4. — P. 775–783.

165. Rollinghoff, M. Mid-range outcomes in 64 consecutive cases of multilevel fusion for degenerative diseases of the lumbar spine / M. Rollinghoff, K. Schluter-Brust, D. Groos [et al.] // *Orthop. Rev. (Pavia)*. — 2010. — Vol. 2. — P. e3.

166. Renner, S.M. Augmentation of pedicle screw fixation strength using an injectable calcium phosphate cement as a function of injection timing and method / S.M. Renner, T.H. Lim, W.J. Kim [et al.] // *Spine (Phila Pa 1976)*. — 2004. — Vol. 29. — P. E212–E216.

167. Remi, C. Lumbar Decompression and Fusion in Elderly Osteoporotic Patients: A Prospective Study Using Less Rigid Titanium Rod Fixation / C. Remi, M. Jean, P. Antonietti [et al.] // *J. Spinal Disord. Tech.* — 2008. — Vol. 21, N 2. — P. 86–91.

168. Roussouly, P. Sagittal plane deformity: an overview of interpretation and management / P. Roussouly, C. Nnadi // *Eur. Spine J.* — 2010. — Vol. 19, N 11. — P. 1824–1836.

169. Rose, P.S. Role of pelvic incidence, thoracic kyphosis, and patient factors on sagittal plane correction following pedicle subtraction osteotomy / P.S. Rose, K.H. Bridwell, L.G. Lenke [et al.] // *Spine (Phila Pa 1976)*. — 2009. — Vol. 34. — P. 785–791.

170. Sandén, B. The significance of radiolucent zones surrounding pedicle screws. Definition of screw loosening in spinal instrumentation / B. Sandén, C. Olerud, M. Petré-Mallmin [et al.] // *J. Bone Joint Surg. Br.* — 2004. — Vol. 86. — P. 457–461.

171. Sacramento-Dominguez, C. Reproducibility measuring the angle of proximal junctional kyphosis using the first or the second vertebra above the upper instrumented vertebrae in patients surgically treated for scoliosis / C. Sacramento-

Dominguez, R. Vayas-Diez, L. Coll-Mesa [et al.] // *Spine (Phila Pa 1976)*. — 2009. — Vol. 34. — P. 2787–2791.

172. Schizas, C. Qualitative grading of severity of lumbar spinal stenosis based on the morphology of the dural sac on magnetic resonance images / C. Schizas, N. Theumann, A. Burn [et al.] // *Spine (Phila Pa 1976)*. — 2010. — Vol. 35, N 21. — P. 1919–1924.

173. Schwab, F. Sagittal plane considerations and the pelvis in the adult patient / F. Schwab, V. Lafage, A. Patel, J.P. Farcy // *Spine (Phila Pa 1976)*. — 2009. — Vol. 34, N 17. — P. 1828–1833.

174. Schwab, F.J. Radiographical spinopelvic parameters and disability in the setting of adult spinal deformity: a prospective multicenter analysis / F.J. Schwab, B. Blondel, S. Bess // *Spine (Phila Pa 1976)*. — 2013. — Vol. 38. — P. 803–812.

175. Soini, J. Spondylodesis augmented by transpedicular fixation in the treatment of olisthetic and degenerative conditions of the lumbar spine / J. Soini, T. Laine, T. Pohjolainen [et al.] // *Clin. Orthop. Relat. Res.* — 1993. — Vol. 297. — P. 111–116.

176. Smith, M.W. Early proximal junctional failure in patients with preoperative sagittal imbalance / M.W. Smith, P. Annis, B.D. Lawrence [et al.] // *Evid. Based Spine Care J.* — 2013. — Vol. 4. — P. 163–164.

177. Suk, S.I. Adding posterior lumbar interbody fusion to pedicle screw fixation and posterolateral fusion after decompression in spondylolytic spondylolisthesis / S.I. Suk, C.K. Lee, W.J. Kim [et al.] // *Spine (Phila Pa 1976)*. — 1997. — Vol. 22. — P. 210–219.

178. Smith, M.W. Acute proximal junctional failure in patients with preoperative sagittal imbalance / M.W. Smith, P. Annis, B.D. Lawrence [et al.] // *Spine J.* — 2015. — Vol. 15, N 10. — P. 2142–2148.

179. Schatzker, J. The effect of movement on the holding power of screws in bone / J. Schatzker, J.G. Horne, G. Sumner-Smith // *Clin. Orthop. Relat. Res.* — 1975. — Vol. 111. — P. 257–262.

180. Schnee, C.L. Outcome analysis for adults with spondylolisthesis treated with posterolateral fusion and transpedicular screw fixation / C.L. Schnee, A. Freese, L.V. Ansell // *J. Neurosurg.* — 1997. — Vol. 86. — P. 56–63.
181. Schlenk, R.P. The biomechanics of iatrogenic spinal destabilization and implant failure / R.P. Schlenk, T. Stewart, E.C. Benzel // *Neurosurg. Focus.* — 2003. — Vol. 15. — P. E2.
182. Tokuhashi, Y. Clinical course and significance of the clear zone around the pedicle screws in the lumbar degenerative disease / Y. Tokuhashi, H. Matsuzaki, H. Oda, H. Uei // *Spine.* — 2008. — Vol. 33. — P. 903–908.
183. Togawa, D. Radiographic and histologic findings of vertebral augmentation using polymethylmethacrylate in the primate spine - percutaneous vertebroplasty and kyphoplasty / D. Togawa // *Spine.* — 2005. — Vol. 1. — P. 12–18.
184. Trout, A.T. New fractures after vertebroplasty: adjacent fractures occur significantly sooner / A.T. Trout, D.F. Kallmes, T.J. Kaufmann // *Am. J. Neuroradiol.* — 2006. — Vol. 27, N 1. — P. 217–223.
185. Verlaan, J.J. Histologic changes after vertebroplasty / J.J. Verlaan, F.C. Oner, P.J. Sloopweg // *J. Bone Joint Surg. Am.* — 2004. — Vol. 86-A, N 6. — P. 1230–1238.
186. Vaccaro, A.R. Indications for instrumentation in degenerative lumbar spinal disorders. / A.R. Vaccaro, S.T. Ball // *Orthopedics.* — 2000. — Vol. 23. — P. 260–271.
187. Watanabe, K. Proximal junctional vertebral fracture in adults after spinal deformity surgery using pedicle screw constructs: analysis of morphological features / K. Watanabe, L.G. Lenke, K.H. Bridwell [et al.] // *Spine.* — 2010. — Vol. 35, N 2. — P. 138–145.
188. Wang, H. Incidence and risk factors for the progression of proximal junctional kyphosis in degenerative lumbar scoliosis following long instrumented posterior spinal fusion / H. Wang, L. Ma, D. Yang [et al.] // *Medicine.* — 2016. — Vol. 95, N 32. — P. e4443.

189. Wu, J.C. Pedicle screw loosening in dynamic stabilization: incidence, risk, and outcome in 126 patients / J.C. Wu, W.C. Huang, H.W. Tsai // *Neurosurg Focus*. — 2011. — Vol. 31. — P. E9.
190. Wu, Z.X. A comparative study on screw loosening in osteoporotic lumbar spine fusion between expandable and conventional pedicle screws / Z.X. Wu, F.T. Gong, L. Liu [et al.] // *Arch. Orthop. Trauma Surg.* — 2012. — Vol. 132. — P. 471–476.
191. Wang, J. Risk factor analysis of proximal junctional kyphosis after posterior fusion in patients with idiopathic scoliosis / J. Wang., Y. Zhao, B. Shen [et al.] // *Injury*. — 2010. — Vol. 41. — P. 415-420.
192. Wang, H. The incidence and risk factors for the progression of proximal junctional kyphosis in degenerative lumbar scoliosis following long instrumented posterior spinal fusion / H. Wang, L. Ma, D. Yang [et al.] // *Medicine (Baltimore)*. — 2016. — Vol. 95. — P. 44–43.
193. Yagi, M. Incidence, risk factors and classification of proximal junctional kyphosis: surgical outcomes review of adult idiopathic scoliosis / M. Yagi, K.B. Akilah, O. Boachie-Adjei // *Spine (Phila Pa 1976)*. — 2011. — Vol. 36. — P. E60–E68.
194. Yagi, M. Incidence, risk factors, and natural course of proximal junctional kyphosis: surgical outcomes review of adult idiopathic scoliosis. Minimum 5 years of follow-up / M. Yagi, A.B. King, O. Boachie-Adjei // *Spine (Phila Pa 1976)*. — 2012. — Vol. 37. — P. 1479–1489.
195. Yagi, M. Characterization and surgical outcomes of proximal junctional failure in surgically treated patients with adult spinal deformity / M. Yagi, M. Rahm, R. Gaines [et al.] // *Spine (Phila Pa 1976)*. — 2014. — Vol. 39. — P. E607–E614.
196. Yagi, M. Low bone-mineral density is a significant risk for proximal junctional failure after surgical correction of adult spinal deformity: a propensity score-matched analysis / M. Yagi, N. Fujita, O. Tsuji [et al.] // *Spine (Phila Pa 1976)*. — 2018. — Vol. 43, N 7. — P. 485–491.

197. Yu, B.S. Biomechanical comparison of 4 fixation techniques of sacral pedicle screw in osteoporotic condition / B.S. Yu, X.M. Zhuang, Z.M. Zheng, J.F. Zhang [et al.] // *J. Spinal Disord. Tech.* — 2010. — Vol. 23. — P. 404–409.
198. Yuan, H.A. A historical cohort study of pedicle screw fixation in thoracic, lumbar, and sacral spinal fusions / H.A. Yuan, S.R. Garfin, C.A. Dickman, S.M. Mardjetko // *Spine.* — 1994. — Vol. 19. — P. 2279–2296.
199. Yamada, K. Accuracies in measuring spinopelvic parameters in full-spine lateral standing radiograph / K. Yamada, Y. Aota, T. Higashi [et al.] // *Spine (Phila Pa 1976).* — 2015. Vol. 40, N 11. — P. E640–E646.
200. Zhang, C. Adjacent segment degeneration versus disease after lumbar spine fusion for degenerative pathology: a systematic review with meta-analysis of the literature / C. Zhang, S.H. Berven, M. Fortin [et al.] // *Clin. Spine Surg.* — 2016. — Vol. 29. — P. 21–29.