

**Федеральное Государственное Бюджетное Учреждение
«Национальный медицинский исследовательский центр травматологии
и ортопедии имени Н.Н. Приорова»
Министерства здравоохранения Российской Федерации**

На правах рукописи

ПАНТЕЛЕЕВ

Андрей Андреевич

**Эффективность применения педикулярной субтракционной остеотомии
в целях коррекции сагиттального баланса у пациентов с ригидными
деформациями позвоночника**

14.01.15 – Травматология и ортопедия

Диссертация на соискание учёной степени

кандидата медицинских наук

Научный руководитель:

доктор медицинских наук, профессор,

С. В. Колесов

Москва

2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1	
ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.....	11
1.1 ОЦЕНКА САГИТТАЛЬНОГО БАЛАНСА ПОЗВОНОЧНИКА И ЕГО НАРУШЕНИЙ	12
1.1.1 Регионарные параметры сагиттального баланса	13
1.1.2 Глобальные параметры сагиттального баланса	14
1.1.3 Позвоночно-тазовые параметры	18
1.1.4 Оценка положения нижних конечностей	22
1.2 ВАРИАНТЫ САГИТТАЛЬНОГО БАЛАНСА В НОРМЕ	24
1.3 РЕНТГЕНОЛОГИЧЕСКИЕ КЛАССИФИКАЦИИ НАРУШЕНИЙ САГИТТАЛЬНОГО БАЛАНСА.....	28
1.4 МЕТОДЫ ХИРУРГИЧЕСКОЙ КОРРЕКЦИИ САГИТТАЛЬНОГО БАЛАНСА ПОЗВОНОЧНИКА	31
1.4.1 Остеотомии задней колонны позвоночника.....	32
1.4.2 Педикулярная субтракционная остеотомия.....	33
1.4.3 Резекция позвоночного столба.....	37
ГЛАВА 2	
МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	42
2.1 РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПАЦИЕНТОВ НА ГРУППЫ.....	42
2.2 ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИССЛЕДУЕМЫХ ПАЦИЕНТОВ	42
2.3 КЛИНИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	45
2.4 ЛУЧЕВЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	50
2.4.1 Рентгенографическое исследование.....	50
2.4.2 Компьютерная томография	54
2.4.3 Магнитно-резонансная томография.....	56
2.5 СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ	57
ГЛАВА 3	
РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ ПОЗВОНОЧНО-ТАЗОВЫХ ПАРАМЕТРОВ И САГИТТАЛЬНОГО БАЛАНСА ПОЗВОНОЧНИКА И ПРЕДОПЕРАЦИОННОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ КОРРЕКЦИИ.....	59
3.1 РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ ПРЕДОПЕРАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ САГИТТАЛЬНОГО БАЛАНСА ПОЗВОНОЧНИКА В ОБЩЕЙ ВЫБОРКЕ	65
3.1.1 Регионарные параметры сагиттального баланса	65
3.1.2 Глобальные параметры сагиттального баланса	67
3.1.3 Позвоночно-тазовые параметры	68

3.2 Предоперационное планирование коррекции	72
3.3 Определение уровня педикулярной субтракционной остеотомии и протяженности фиксации	75
3.4 Прогнозирование и симуляция коррекции за счет PSO при помощи программного обеспечения	76
ГЛАВА 4	
ОСОБЕННОСТИ МЕТОДИКИ ВЫПОЛНЕНИЯ ПЕДИКУЛЯРНОЙ СУБТРАКЦИОННОЙ ОСТЕОТОМИИ И ПОСЛЕДУЮЩЕЙ СТАБИЛИЗАЦИИ ПОЗВОНОЧНИКА.....	79
4.1 Хирургическая методика PSO	79
4.2 Особенности стабилизации позвоночника после выполнения PSO	85
ГЛАВА 5	
БЛИЖАЙШИЕ И ОТДАЛЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПЕДИКУЛЯРНОЙ СУБТРАКЦИОННОЙ ОСТЕОТОМИИ У ПЕРВИЧНЫХ ПАЦИЕНТОВ И ПРИ РЕВИЗИОННЫХ ВМЕШАТЕЛЬСТВАХ	91
5.1 Результаты первичного хирургического лечения пациентов с нарушением сагиттального баланса (Группа I).....	91
5.2 Результаты ревизионного хирургического лечения пациентов с нарушением сагиттального баланса (Группа II)	108
5.3 Анализ осложнений хирургического лечения пациентов с нарушением сагиттального баланса позвоночника.....	126
5.3.1 Неврологические осложнения.....	128
5.3.2 Переломы стержней	129
5.3.3 Псевдоартроз.....	130
5.3.4 Кифоз проксимальной переходной зоны (РЖК)	130
5.4 Сравнительный анализ результатов первичных и ревизионных хирургических вмешательств с применением PSO	133
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	144
ВЫВОДЫ.....	152
ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ.....	153
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ	154
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	155

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования

Педикулярная субтракционная остеотомия (PSO) – хирургическая методика, применяемая для коррекции ригидных сагиттальных деформаций. Деформации, подлежащие коррекции при помощи PSO, этиологически разнообразны и включают дегенеративные, посттравматические, неопластические, инфекционные, метаболические и врожденные формы [26, 38, 108]. Старееющее население земли и увеличивающиеся требования к качеству жизни приводят к росту числа пациентов, обращающихся за медицинской, и в частности хирургической, помощью в связи с симптоматикой, вызванной тяжелыми сагиттальными деформациями. С введением в практику систем фиксации позвоночника третьего поколения, появлением возможности полисегментарной трехколонной фиксации при помощи транспедикулярных винтов и развитием спинальных имплантов в целом, стало возможно проведение операций по коррекции деформаций позвоночника исключительно с помощью заднего доступа. Применение задних остеотомий с последующей транспедикулярной фиксацией обеспечивает значительную коррекцию во всех трех измерениях, а высокая устойчивость транспедикулярных винтов к вырывающей силе и жесткость металлоконструкций снижают число включаемых в зону фиксации сегментов, что позволяет сохранять подвижность позвоночника на большем протяжении [51].

PSO является высокоэффективным инструментом для восстановления лордоза и устранения кифоза в поясничном, грудном и, с недавнего времени, шейном отделах [38, 60, 83]. Техника выполнения заключается в транспедикулярной клиновидной резекции всех трех колонн позвоночного столба от задних элементов и корней дуг позвонка до переднего кортикального слоя тела позвонка. Передняя стенка тела позвонка, при этом,

выполняет функцию оси рычага при смыкании образовавшегося дефекта [28, 72, 84]. При смыкании клиновидного дефекта существенная площадь поверхности контакта между оставшимися частями тела позвонка обеспечивает условия для полноценного костного сращения. Также происходит укорочение задней колонны без удлинения передней колонны позвоночного столба, что обеспечивает максимальный потенциал заживления тканей без перерастяжения магистральных сосудов, мягких тканей брюшной полости [12, 26, 108, 111].

Ригидные сагиттальные деформации могут иметь ятрогенное происхождение и возникать на фоне многоуровневых ламинэктомий, фиксации переломов в поясничном отделе, артродезах при остеохондрозе, сегментарной фиксации при коррекции сколиоза и коррекции при помощи дистрактора Харрингтона. Также эта патология может быть следствием анкилозирующего спондилита, многоуровневых дегенеративных изменений межпозвонковых дисков и кифотических деформаций на фоне множественных компрессионных переломов. Ригидные деформации с нарушением сагиттального баланса значительно затрудняют поддержание прямой осанки без сгибания в коленных и разгибания в тазобедренных суставах. В большинстве случаев у таких пациентов значительно увеличен индекс сагиттальной вертикальной оси (СВО), и изменены позвоночно-тазовые параметры. Последние исследования демонстрируют важность оценки данных параметров, которые включают тазовый индекс, наклон таза и наклон крестца, в оценке сагиттального баланса позвоночника [72, 86, 103]. Прогрессирующее смещение баланса позвоночника кпереди может привести к ретроверсии таза для компенсации нарастающего дисбаланса. Хотя увеличение наклона таза может уменьшить выраженность дисбаланса, неестественное положение таза негативно отражается на биомеханике ходьбы и увеличивает затраты энергии при движении, а следовательно – и показатели качества жизни [19, 27, 73, 75]. Независимо от этиологии, при деформациях позвоночника у взрослых пациентов существует стойкая

взаимосвязь между сагиттальным дисбалансом и болевым синдромом и нарушением трудоспособности [27, 75]. Таким образом, коррекция сагиттальной вертикальной оси позвоночника с одновременной коррекцией наклона таза дает лучшие результаты, чем отдельная коррекция СВО [103]. При выполнении коррекции необходимо стремиться к максимально возможному восстановлению сагиттального баланса. Неполная коррекция может увеличивать риск переломов и нестабильности металлоконструкции, развития синдрома смежного уровня и кифоза переходной зоны и не приводит к значительному снижению болевого синдрома и улучшению качества жизни [87, 130].

В настоящее время в отечественной литературе не описано стандартного алгоритма лечения пациентов с ригидными деформациями позвоночника, сочетающимися с нарушением сагиттального баланса. Также не существует общепринятых рекомендаций по оценке сагиттального баланса, что затрудняет первичную диагностику данной патологии, а следовательно – и хирургическое лечение пациентов с тяжелыми деформациями.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Улучшение результатов лечения пациентов с ригидными деформациями позвоночника и нарушением сагиттального баланса за счет применения педикулярной субтракционной остеотомии.

ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Обосновать необходимость применения постуральной рентгенографии в комплексе обследования пациентов с ригидными деформациями позвоночника.

2. Сформулировать алгоритм диагностики и выбора рациональной тактики в лечении пациентов с ригидными деформациями позвоночника и нарушением сагиттального баланса.
3. Обосновать преимущество применения четырехстержневой фиксации зоны педикулярной субтракционной остеотомии перед стандартной двухстержневой фиксацией.
4. Оценить отдаленные результаты применения педикулярной субтракционной остеотомии в лечении пациентов с нарушением сагиттального баланса позвоночника в качестве первичного и ревизионного оперативного вмешательства.
5. Провести сравнительный анализ эффективности коррекции сагиттального баланса за счет педикулярной субтракционной остеотомии при первичных и ревизионных хирургических вмешательствах.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА ИССЛЕДОВАНИЯ

- Обоснована необходимость выполнения постуральной рентгенографии всем пациентам с ригидными деформациями позвоночника с нарушением сагиттального баланса.
- На основании полученных данных сформулированы показания к применению педикулярной субтракционной остеотомии и описаны риски, связанные с этой методикой.
- Предложено и обосновано применение методики четырехстержневой фиксации зоны остеотомии, позволяющей значительно снизить осложнения в отдаленном периоде.
- Обоснована целесообразность первичного применения педикулярной субтракционной остеотомии у пациентов с ригидными деформациями позвоночника и нарушением сагиттального баланса.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ РАБОТЫ

Нарушение сагиттального баланса у пациентов с тяжелыми деформациями позвоночника является крайне неблагоприятным прогностическим фактором, в связи с чем разработка стандартного подхода к диагностике данной патологии и точной оценке баланса позвоночника для определения показаний к своевременному применению педикулярной субтракционной остеотомии позволит значительно увеличить эффективность хирургического лечения, повысить качество жизни пациентов в отдаленном послеоперационном периоде, снизить необходимость в повторных хирургических вмешательствах. Учитывая высокую распространенность данной патологии среди населения Российской Федерации, практическое применение описанной методики в соответствии с разработанным алгоритмом несет высокую социально-экономическую значимость.

ПОЛОЖЕНИЯ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ:

- Применение педикулярной субтракционной остеотомии позволяет добиться эффективной коррекции сагиттального баланса у пациентов с ригидными деформациями позвоночника.
- Четырехстержневая фиксация обеспечивает более прочную фиксацию зоны остеотомии, что способствует значительному снижению осложнений данной методики в отдаленном периоде, описанных в литературе.
- Применение педикулярной субтракционной остеотомии наиболее эффективно при первичных хирургических вмешательствах у пациентов с нарушением сагиттального баланса и позволяет избежать ревизионных вмешательств при наличии данной патологии.

ВНЕДРЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Алгоритм диагностики и лечения пациентов с ригидными деформациями позвоночника и нарушением сагиттального баланса при помощи субтракционной педикулярной остеотомии с последующей четырехстержневой фиксацией применяется в отделении хирургии НПЦ специальной медицинской помощи детям ДЗМ, в клинике АО «Медицина» г. Москва.

АПРОБАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Основные положения диссертационной работы доложены и обсуждены автором на конференциях, в том числе зарубежных: «25th International Meeting on Advanced Spine Techniques (IMAST)», 11-14 июля 2018 г., Лос-Анджелес, США; X Congress of the Association of Traumatology and Orthopedic Surgeons of Azerbaijan, 19-20 мая, 2018 г., Баку, Азербайджан; II International conference of the Bulgarian association of spine surgeons in cooperation with: “Spine” division of the Bulgarian Orthopedic and Traumatology Association (BOTA) and Scoliosis Research Society, 10-13 мая 2017, Цигов Чарк, Болгария. В 2018 г. в рамках «Второго сибирского нейрохирургического конгресса» занято первое место с докладом автора по тематике диссертации.

ПУБЛИКАЦИИ

По теме диссертации опубликовано 6 работ, 3 из которых в изданиях, рекомендованных ВАК РФ

Личный вклад автора

Сформулированы цель и задачи, разработан дизайн исследования. Проведена обработка литературных источников по теме диссертации. Проведено наблюдение за пациентами, сбор данных и их обработка. Хирургические вмешательства с применением методики PSO выполнены 53 пациентам, в 31 операции автор лично принимал непосредственное участие. Выполнены расчеты рентгенологических показателей, проведена статистическая обработка и сравнительный анализ результатов клинических и лучевых методов исследований. Сформулированы практические рекомендации, результаты внедрены в практику.

Соответствие диссертации паспорту специальности

Работа соответствует паспорту и формуле специальности 14.01.15. – «Травматология и ортопедия».

ОБЪЕМ И СТРУКТУРА ДИССЕРТАЦИИ

Диссертация изложена на 162 страницах компьютерного текста и состоит из введения, пяти глав, выводов, практических рекомендаций и списка литературы, состоящего из 150 источников (18 отечественных и 132 зарубежных). Работа иллюстрирована 76 рисунками и 18 таблицами.

ГЛАВА 1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

С увеличением доступности современных методов хирургического лечения и увеличением средней продолжительности жизни населения нашей страны, специалисты в области спинальной хирургии стали все чаще сталкиваться с тяжелыми ригидными деформациями с сопутствующим нарушением сагиттального баланса позвоночника [1, 8, 11]. Помимо выраженного косметического дефекта, прогрессирование данного состояния связано со значительным снижением качества жизни, ограничением мобильности пациентов, высокой частотой неврологических осложнений и повышенным риском нарушения функции внутренних органов [7, 14, 19, 105, 140]. Несмотря на то, что деформации и нарушения баланса позвоночника во фронтальной плоскости находятся в центре внимания спинальных хирургов уже на протяжении многих десятков лет, значение сагиттального баланса долгое время недооценивалось. К сожалению, достаточное внимание этой проблеме специалисты начали уделять относительно недавно, столкнувшись с отдаленными результатами хирургического лечения деформаций позвоночника, которые зачастую приводили к ухудшению качества жизни пациентов. Ярким примером такого «неудачного» лечения является синдром «плоской спины» [33, 82, 100]. В то же время, значительное число тяжелых деформаций с сагиттальным компонентом у взрослых пациентов возникает вследствие прогрессии деформаций детского и юношеского возраста, в частности врожденного кифоза и кифоза Шейерманна, длительного течения болезни Бехтерева [8, 15]. Однако данная патология развивается наиболее часто и впервые проявляется симптоматически в пожилом возрасте вследствие развития старческого кифоза, вторичного по отношению к процессам декомпенсации механизмов поддержания вертикального положения, компрессионным переломам на фоне сниженной костной плотности, воспалительным изменениям костной ткани и целого ряда дегенеративных нарушений структуры и функции опорного скелета [21, 78,

126]. Независимо от этиологии, конечным результатом развития перечисленных состояний является нарушение сагиттального баланса позвоночника, которое в большинстве случаев требует хирургического лечения [2–4, 8, 101].

1.1 Оценка сагиттального баланса позвоночника и его нарушений

Деформации позвоночника с нарушениями исключительно во фронтальной плоскости встречаются крайне редко, в связи с чем, всем пациентам с патологией позвоночника необходимо проводить оценку сагиттального баланса. Оценка сагиттального баланса позвоночника требует значительно более глубокого и комплексного подхода, чем при фронтальных деформациях, и включает анализ позвоночно-тазовых параметров, регионарных сагиттальных параметров, глобального сагиттального баланса и положения и конфигурации нижних конечностей.

В современной спинальной хирургии рентгенологическое исследование играет центральную роль при оценке и диагностике деформаций позвоночника. Помимо стандартных рентгенограмм в прямой и боковой проекциях, позволяющих оценить локальные изменения оси позвоночника и детали анатомии костных структур чрезвычайно важное значение имеют постуральные рентгенограммы в положении стоя, которые дают возможность провести оценку глобального баланса позвоночного столба, предоставляя информацию не только о характере и степени деформации, но и о компенсаторных механизмах вовлеченных в процесс поддержания вертикального положения пациента.

1.1.1 Регионарные параметры сагиттального баланса

При рождении и в грудном возрасте позвоночник человека образует плавную равномерную дугу от верхнешейного отдела до крестца. По мере роста скелета и с изменением активности ребенка в разных отделах позвоночника образуются физиологические изгибы: поясничный лордоз, грудной кифоз и шейный лордоз, что приводит к формированию сагиттального профиля позвоночника, характерного для здорового взрослого человека. Каждый из физиологических изгибов позвоночного столба играет важную роль в формировании сагиттального баланса в целом.

Поясничный лордоз (LL)

Поясничный лордоз начинает формироваться, когда ребенок учится садиться и ходить. Рентгенологический показатель поясничного лордоза измеряется по методу Cobb между верхними замыкательными пластинками L1 и S1 позвонков [124]. Показатели LL могут существенно различаться в зависимости от пола, возраста, расы и других демографических факторов [146]. В норме величина поясничного лордоза имеет относительно постоянное взаимоотношение с тазовым индексом, описанным ниже, и их разница варьирует в пределах 10° друг от друга [52, 97, 146].

В процессе эволюции, прямохождение человека обеспечивалось за счет формирования поясничного лордоза и разгибания в тазобедренных суставах. При уменьшении угла LL эти механизмы адаптации к вертикальному положению скелета сводятся к минимуму. Выраженное несоответствие поясничного лордоза другим позвоночно-тазовым параметрам, приводит к сагиттальному дисбалансу, смещению положения туловища и головы кпереди от центральной оси, проходящей через тазобедренные суставы. Доказано, что выраженное уменьшение поясничного лордоза напрямую

коррелирует с уровнем болевого синдрома и другими показателями качества жизни человека [8, 58, 62, 73, 103].

Грудной кифоз (ТК)

Рентгенологическое измерение угла грудного кифоза также осуществляется по методу Cobb, как правило между верхней замыкательной пластинкой Th4 и нижней замыкательной пластинкой Th12. В то же время, локальные изменения (вплоть до сегментарных гиперкифозов) могут приводить к модификации методики измерения ТК в зависимости от вершины деформации в сагиттальной плоскости. За счет большой протяженности грудного отдела позвоночника, кифоз может играть компенсаторную роль в отношении глобального сагиттального баланса. У пациентов молодого возраста с более гибким позвоночником, показатели грудного кифоза могут компенсаторно уменьшаться в ответ на уменьшение поясничного лордоза [9, 10, 123]. У пожилых пациентов, наоборот, гиперкифоз грудного отдела, как правило, развивается вследствие снижения мышечной силы, и прогрессирования дегенеративных процессов, приводя к компенсаторному увеличению поясничного лордоза [6, 123]. В некоторых случаях, значительное увеличение грудного кифоза наблюдается в мобильных сегментах этого отдела после выполнения корригирующей остеотомии в поясничном отделе [13, 142]. В связи с этим, границы нормы показателей ТК достаточно относительны и цель измерения ТК заключается скорее в определении глобальных параметров деформации.

1.1.2 Глобальные параметры сагиттального баланса

Параметры глобального баланса позвоночника принято рассматривать в контексте «конуса экономии энергии», предложенного Dubouset [127]. Ставшая классической концепция конуса экономии энергии, иллюстрирует

важность сагиттального баланса позвоночника в поддержании вертикальной осанки и минимизации затрат энергии в положении стоя и при ходьбе (Рисунок 1.1) [127]. Согласно данной концепции, оптимальный баланс позвоночного столба позволяет сохранять положение туловища внутри границ обозначенного конуса (с вершиной в области стоп) без дополнительных затрат энергии. Усугубление сагиттального дисбаланса приводит к положению туловища ближе к периферии конуса, что приводит к увеличению мышечных усилий и затрат энергии, вызывающих боль, усталость и нарушение трудоспособности. Данное состояние расценивается как компенсированный дисбаланс позвоночника. Если тело смещено за пределы конуса, поддержание равновесия невозможно без применения средств дополнительной опоры и возникает декомпенсированный дисбаланс.

Снижение качества жизни и трудоспособности, выраженность клинических проявлений линейно коррелируют с увеличением степени смещения головы кпереди относительно таза. Это смещение имеет четкие рентгенологические показатели в виде изменения сагиттальной вертикальной оси (СВО).

Величина СВО отражает изменение расстояния от линии отвеса проведенной от центра тела С7 позвонка до задневерхнего угла замыкательной пластинки первого крестцового позвонка (S1) в горизонтальной плоскости [89]. Данный параметр дает возможность оценить нарушение глобального сагиттального баланса позвоночника и в значительной степени зависит от величины поясничного лордоза. Также, данные литературы демонстрируют высокую степень корреляции СВО с выраженностью болевого синдрома и показателями качества жизни пациента [43, 74, 95]. По определению Общества Исследования Сколиоза (Scoliosis Research Society) положительный сагиттальный баланс определяется при смещении СВО кпереди от межпозвонкового диска L5-S1. При этом, смещение СВО кпереди более 5 см от задневерхнего угла замыкательной

пластинки S1, как правило можно расценивать как нарушение сагиттального баланса [121].

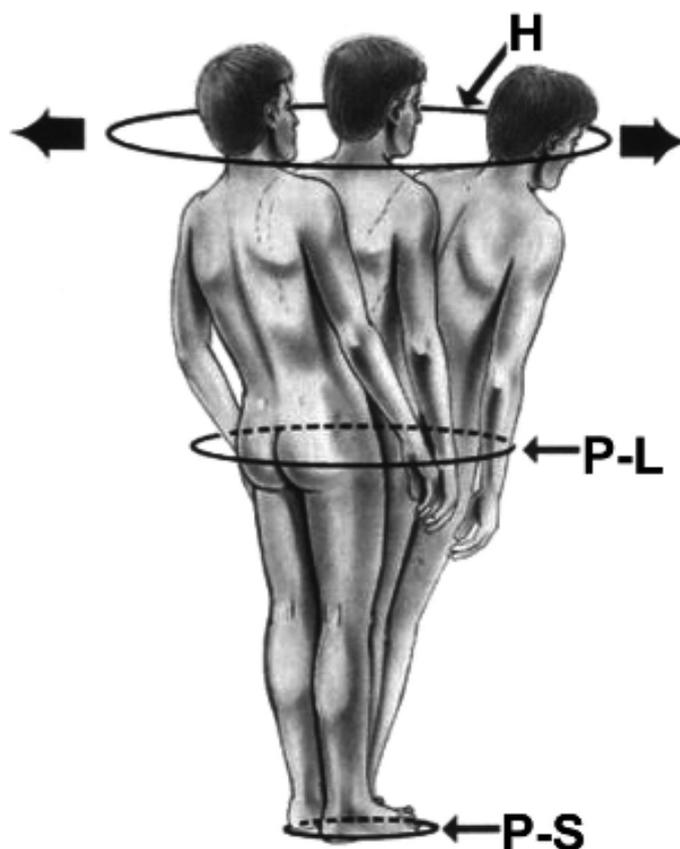


Рисунок 1.1 – Конус экономии энергии (по Dubousset). Геометрическая фигура (перевернутый конус) отражает границы смещения туловища в пространстве, в пределах которых затраты мышечной энергии обеспечивают стабильное положение стоя. Смещение туловища за пределы данных границ увеличивают затраты мышечной энергии на столько, что возникает необходимость в средствах дополнительной опоры для поддержания вертикального положения. Н - голова, P-L – тазовый уровень; P-S, область опоры.

В качестве более постоянного рентгенологического параметра для оценки глобального сагиттального баланса Protopsaltis и соавт. был предложен Th1/тазовый угол (ТРА – T1/Pelvic angle) [117]. Данный параметр отражает угол между линиями, проведенными от центра тела Th1 позвонка и от центра замыкательной пластинки S1 до центра головок бедренных костей (Рисунок 1.2). По сравнению с СВО, ТРА дает более воспроизводимое и

точное представление о глобальном балансе позвоночника, так как в меньшей степени зависит от поструральных компенсаторных факторов. Надежность данного показателя для оценки сагиттального баланса также была подтверждена исследованиями, показавшими его последовательную и прямую корреляцию с показателями качества жизни и позвоночно-тазовыми параметрами [113, 117]. По данным литературы, целевые значения ТРА при планировании хирургической коррекции сагиттального баланса не должны превышать 14° [117]. Недостатком применения данного показателя является сложность стандартизации его целевых значений, так как даже в здоровой популяции индивидуальные показатели ТРА могут варьировать, в связи с чем показатели нормы для каждого пациента могут значительно отличаться [113].

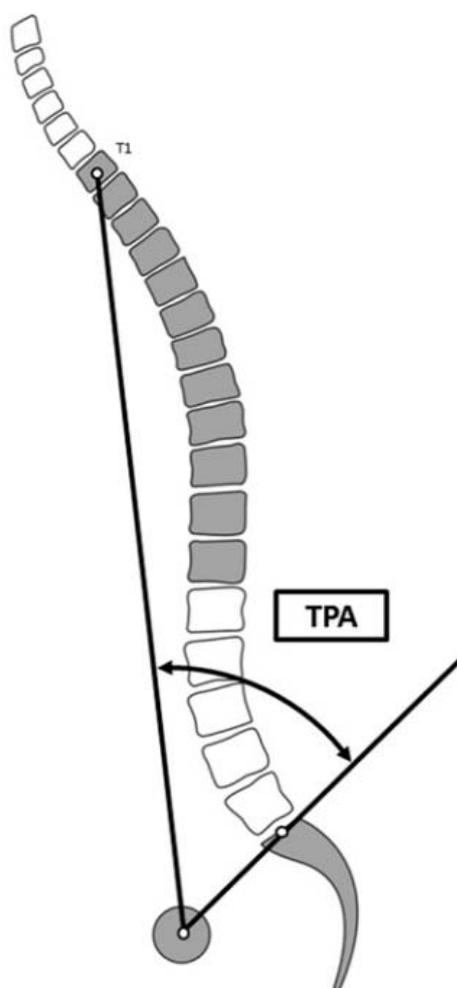


Рисунок 1.2 – Th1/тазовый угол (ТРА), рентгенологический показатель, который учитывает как глобальное нарушение сагиттального баланса, так и его компенсацию за счет ретроверсии таза. ТРА образуют линии проведенные от центра тела Th1 позвонка и от центра замыкательной пластинки S1 до центра головок бедренных костей.

1.1.3 Позвоночно-тазовые параметры

Позвоночно-тазовый баланс отражает взаимодействие между подвижными сегментами позвоночника и таза, от которого зависит расположение центра тяжести туловища относительно тазобедренных суставов.

Впервые клиническое значение конфигурации таза и его взаимоотношения с позвоночником было отмечено Duval-Beaupere [52, 97]. С тех пор позвоночно-тазовые параметры были досконально проанализированы множеством авторов и эффективность их применения для планирования хирургического лечения позвоночника была доказана целым рядом биомеханических и клинических исследований. Основными параметрами позвоночно-тазового взаимоотношения являются: тазовый индекс (Pelvic incidence - PI), который является постоянной анатомо-морфологической величиной, наклон таза (Pelvic tilt - PT) и наклон крестца (Sacral slope - SS), которые, в свою очередь, зависят от общего баланса позвоночника и могут меняться в зависимости от позы пациента и вследствие хирургического лечения. Данные параметры имеют достаточно четкую взаимосвязь, которую можно представить при помощи упрощенной математической формулы $PI=PT+SS$ (Рисунок 1.3).

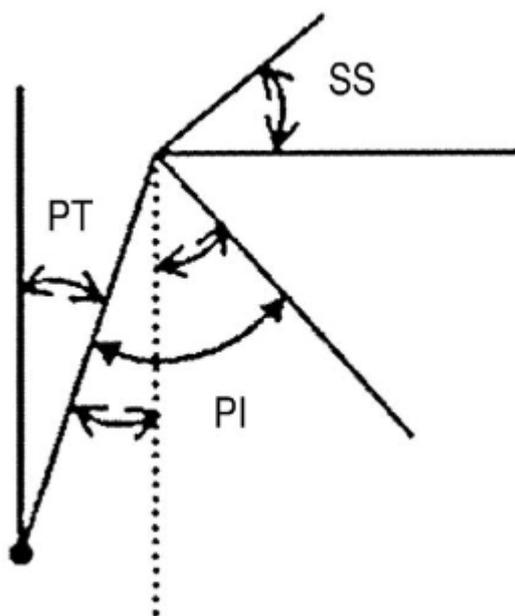


Рисунок 1.3 – Диаграмма отражающая геометрическое взаимоотношение позвоночно-тазовых параметров. PT – наклон таза, PI – тазовый индекс, SS – наклон крестца.

Тазовый индекс (PI)

Тазовый индекс определяется углом между перпендикуляром от центральной точки замыкательной пластинки S1 и линией, соединяющей эту точку с центром бикоксофеморальной оси (в случае несовпадения контуров головок бедренных костей, чтобы избежать проекционного искажения вычислений, в качестве ориентира используется центральная точка сегмента, соединяющего центральные точки головок бедренных костей) [97]. Для каждого человека данный морфологический параметр постоянен и индивидуален и определяется пространственной конфигурацией таза. Некоторые изменения тазового индекса возможны в процессе роста и взросления человека, но после второго десятилетия жизни, он, как правило, остается неизменным [104].

Наклон крестца (SS)

Так как осевой скелет человека приспособлен к активному перемещению в пространстве, пространственное положение таза относительно позвоночника также играет важную роль в оценке сагиттального баланса. Наклон крестца в сагиттальной плоскости на рентгенограммах представлен углом между плоскостью верхней замыкательной пластинки S1 и горизонтальной линией (Рисунок 1.4). Таким образом, значения SS определяются пространственным расположением таза.

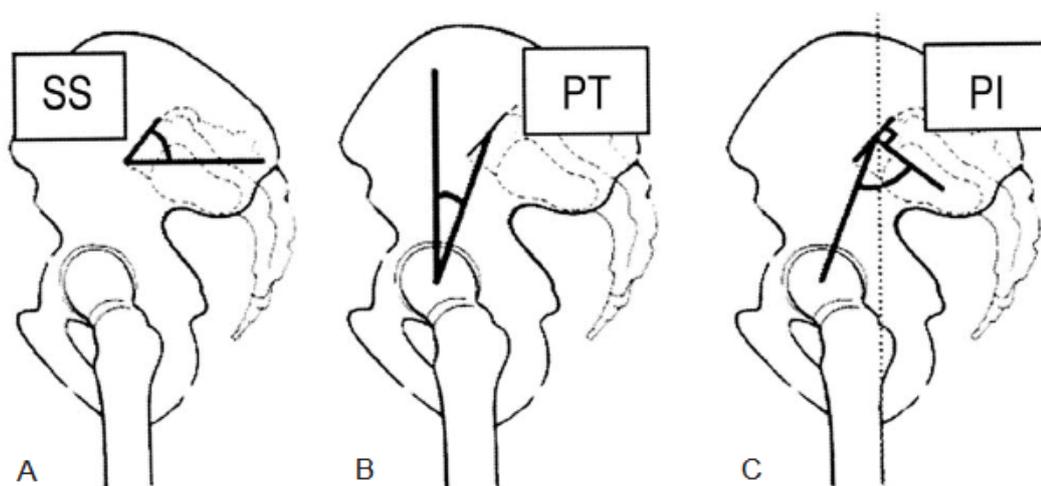


Рисунок 1.4 – Схематическое отображение тазовых ориентиров и углов, образуемых каждым из базовых позвоночно-тазовых параметров. SS – наклон крестца, PT – наклон таза, PI – тазовый индекс.

Наклон таза (PT)

Как и наклон крестца, наклон таза (PT) отражает расположение таза в пространстве и соответствует углу между вертикальной линией и линией, соединяющей центральную точку плоскости замыкательной пластинки S1 с осью головок бедренных костей. Данный параметр описывает степень ротации (ретро- или антеверсии) таза вокруг оси головок бедренных костей, обеспечивающей положение таза, позволяющее поддерживать вертикальное положение. В исследовании Lafage и соавт. была установлена четкая

взаимосвязь между наклоном таза и клиническими результатами хирургического лечения [88].

Несоответствие PI-LL

Выявление взаимосвязи между морфологией таза, представленной тазовым индексом, и поясничным лордозом привело к значительному прогрессу в понимании и оценке нарушений сагиттального баланса позвоночника. Патологическое несоответствие между PI и LL приводит к уплощению поясничного лордоза и грудного кифоза, и, как следствие – нарушению глобального сагиттального баланса. Smith и соавт. показали, что среди пациентов с синдромом «плоской спины» и адекватной компенсацией баланса, показатели качества жизни все равно существенно снижены [134].

Несоответствие PI-LL является чрезвычайно важным параметром для эффективной хирургической коррекции сагиттального баланса позвоночника не только на этапе планирования операции, но и во время операции, так как его оценка может проводиться интраоперационно с целью определения степени коррекции. В связи с тем, что PI является постоянным анатомическим параметром, PI-LL дает возможность точного расчета необходимой коррекции сагиттального баланса за счет изменения LL. По данным литературы, показатели данного параметра напрямую коррелируют с качеством жизни пациентов [142]. Результаты клинических исследований показали, что наиболее оптимальные целевые значения PI-LL не должны превышать $\pm 10^\circ$, а превышение этих показателей повышает риск дегенерации смежных сегментов и число неудовлетворительных результатов хирургического лечения [31, 119, 127, 128].

Основной этап планирования хирургической коррекции с применением PSO заключается в измерении рентгенологических показателей и их подробном анализе. Для полноценной оценки сагиттального баланса позвоночника и выбора оптимальной тактики хирургического лечения

необходима комплексная оценка показателей глобального и регионарного сагиттального баланса, а также оценка позвоночно-тазовых параметров.

1.1.4 Оценка положения нижних конечностей

Как уже упоминалось, при выраженном сагиттальном дисбалансе пациент подсознательно стремится задействовать компенсаторные механизмы для поддержания вертикального положения туловища и горизонтального уровня взора. Частично компенсация осуществляется за счет грудного отдела позвоночника, однако таз дает большие возможности компенсации за счет смещения вышележащих отделов кзади с меньшей затратой энергии [75, 126]. Компенсаторное сгибание в коленных суставах измеряется углом, образованным осями бедренной и большеберцовой костей. В результате исследований механизма компенсации сагиттального дисбаланса было выяснено, что наклон таза играет основную биомеханическую роль в этом процессе [106]. С увеличением показателей СВО, однако, механизмы тазовой компенсации истощаются, и при максимальной ретроверсии таза компенсаторные изменения происходят уже в тазобедренных и коленных суставах. Таким образом, только полноценная оценка морфологии таза, путей перемещения нагрузки и компенсаторных механизмов дает наиболее точную картину характера и степени глобального сагиттального дисбаланса.

Нормативные показатели вышеописанных рентгенологических параметров по данным разных авторов указаны в таблице 1.1. Как видно по данным, представленным в таблице, показатели нормы могут незначительно варьировать, что связано с различиями исследуемых выборок в зависимости от расы, культурных традиций, возраста и других демографических показателей.

Таблица 1.1 – Средние показатели параметров сагиттального баланса позвоночника среди здорового населения по данным разных авторов.

Параметр	Schwab [126]	Berthonnaud [30]	Vialle [146]	Legaye [97]	Boulay [34]	Gangnet [59]	Roussouly [120]	Lafage [25]	Hasegawa [67]	Pratali [115]	Hey [71]	Iyer [78]
Число пациентов	75	160	300	49	149	34	153	116	126	130	60	115
СВО(см)	-2±3	–	–	–	–	–	3.5±1.9	-1.15±4.0	0.1±2.0	-0.5±2.7	1.9±3.2	0.9±4.0
TK(Th4-12)(°)	41±12	47.5±4.8	40.6±10.0	43.0±13.0	53.8±10.1	44.5±11.3	46.3±9.5	41.52±12.7	29.6±9.2	–	33.3±16.7	46±13.4
LL(L1-S1)(°)	60±12	60±12	42.7±5.4	60.2±10.3	66.4±9.5	50.7±7.9	61.2±9.4	–	55.4±11.2	56.8±8	42.2±15.6	57.2±13.3
PI(°)	52±10	51±5.3	54.7±10.6	52.0±10.0	53.1±9.0	50.2±9.0	50.6±10.2	52.11±11.1	52.3±11.1	49.4±8.2	46.6±12.3	49.6±12.1
PT(°)	15±7	12.1±3.2	13.2±6.1	11.0±5.5	12.0±6.4	12.7±6.7	11.1±5.9	13.97±7.7	11.5±7.6	12.4±5.8	18.3±9.1	14.5±8.6
SS(°)	30±9	39.7±4.1	41.2±8.4	40.0±8.5	41.2±7.0	37.9±5.9	39.6±7.6	–	40.8±8.5	37.2±6.7	28.3±10.8	36.4±9.3
PI-LL(°)	–	–	–	–	–	–	–	-6.40±12.3	–	-7.4±7.7	–	-7.6±14.7
TPA(°)	–	–	–	–	–	–	–	8.20±8.2	15.5±8.6	8±4.7	–	8.6±8.5

СВО – сагиттальная вертикальная ось, ТК – грудной кифоз, LL – поясничный лордоз, PI – тазовый индекс, PT – наклон таза, SS – наклон крестца, PI-LL – несоответствие тазового индекса/поясничного лордоза, TPA – Th1/тазовый угол.

1.2 Варианты сагиттального баланса в норме

В 2005 г. проведя исследование на 160 здоровых испытуемых среднего возраста Roussouly выявил 4 морфотипа сагиттального баланса существующих в норме (Рисунок 1.5) [120]. Данная классификация имеет важное значение так как учитывает расположение таза, положение вершин грудного кифоза и поясничного лордоза, количество тел позвонков в каждом изгибе, общий кифоз и лордоз в градусах, и наклон крестца. Описанные автором 4 типа сагиттального профиля, возникают вследствие разной ориентации таза, крестца и пояснично-крестцового сочленения. Вариации в нижней дуге лордоза определяются крестцовым наклоном. При увеличении наклона крестца, увеличивается нижняя дуга и глобальный изгиб лордоза. При уменьшении наклона крестца могут произойти два типа компенсаторных изменений в нижней дуге лордоза: нижняя дуга лордоза может уменьшиться при смещении его вершины вниз, или сгладиться при увеличении радиуса кривизны. Подробная характеристика типов представлена ниже.

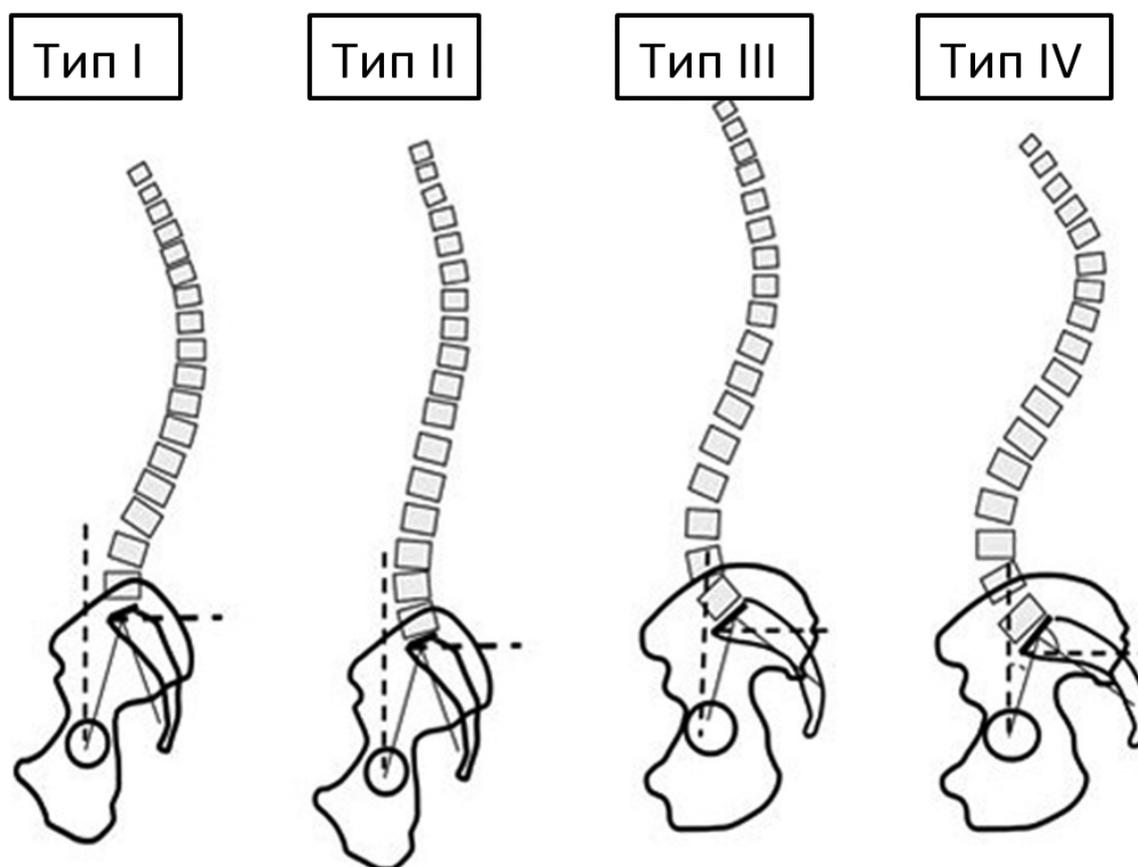


Рисунок 1.5 – Типы сагиттального баланса в норме (по Roussouly). Тип I: $SS < 35^\circ$, вершина LL у центра L5, поясничный гиполордоз, грудной нормокифоз; Тип II: $SS < 35^\circ$, вершина LL у основания L4, поясничной гиполордоз, грудной гипокифоз; Тип III: $35^\circ < SS < 45^\circ$, вершина LL у центра L4, позвоночник сбалансирован; Тип IV: $SS > 45^\circ$, вершина LL у основания L3, поясничной гиперлордоз, грудной гиперкифоз.

Лордоз I типа

Наклон крестца составляет менее 35° , что обычно связано с низким PI. Вершина поясничного лордоза расположена в центре тела L5 позвонка. Нижняя дуга лордоза минимальна, и приближается к нулю по мере приближения наклона крестца к горизонтальному положению. Глобальный лордоз имеет малую протяженность и отрицательный угол наклона. Как следствие выражен кифоз грудного отдела.

Лордоз II типа

Наклон таза составляет менее 35° . Вершина поясничного лордоза расположена на уровне основания L4 позвонка. Нижняя дуга лордоза относительно плоская. Угол

наклона лордоза невелик, но лордоз охватывает большее количество позвонков. Общий сагиттальный баланс характеризуется гипокифозом и гиполордозом.

Лордоз III типа

Наклон таза между 35° и 45° . Вершина поясничного лордоза находится в центре тела L4 позвонка. Нижняя дуга лордоза более выражена. Угол наклона лордоза почти равен нулю. В среднем лордоз составляют четыре позвонков. Позвоночник хорошо сбалансирован.

Лордоз IV типа

Наклон таза больше 45° , что связано с высоким PI. Вершина поясничного лордоза расположена у основания тела L3 позвонка или выше. Нижняя дуга лордоза выражена, а угол наклона лордоза равен нулю или положителен.

Клинические исследования последующих лет показали, что описанные типы сагиттального баланса важно учитывать при хирургической коррекции деформаций, так как от изначальной конфигурации поясничного лордоза и таза зависят послеоперационные адаптационные изменения нефиксированных отделов позвоночника [109, 116].

В исследовании, опубликованном в 2018 г. Bao, Lafage, Schwab и соавт., на основании анализа большого числа рентгенологических параметров 116 здоровых испытуемых, было предложено 3 типа сагиттального баланса, существующих в норме, в зависимости не только от позвоночно-тазовых параметров и конфигурации таза, но и компенсаторных изменений со стороны нижних конечностей (Рис 1.6) [25].

Для пациентов I типа характерен поясничный гиперлордоз ($PI - LL = -10^\circ$), низкий PT ($12,5^\circ$), смещение СВО кзади (-3,4 см) и полностью выпрямленные и наклоненные кпереди нижние конечности.

II тип сагиттального баланса характеризуется нейтральным поясничным лордозом ($LL=PI$), нормальным PT ($15,6^\circ$), нейтральной СВО (1,9 см), и прямыми нижними конечностями.

Для III типа сагиттального баланса, в связи с низким LL ($PI-LL = 10^\circ$) и смещением СВО кпереди (6,8 см), характерны компенсаторные изменения в виде ретроверсии таза ($PT = 20.2^\circ$) и умеренного сгибания нижних конечностей.

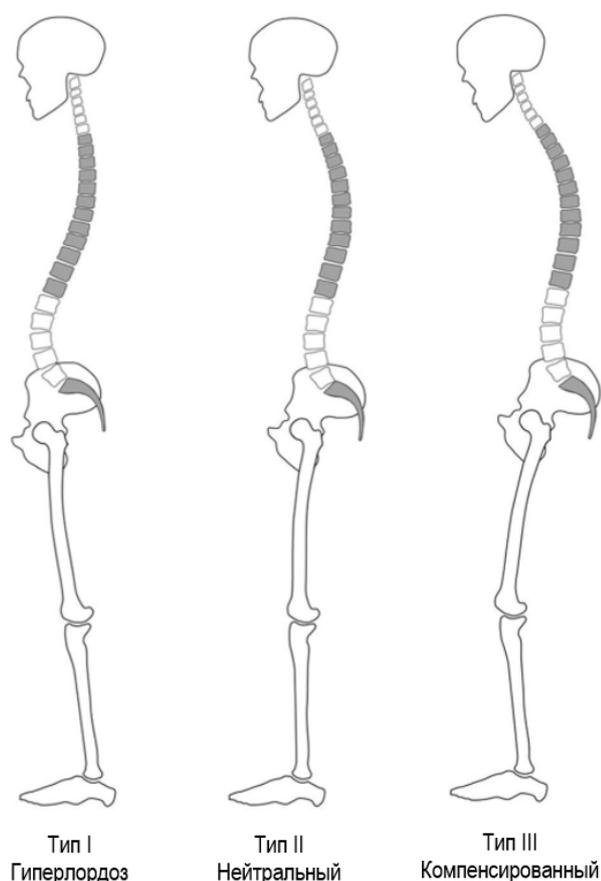


Рисунок 1.6 – Схематическое отображение трех типов сагиттального баланса среди здоровой популяции. Тип I: поясничный гиперлордоз, выпрямленные и наклоненные кпереди нижние конечности; Тип II: гармоничные PI и LL, нейтральное положение нижних конечностей; Тип III: сглаженный поясничный лордоз, умеренное компенсаторное сгибание в нижних конечностях.

При стратификации пациентов по возрасту, авторы показали, что деление на три предложенных типа сохраняется, однако, с увеличением возраста пациентов, наблюдается преобладание III типа сагиттального баланса, тогда как среди популяции молодого возраста преобладает I тип. Исходя из данных исследования, авторы рекомендуют выполнять менее радикальную коррекцию сагиттального баланса в более пожилом возрасте, что также подтверждается исследованием Lafage и соавт., приходящем к заключению о необходимости модификации нормативов коррекции в зависимости от возраста пациентов [86].

1.3 Рентгенологические классификации нарушений сагиттального баланса

В настоящее время деформации существует несколько классификаций деформаций позвоночника, основанных на рентгенологических параметрах. Все они разработаны с целью планирования тактики хирургического лечения и в той или иной мере принимают во внимание сагиттальный баланс позвоночника.

Для идиопатического сколиоза наиболее часто применяется классификация Lenke, основанная на локализации и характере дуг деформации [98]. Несмотря на то, что данная классификация разработана для оценки конфигурации позвоночника во фронтальной плоскости, она также учитывает сагиттальный баланс, так как от конфигурации позвоночного столба в сагиттальной плоскости зависит выбор тактики хирургического лечения идиопатических деформаций. Схема оценки сагиттального модификатора по Lenke приведена на рисунке (Рисунок 1.7).

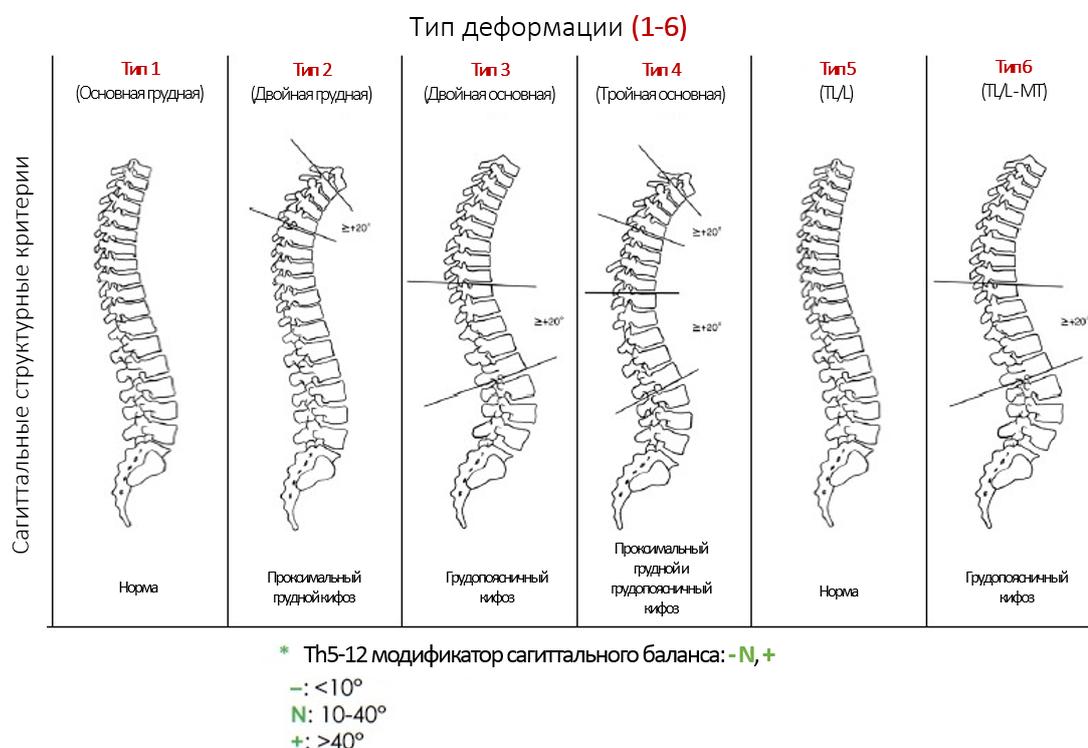


Рисунок 1.7 – Оценка сагиттального модификатора по классификации Lenke.

Классификация дегенеративных деформаций позвоночника взрослых была разработана Schwab и соавт. на основе литературных данных с учетом корреляции показателей сагиттального баланса с послеоперационными показателями качества жизни пациентов (Рисунок 1.8) [128]. Эта классификация также учитывает данные последних исследований нарушений баланса позвоночника и включает три сагиттальных модификатора: PT, CBO, PI-LL. Smith и соавт. показали, что пациенты с улучшением SRS-Schwab сагиттальных модификаторов (PT, CBO, PI-LL) с большей вероятностью достигали клинически значимого улучшения качества жизни [136]. Данная классификация дегенеративных деформаций позвоночника отражает выраженность дисбаланса позвоночника основываясь на рентгенологических показателях и влияет на выбор тактики хирургического лечения [142].

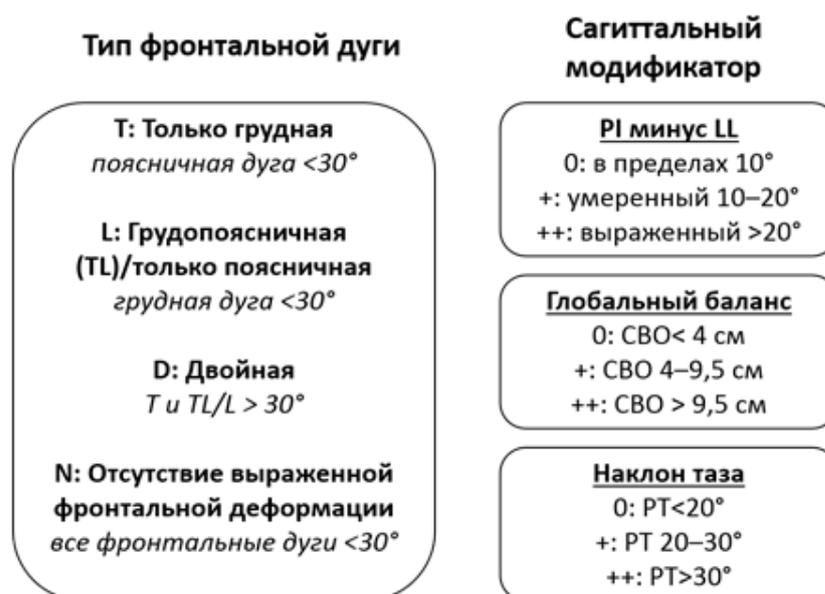


Рисунок 1.8 – SRS-Schwab классификация деформаций позвоночника у взрослых.

В недавнем исследовании Rajasekaran и соавт. была предложена классификация кифотических деформаций позвоночника, разработанная на основе анализа 180 пациентов с нарушениями сагиттального баланса, требующими проведения корригирующей остеотомии (Рисунок 1.9) [118].

В соответствии с данной классификацией, при деформациях I типа передняя и задняя колонны позвоночника интактны (при типе IA межпозвонковые диски мобильны а при типе IB, позвоночно-двигательные сегменты анкилоризованы). Тип II включает деформации с нарушениями только одной колонны (IIA – передней колонны и IIB – задней). Тип III объединяет деформации с нарушениями обеих колонн (IIIA – кифоз $<60^\circ$, IIIB – кифоз $>60^\circ$, IIIC – сагиттальный коллапс позвоночного столба). Дальнейшее проспективное исследование 76 пациентов было проведено с целью валидации классификации и подтверждения эффективности ее применения при выборе необходимого объема корригирующей остеотомии, включая остеотомии задней колонны, педикулярную субтракционную остеотомию, резекцию позвоночного столба, множественную спондилэктомию, множественную спондилэктомию с передней стабилизацией.

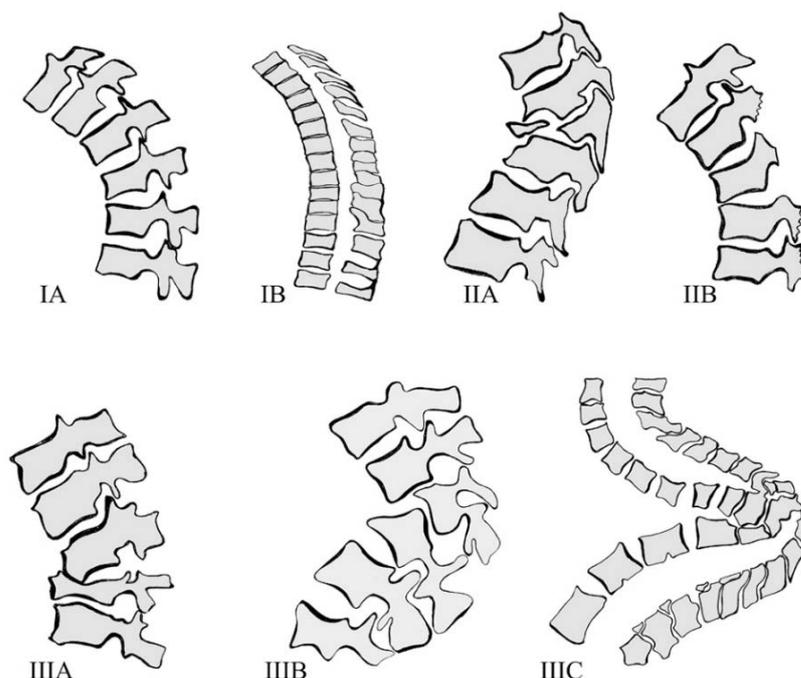


Рисунок 1.9 – Классификация кифотических деформаций в зависимости от тактики хирургического лечения. Тип IA – все три колонны позвоночника интактны, межпозвонковые диски мобильны, Тип IB – все три колонны позвоночника интактны, мобильность позвоночника резко ограничена, Тип IIA – нарушение целостности передней колонны, Тип IIB – нарушение целостности задней колонны, Тип IIIA – нарушения целостности передней и задней колонн с углом кифоза $<60^\circ$, Тип IIIB – нарушения целостности передней и задней колонн с углом кифоза $>60^\circ$, Тип IIIC – нарушения целостности передней и задней колонн, сопровождающиеся «коллапсом» позвоночного столба.

1.4 Методы хирургической коррекции сагиттального баланса позвоночника

Хирургическое лечение тяжелых ригидных деформаций позвоночника остается одной из наиболее сложных проблем в спинальной хирургии. С развитием методики транспедикулярной фиксации позвоночника появилась возможность достигать выраженной коррекции деформаций с надежной последующей стабилизацией позвоночника. Параллельно с развитием возможностей многоуровневой дорсальной стабилизации появилась необходимость в обеспечении коррекции выраженных нарушений сагиттального баланса позвоночника, особенно у пациентов с ригидными деформациями. Для этих целей, на разных этапах развития вертебрологии, были разработаны методики остеотомии позвоночника, позволяющие с разной степенью радикальности устранить нарушения сагиттального баланса. В соответствии с классификацией Schwab, предложенной автором в 2014 г., корригирующие остеотомии позвоночника можно разделить на 6 степеней, в зависимости от объема анатомической резекции позвоночного столба (Рисунок 1.10) [125].

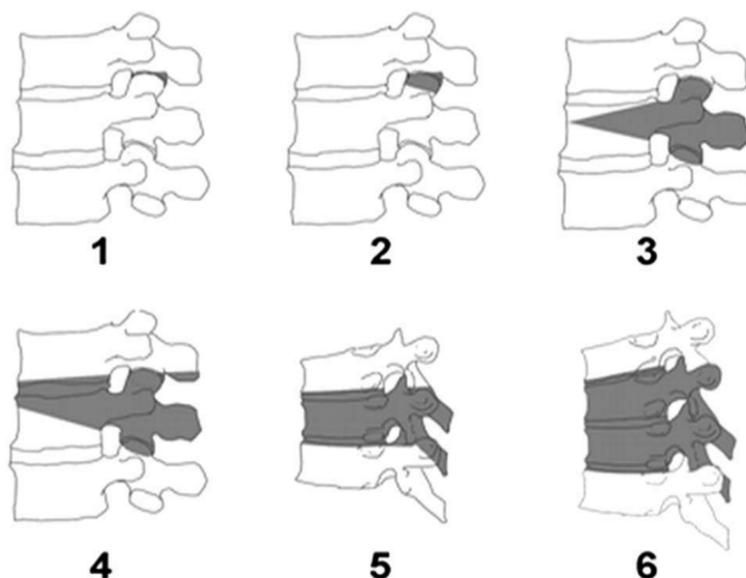


Рисунок 1.10 – Классификация остеотомий позвоночника по Schwab. Степени остеотомии в зависимости от объема резекции элементов позвоночного столба.

В соответствии с трехколонной моделью позвоночного столба, описанной Denis в 1983 г. [47], остеотомии делятся на остеотомии задней колонны, которые включают остеотомию по Smith-Petersen и Ponte, и трехколонные остеотомии, которые включают педикулярную субтракционную остеотомию и резекцию позвоночного столба. В зависимости от характера, протяженности и выраженности деформации, каждая из данных методик может выполняться на одном или нескольких уровнях, а также самостоятельно или в комбинации с другими методиками.

1.4.1 Остеотомии задней колонны позвоночника

Остеотомия по Smith-Petersen (SPO) впервые была описана автором в 1945 г. как клиновидная моносегментарная резекция на поясничном уровне при ее применении для коррекции кифотических деформаций при болезни Бехтерева [133]. Впоследствии, у пациентов с болезнью Бехтерева и синдромом “плоской спины” было предложено многоуровневое выполнение методики, что позволило добиться еще более выраженной коррекции данных деформаций [69, 90].

Методика заключается в резекции задних элементов позвоночного столба с последующим разгибанием позвоночно-двигательного сегмента, которое приводит к удлинению передней колонны позвоночника с укорочением задней колонны. Применение методики при передней оссификации позвоночника приводит к остеоклазии передней колонны и может сопровождаться серьезными осложнениями, включая разрыв магистральных сосудов и повреждение спинного мозга. Дефект, образованный при остеоклазии передней колонны, может потребовать его замещения костным аутооттрансплантатом или кейджем [35, 64]. Briggs и соавт., а также Wilson и Turkell описали модификацию методики с двусторонней межпозвонковой фораминотомией [40, 149]. При ее выполнении коррекция осуществляется постепенно, и не сопровождается разрывом передней продольной связки. Как правило, применение SPO обеспечивает до 10° коррекции за счет одного сегмента на каждые 10 мм костной резекции.

Вариант смыкающей клиновидной остеотомии задних элементов был также описан в 1984 году Alberto Ponte при хирургическом лечении более мобильных кифотических деформаций, в частности при болезни Шейерманна и подростковых кифосколиозах [114]. Методика применяется в основном в грудном отделе при сохраненной мобильности позвоночника и заключается в агрессивной резекции остистых отростков и дугоотростчатых суставов. Так как остеотомия по Ponte (PO) применяется в условиях мобильности межпозвонковых дисков и дугоотростчатых суставов, ее существенное отличие от SPO заключается в сохранении целостности передней колонны и большей стабильности позвоночного столба после реконструкции задней колонны. В то же время, для достижения достаточной коррекции при применении PO, требуются множественные остеотомии, так как эта методика обеспечивает всего несколько градусов коррекции на каждом уровне.

Обе методики часто применяются в целях дополнительной коррекции выше и ниже уровня применения более агрессивных остеотомий для обеспечения более плавного перехода от вершины к полюсам кифотической деформации. Основное преимущество остеотомий задней колонны заключается в простоте выполнения и малой кровопотере.

1.4.2 Педикулярная субтракционная остеотомия

Первые применения дорсальной трехколонной транспедикулярной клиновидной остеотомии описаны Scudese и Calabro в 1963 году [132]. Позднее, в 1985 году, Thomassen описал педикулярную субтракционную остеотомию в ее современном виде [144]. Педикулярная субтракционная остеотомия (PSO – pedicle subtraction osteotomy) – применяется при наличии ригидной деформации позвоночника в сагиттальной плоскости, коррекция которой требует более 30° и невозможна за счет остеотомий задней колонны. Техника выполнения заключается в клиновидной остеотомии всех трех колонн от задних элементов до

переднего кортикального слоя тел позвонков с последующим смыканием сформировавшегося дефекта [29, 39, 51, 68].

В сравнении с остеотомиями задней колонны, PSO обеспечивает значительное укорочение задней и средней колонн без удлинения передней колонны, приводя тем самым к укорочению позвоночного канала, что снижает риск перерастяжения невральных структур и сосудов брюшной полости [39, 60]. В среднем, применение методики может обеспечить до 40° коррекции на одном позвоночно-двигательном сегменте [29, 44, 72, 84, 143].

Варианты модификации техники PSO

Меньше, чем через год после публикации Thomasen первого описания PSO, Heinig предложил свой вариант методики, назвав его остеотомией по типу «яичной скорлупы» (eggshell) [70]. Отличие методики от предложенной Thomasen PSO, заключалось в несколько иной ориентации клиновидной резекции через корни дуги позвонка: вершина клина располагалась в области переднего верхнего угла тела позвонка и резекция достигала нижней замыкательной пластинки тела вышележащего позвонка (Рисунок 1.11). Недостатком данной модификации является повышенный риск формирования псевдоартроза на данном уровне.

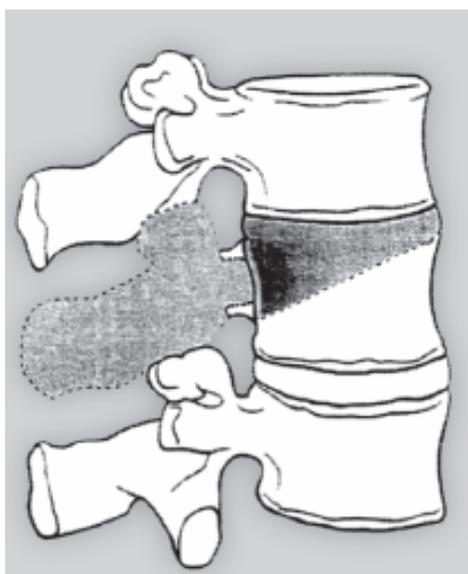


Рисунок 1.11 – Остеотомия по типу «яичной скорлупы». Клиновидная резекция тела позвонка ограничивается нижней замыкательной пластинкой тела вышележащего позвонка.

Модификация PSO, обеспечивающая еще больший угол коррекции, аналогично варианту, предложенному Heinig, не ограничивается нижней замыкательной пластинкой вышележащего позвонка но также включает резекцию нижней трети его тела (Рис 1.12). Несмотря на более выраженную сегментарную коррекцию и наиболее оптималные условия для костного сращения, данная модификация также сопряжена с более высокими рисками осложнений и смещения оси позвоночника.



Рисунок 1.12 – Транспедикулярная клиновидная остеотомия через диск. Клиновидная резекция тела позвонка захватывает межтеловое пространство и нижнюю треть тела вышележащего позвонка.

При необходимости достижения максимальной сегментарной коррекции, PSO может выполняться в модификации «открывающийся/закрывающийся клин» [44]. Суть данной модификации заключается в создании дополнительной точки опоры в области клиновидного дефекта на уровне границы средней и передней колонн позвоночника, которая значительно увеличивает угол сегментарной коррекции за счет нарушения целостности передней колонны. В роли опорного элемента может служить кейдж или костный трансплантат (Рисунок 1.13).

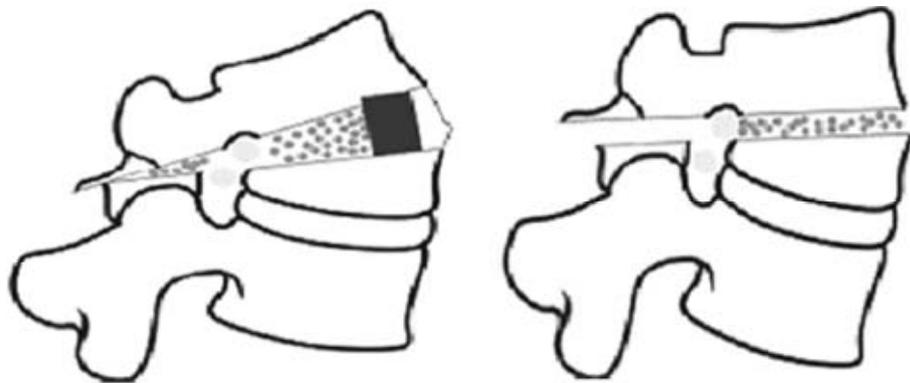


Рисунок 1.13 – PSO в модификации «открывающийся/закрывающийся клин». В качестве опорных элементов представлены кейдж и костный трансплантат.

Наконец, как уже упоминалось, при необходимости сегментарной коррекции баланса позвоночника как в сагиттальной, так и во фронтальной плоскости, возможно применение асимметричной PSO. При таком варианте транспедикулярной остеотомии, на выпуклой стороне деформации во фронтальной плоскости осуществляется клиновидная резекция большего объема, чем на вогнутой стороне. Данный подход значительно упрощает коррекцию выраженных двухплоскостных деформаций, что делает педикулярную субтракционную остеотомию еще более привлекательной в качестве эффективного инструмента восстановления баланса позвоночника [42, 145].

1.4.3 Резекция позвоночного столба

Резекция позвоночного столба (VCR – vertebral column resection) была предложена и описана MacLennan в 1922 как спондилэктомия из дорсального доступа при лечении выраженного сколиоза [102]. В 1970-х и 1980-х VCR получила научное обоснование в качестве метода выбора при коррекции ригидных ангулярных деформаций [93, 94]. В связи выраженной дестабилизацией позвоночного столба, широкое распространение методика получила только после появления металлоконструкций с сегментарной фиксацией.

Изначально методика заключалась в резекции тела позвонка и межпозвонковых дисков с помощью переднего доступа, а также удалении задних элементов позвонка, фиксации металлоконструкцией и костной аутопластики из заднего доступа [53]. Так как позвоночник полностью дестабилизируется после резекции, как правило, требуется укрепление передней колонны при помощи костного трансплантата или кейджа. В последние годы все чаще в клинической практике описывается применение методики VCR только из дорсального доступа. Дорсальная VCR позволяет осуществлять коррекцию деформации в один этап, что снижает объемы кровопотери, продолжительность операции и обеспечивает максимальный контроль и свободу доступа к позвоночному каналу и спинному мозгу во время удаления позвонка [53, 84]. В связи с ее радикальностью и сложностью выполнения, данная методика связана с высоким риском неврологических осложнений и значительной кровопотерей и обычно рассматривается только при крайне выраженных ригидных двухплоскостных деформациях у детей и взрослых пациентов с врожденными, постинфекционными и посттравматическими кифозами, превышающими 100° [51, 60, 99, 122, 147].

1.4.4 Осложнения трехколонных остеотомий

Несмотря на высокую эффективность трехколонных остеотомий позвоночника при лечении тяжелых деформаций позвоночника, их

радикальность, высокие уровни кровопотери и технические сложности, связанные с их выполнением часто приводят к осложнениям. По данным разных исследований, применение трехколонных остеотомий приводит к серьезным осложнениям от 20% до 61% случаев [22, 24, 26, 32, 57, 80, 137].

В наиболее крупном мультицентровом исследовании частоты периоперационных осложнений трехколонных остеотомий, выполненном Scoliosis Research Society, была проведена оценка осложнений операций с применением PSO у 215 пациентов с ригидными деформациями с сагиттальным компонентом [137]. Наиболее распространенные осложнения включали повреждения дуральной оболочки, инфекционные осложнения, развитие неврологического дефицита, нестабильность металлоконструкции, РЖК. Общая частота серьезных осложнений, связанных с применением трехколонных остеотомий была значительно выше, чем при операциях без их применения (35% и 17% соответственно). Также в исследовании была выявлена четкая корреляция частоты серьезных осложнений с увеличением радикальности остеотомии: операции без остеотомии - 17%, операции с применением SPO – 28%, операции с применением PSO – 39% и операции с применением VCR – 61,1%. Общая частота серьезных осложнений также была выше при ревизионных операциях.

Среди осложнений, сопровождающих применение стандартной хирургической методики PSO, основанной на двухстержневой транспедикулярной стабилизации, первое место занимают переломы элементов металлоконструкции с последующим формированием псевдоартроза в зоне остеотомии [79, 82, 114, 135]. В ходе корригирующего этапа хирургического вмешательства, смыкание сформировавшегося в области PSO клиновидного дефекта приводит к выраженному изменению сагиттальной оси позвоночника, что значительно увеличивает трехплоскостную нагрузку на костные структуры и элементы металлоконструкции в зоне остеотомии. Так, в биомеханическом исследовании, проведенном Tang и соавт. было показано, что большая степень угловой деформации стержней связана со значительным снижением их устойчивости к

усталостным переломам [141]. Несмотря на значительно более выраженную коррекцию на уровне одного сегмента при выполнении PSO, по данным литературы, частота переломов стержней при таких операциях выше, чем при операциях с применением остеотомий задней колонны позвоночника и достигает 37% случаев. При этом, в подавляющем большинстве случаев (до 87%) переломы стержней происходят на уровне PSO или на уровне смежных сегментов (Рисунок 1.14) [66, 79, 138, 139, 141]. Эти клинические данные подтверждают, что зона остеотомии является наиболее подверженной переломам областью фиксации.

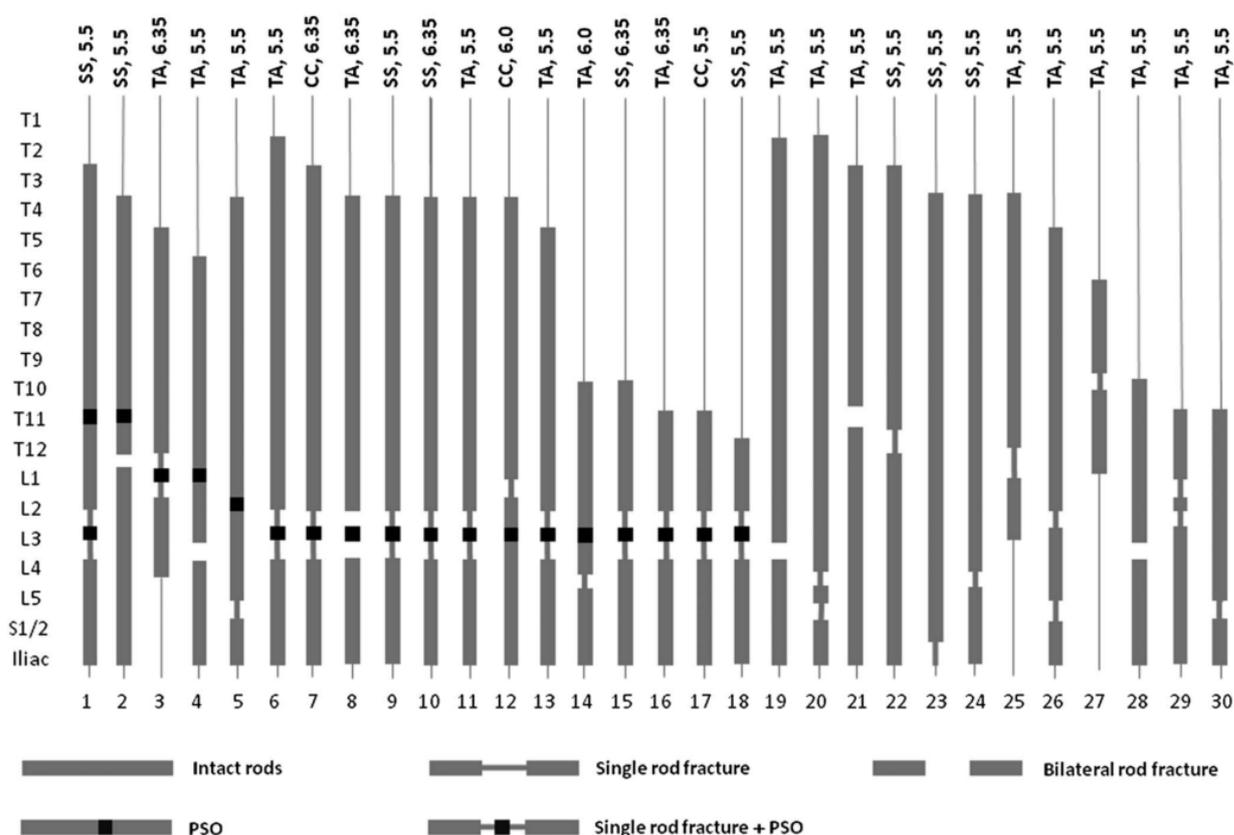


Рисунок 1.14 – Показательное схематическое отображение частоты и локализации переломов стержней при выполнении PSO. Сплошная жирная серая линия – отсутствие переломов стержней с обеих сторон. Черный квадрат – зона PSO. Тонкая серая линия – перелом стержня с одной стороны. Разорванная жирная серая линия – двусторонний перелом стержней. Вертикальная ось – уровень позвонка. Горизонтальная ось – номер клинического случая. Подавляющее большинство переломов стержней соответствует уровню остеотомии [138].

Резюме

Данные литературы демонстрируют чрезвычайную важность правильной оценки сагиттального баланса для достижения оптимальных результатов лечения пациентов с деформациями позвоночника. Коррекция сагиттального баланса является комплексной и не до конца решенной проблемой, связанной как с трудностями диагностики, так и с выбором наиболее эффективной хирургической методики в каждом конкретном случае. Существующие на данный момент подходы к хирургической коррекции сагиттального баланса основаны на применении различных вариантов остеотомий позвоночника, каждая из которых обладает как преимуществами, так и недостатками. Остеотомии задней колонны малотравматичны и не сопровождаются высокой частотой осложнений, однако их применение целесообразно только при мобильных деформациях, а эффективность коррекции незначительна. Педикулярная субтракционная остеотомия позволяет достигать значительно более выраженной коррекции на одном уровне и высокоэффективна при ригидных деформациях позвоночника. В то же время, ее применение связано с высокой травматичностью и большой частотой осложнений, основным из которых является механическая нестабильность и переломы металлоконструкции в области остеотомии, что напрямую связано с выраженностью обеспечиваемой PSO коррекцией. Наиболее радикальная методика коррекции сагиттального баланса позвоночника – VCR – дает возможность реконструкции и коррекции тяжелых ригидных двухплоскостных деформаций, но связана с еще более высоким риском серьезных осложнений и, как правило, применяется только в крайних случаях, когда от восстановления баланса позвоночника зависят жизненно-важные функции организма.

По данным литературы, наиболее распространенной причиной нарушения сагиттального баланса позвоночника являются деформации пожилого возраста, для которых характерна минимальная мобильность, сниженные компенсаторные возможности и умеренная выраженность, по сравнению с врожденными или

посттравматическими деформациями, которым свойственны ангулярные формы. Учитывая вышеперечисленные факторы, для лечения данной категории пациентов оптимальной хирургической методикой является педикулярная субтракционная остеотомия. Вместе с тем, алгоритмы применения PSO у таких пациентов требуют совершенствования с целью снижения осложнений и обеспечения наиболее оптимальных результатов лечения. Немаловажно и внедрение в общую вертебрологическую практику и скринингового метода, направленного на своевременное выявление у данного контингента больных нарушений сагиттального баланса позвоночника и показаний к его коррекции.

ГЛАВА 2

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Распределение пациентов на группы

Пациенты, включенные в исследование, были разделены на две группы. В первой группе (Группа I) пациентам с нарушением сагиттального баланса и показаниями к выполнению корригирующей остеотомии проводилось первичное хирургическое лечение с применением PSO. Группа включала 24 пациента. Вторая группа (Группа II) включала 29 ранее оперированных пациентов (во всех случаях в анамнезе имела место транспедикулярная фиксация и/или декомпрессия невральных структур) с ригидными деформациями позвоночника и нарушением сагиттального баланса, которым в ходе исследования проводились ревизионные операции с применением PSO. Во всех случаях из медицинской документации были выписаны и проанализированы данные о денситометрических показателях, интраоперационных осложнениях, объеме кровопотери, продолжительности операции, продолжительности послеоперационной госпитализации, повторных операциях, а также о характере оперативного вмешательства (протяженность фиксации, уровень остеотомии). В отдаленном послеоперационном периоде проводилась оценка серьезных осложнений (повлиявших на исход оперативного лечения), включая инфекционные и неврологические осложнения, нестабильность металлоконструкции, псевдоартроз, PJK/DJK (proximal/distal junctional kyphosis – кифоз проксимальной/дистальной переходных зон).

2.2 Общая характеристика исследуемых пациентов

В ходе исследования был проведен ретроспективный анализ результатов хирургического лечения когорты из 53 последовательно поступивших пациентов с применением педикулярной субтракционной остеотомии в условиях отделения патологии позвоночника ФГБУ «НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова» МЗ РФ (директор

– член-корреспондент РАН, доктор медицинских наук, профессор Н.В. Загородний; заведующий отделением – доктор медицинских наук, профессор С.В. Колесов) в период с 2012 по 2017 гг.

При отборе пациентов применялись следующие критерии включения: завершённый костный рост, наличие ригидной деформации позвоночника с нарушением сагиттального баланса, наличие постуральных рентгенограмм и данных оценки качества жизни до операции и в отдалённом послеоперационном периоде. Также применялись следующие критерии исключения: активный инфекционный процесс, активный онкологический процесс, спондилит, острая травма. Основной этап хирургического вмешательства во всех случаях, был выполнен двумя хирургами в соответствии с описанной далее методикой. Расчет параметров сагиттального баланса и планирование коррекции производились при помощи программного обеспечения Surgimap (Nemaris Inc, New York, NY). В исследование были включены пациенты с минимальным периодом наблюдения не менее 24 месяцев.

Учитывая вышеуказанные критерии, в исследование были включены пациенты в возрасте от 18 до 81 года. Средний возраст пациентов составил $58,9 \pm 12,3$ лет. Среди пациентов, включённых в исследование, было 15 мужчин (28,3%), и 38 женщин (71,7%). Распределение по полу и возрасту представлено в таблице 2.1 и на рисунке 2.1. Статистически значимых различий по полу и возрасту между группами выявлено не было.

Таблица 2.1. Распределение больных по полу и возрасту

Возраст	Мужчины		Женщины		Всего	
	абс.	%	абс.	%	абс.	%
Младше 21 года	0	0	2	5,3	2	3,8
21–30 лет	2	13,3	1	2,6	3	5,7
31–40 лет	2	13,3	0	0	2	3,8
41–50 лет	1	6,7	5	13,2	6	11,3
51–60 лет	3	20	10	26,3	13	24,5
61-70 лет	4	26,7	13	34,2	17	32,1
Старше 70 лет	3	20	7	18,4	10	18,9
Всего	15	28,3	38	71,7	53	100

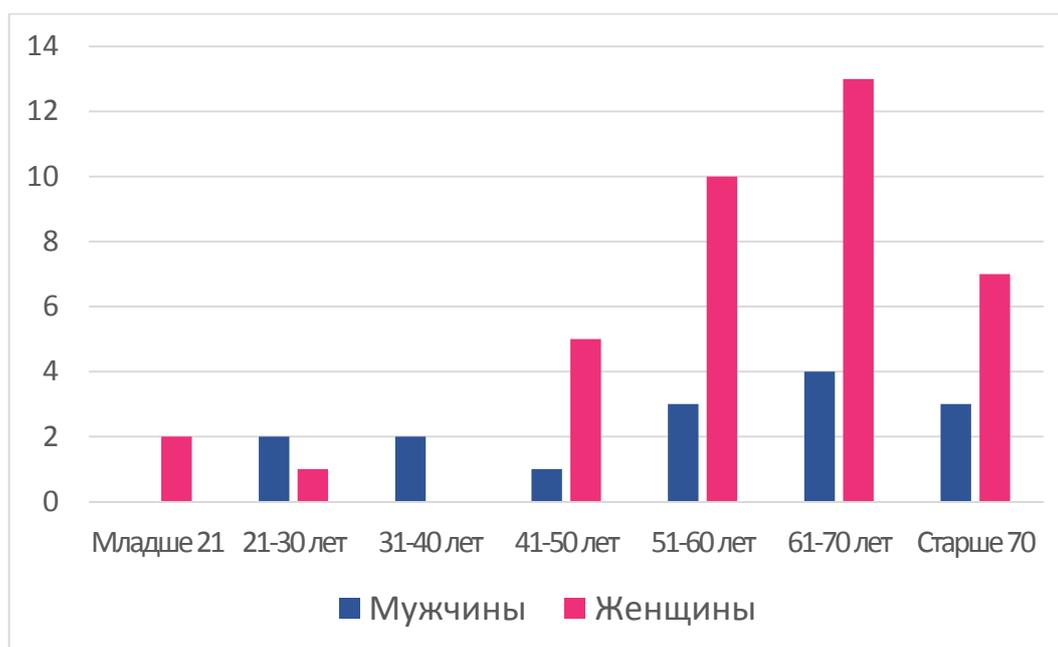


Рисунок 2.1. – Половая и возрастная характеристика пациентов. Количественное соотношение пациентов в зависимости от пола и возраста.

Среди пациентов, проходивших лечение в отделении по поводу деформаций позвоночника с выраженным нарушением сагиттального баланса более 70%

составляли женщины. В то же время, возраст 76% пациентов превышал 50 лет, что говорит о преимущественно дегенеративном характере данной патологии.

По этиологии деформации структура исследуемой выборки пациентов была следующей: дегенеративные деформации с нарушением сагиттального баланса – 38 (из них первичных – 16), посттравматические кифотические деформации – 5 (из них первичных – 2), врожденные или диспластические кифотические деформации – 7 (из них первичных – 4), болезнь Бехтерева – 3 (из них первичных – 2) (Рисунок 2.2). Статистически значимых различий в зависимости от этиологии между группами выявлено не было.

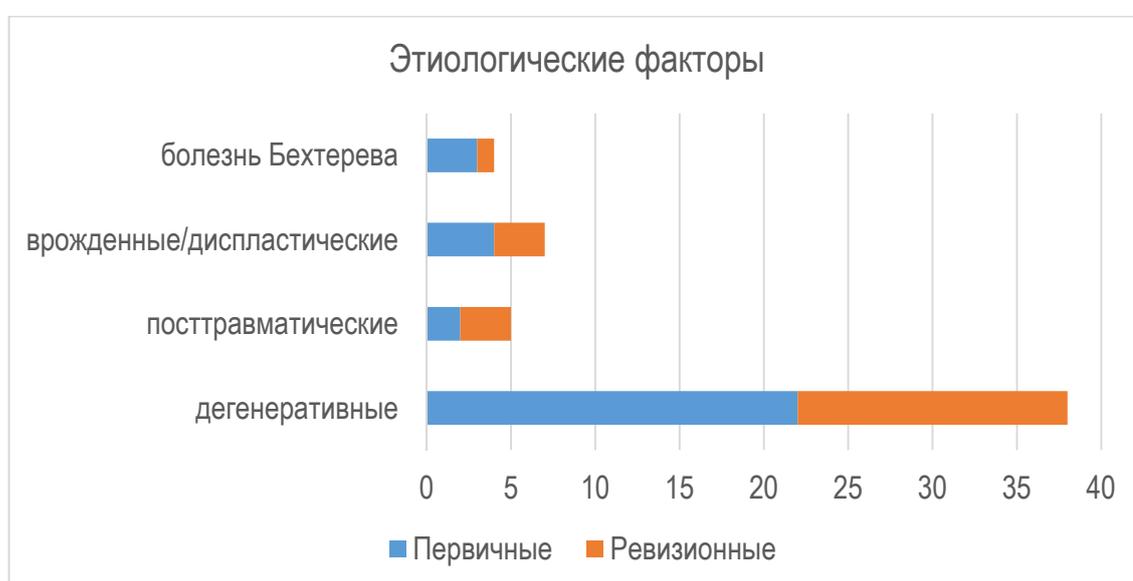


Рисунок 2.2. – Распределение пациентов в зависимости от этиологических факторов.

2.3 Клинические методы исследования

- Сбор жалоб, анамнеза заболевания
- Определение уровня болевого синдрома в соответствии с визуальной аналоговой шкалой (ВАШ)
- Ортопедический осмотр

- Неврологический осмотр
- Осмотр других специалистов
- Оценка качества жизни пациентов согласно результатам опросников ODI (Oswestry Disability Index) [18]
- Оценка качества жизни пациентов согласно результатам опросников SRS–22 общества изучения сколиоза (SRS) [5]

У всех пациентов проводился тщательный сбор анамнеза с определением субъективной оценки качества жизни больного, характера, локализации, продолжительности, и интенсивности болевого синдрома. Для объективизации интенсивности болевого синдрома в спине применялась визуальная аналоговая шкала (ВАШ) (Рисунок 2.3). Данная графическая шкала представляет собой балльную систему, где «0» отражает полное отсутствие боли, а «10» – нестерпимую боль.

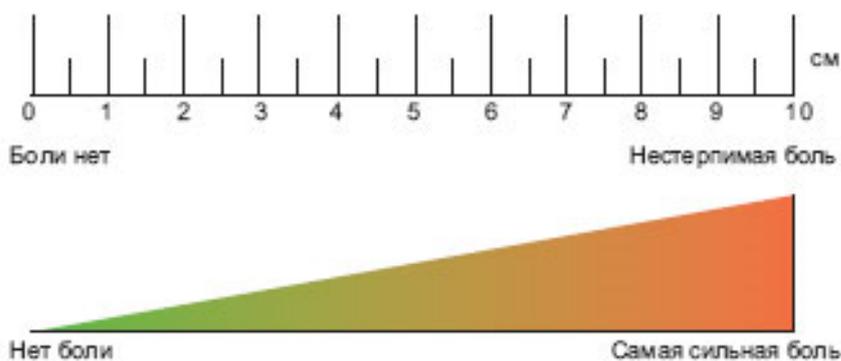


Рисунок 2.3. – Визуальная аналоговая шкала.

Все обследованные пациенты отмечали жалобы на боли в пояснице разной степени выраженности, при этом средние показатели составили 6,1 балла. У 23 (50% I группы и 72,4% II группы) пациентов боль в пояснице сопровождалась иррадиацией в одну или обе нижние конечности ($P < 0,05$). Более 69% пациентов (54,2% I группы и 82,8% II группы) отмечали, что болевой синдром сохранялся более 1 года вне зависимости от прохождения консервативного лечения,

включающего корсетотерапию, физиотерапию, ЛФК, прием НПВС, миорелаксантов, нейротропных препаратов, паравертебральные, эпидуральные блокады. При этом, все пациенты отмечали прогрессирующее изменение осанки, нарастающие признаки быстрой утомляемости в течение последних лет.

При ортопедическом осмотре в первую очередь оценивалась походка пациентов без применения средств дополнительной опоры (если это было возможно): осанка, наклон туловища в движении, нарушение характера походки. Степень сагиттального дисбаланса также оценивалась в статическом положении, как в расслабленном состоянии, так и при просьбе выпрямиться. Особое внимание уделялось конфигурации суставов нижних конечностей, выявлялись признаки сгибания в тазобедренных, коленных суставах. Оценивалось положение головы и способность пациента поддерживать постоянный горизонтальный уровень взора. В положении пациента лежа на животе проводилась оценка ригидности деформации путем мануального давления на область вершины деформации.

При осмотре, у всех пациентов отмечалась сглаженность поясничного лордоза, наклон туловища кпереди в положении стоя, болезненность в поясничном отделе позвоночника при наклонах вперед. У 24 (37,5% I группы и 44,8% II группы) пациентов отмечалось компенсаторное сгибание в тазобедренных и коленных суставах. При этом, 15 (25% и 31%) из них не могли полностью разогнуть суставы нижних конечностей при просьбе полностью выпрямиться. Данные различия были статистически значимыми.

Пальпация в проекции остистых отростков, дугоотростчатых суставов, паравертебральной мускулатуры вызывала болезненные ощущения у 77% (66,7% I группы и 86,2% II группы) пациентов с преимущественной локализацией в поясничном отделе позвоночника. Степень напряжения паравертебральной мускулатуры, как правило, коррелировала с выраженностью сагиттального дисбаланса позвоночника.

При неврологическом осмотре проводилась подробная оценка неврологического статуса пациентов, что, в совокупности с данными лучевой диагностики, позволяло определить необходимость и объем декомпрессии

невральных структур во время хирургического вмешательства. У 16 (29,2% I группы и 31,0% II группы) пациентов были выявлены признаки радикулопатии, у 15 (33,3% I группы и 24,1% II группы) пациентов были выявлены признаки перемежающейся хромоты и у 11 (16,7% I группы и 24,1% II группы) пациентов отмечалось наличие парезов нижних конечностей разной степени тяжести. Неврологические нарушения в процентном соотношении приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2

Сравнение предоперационных данных о неврологических нарушениях в двух группах.

	Первичные (σ)	Ревизионные (σ)	P
<i>Люмбоишиалгия</i>	50,0%	72,4%	0,018*
<i>Хронический болевой синдром</i>	54,2%	82,8%	0,009*
<i>Радикулопатия</i>	29,2%	31,0%	0,824
<i>Болезненная пальпация</i>	66,7%	86,2%	0,072
<i>Перемежающаяся хромота</i>	33,3%	24,1%	0,227
<i>Парезы н.к.</i>	16,7%	24,1%	0,081*

σ – среднеквадратичное отклонение. Порог статистической значимости $P=0,05$ (* – статистически значимые значения).

Всем пациентам также в обязательном порядке проводилось общесоматическое обследование (общий анализ крови, биохимический анализ крови, коагулограмма, общий анализ мочи, электрокардиография, рентгенография грудной клетки, консультация терапевта), и, в случае необходимости, назначались дополнительные методы исследования (эхокардиография, УЗДГ сосудов нижних конечностей, эзофагогастродуоденоскопия, и.т.д.) для исключения сопутствующей соматической патологии.

В целях объективизации и стандартизации данных оценки качества жизни пациентов применялись опросники ODI (Oswestry Disability Index) и SRS-22 [23, 55] (см. приложение). Опросник ODI был разработан в 1980 г. для оценки степени нарушения функционального состояния пациента, обусловленного патологией позвоночника и за многие годы применения доказал свою надежность [54]. Русскоязычная версия опросника состоит из 10 разделов с оценкой от 0 до 5

баллов [17]. При этом, чем больше балл, тем хуже функциональное состояние пациента. В Разделы опросника включают интенсивность боли, способность к поднятию веса, самообслуживанию, ходьбе, пребыванию в сидячем и вертикальном положениях, половой функции, ведению социальной жизни, путешествиям и полноценному сну. Соотношение набранных баллов с максимально возможным количеством баллов (100 баллов) отражает состояние пациента в количественном отношении.

Для оценки функционального состояния пациентов в динамике после хирургической коррекции применялся опросник SRS-22, который состоит из 22 вопросов, затрагивающих пять категорий: боль, самовосприятие (общий внешний вид и вид после операции), уровень моторной функции и степень общей активности после операции, удовлетворенность результатами оперативного лечения, психическое здоровье (см. приложение). Каждая категория также оценивается по 5-балльной системе (1 – минимальная оценка, 5 – максимальная оценка). Также подсчитывается общий средний балл всех категорий. Валидность, воспроизводимость и надежность данного опросника при оценке психофункционального состояния пациентов, прошедших хирургическое лечение на позвоночнике также была подтверждена многочисленными клиническими исследованиями [5, 23, 61]. Данные опросников собирались также в отдаленном послеоперационном периоде (через 6 месяцев, 1 год и далее каждый год) для оценки изменения показателей качества жизни в динамике.

В таблице 2.3 отражены значения показателей болевого синдрома и качества жизни в обеих группах до операции. В группе пациентов, которым выполнялись ревизионные вмешательства, показатели болевого синдрома были статистически значимо более выраженными, а качества жизни более низкими чем у первичных пациентов при поступлении.

Таблица 2.3

Показатели болевого синдрома и качества жизни в соответствии с опросниками ВАШ, ODI, SRS-22 (общий балл) при поступлении.

	Первичные (σ)	Ревизионные (σ)	P
ВАШ	5,7±2,9	6,5±2,3	0,021*
ODI	53,6±29%	60,9±34%	0,003*
SRS-22	2,8±2,3	2,1±1,1	0,015*

σ – среднеквадратичное отклонение. Порог статистической значимости $P=0,05$ (* – статистически значимые значения).

2.4 Лучевые методы исследования

2.4.1 Рентгенографическое исследование

При клиническом выявлении нарушений баланса позвоночника всем пациентам в обязательном порядке проводилась постуральная рентгенография (с захватом нижнешейного отдела позвоночника и верхней трети бедренных костей) в прямой и боковой проекциях стоя. Измерения рентгенологических параметров позвоночника были выполнены двумя независимыми сотрудниками в целях объективизации данных. Анализ рентгенологических данных проводился при помощи программного обеспечения Surgimap (Рисунок 2.4). Сагиттальные измерения включали глобальные сагиттальные позвоночные параметры – отклонение сагиттальной вертикальной оси (СВО – расстояние между вертикальной линией от С7 и верхним задним углом S1), грудной кифоз (угол по Cobb измерялся по нижним замыкательным пластинкам Th4 и Th12), поясничный лордоз (LL – lumbar lordosis, угол по Cobb измерялся по верхним замыкательным пластинкам L1 и S1), и тазовые параметры – наклон крестца (SS – sacral slope), наклон таза (PT – pelvic tilt) и тазовый индекс (PI – pelvic incidence). Полученные данные также использовались для вычисления несоответствия PI-LL. Постуральные рентгенограммы также выполнялись всем пациентам в отдаленном послеоперационном периоде (через 6 месяцев, 1 год и далее каждый год или по факту обращения).

Статистически значимых отличий по величине предоперационных рентгенологических показателей между группами выявлено не было (Таблица 2.4).

Таблица 2.4

Сравнение предоперационных рентгенологических показателей в двух группах.

	<i>Первичные(σ)</i>	<i>Ревизионные (σ)</i>	<i>P</i>
<i>Грудной кифоз (°)</i>	35,9±10,7	30,8±11,3	0,245
<i>Поясничный лордоз (°)</i>	25,1±12,3	21,7±14,9	0,108
<i>СВО (см)</i>	14,5±5,5	13,3±6,5	0,254
<i>PT (°)</i>	37,3±18,3	34,4±16,3	0,678
<i>PI-LL (°)</i>	39,7±20,1	36,8±18,4	0,203

σ – среднеквадратичное отклонение. Порог статистической значимости $P=0,05$ (* – статистически значимые значения).

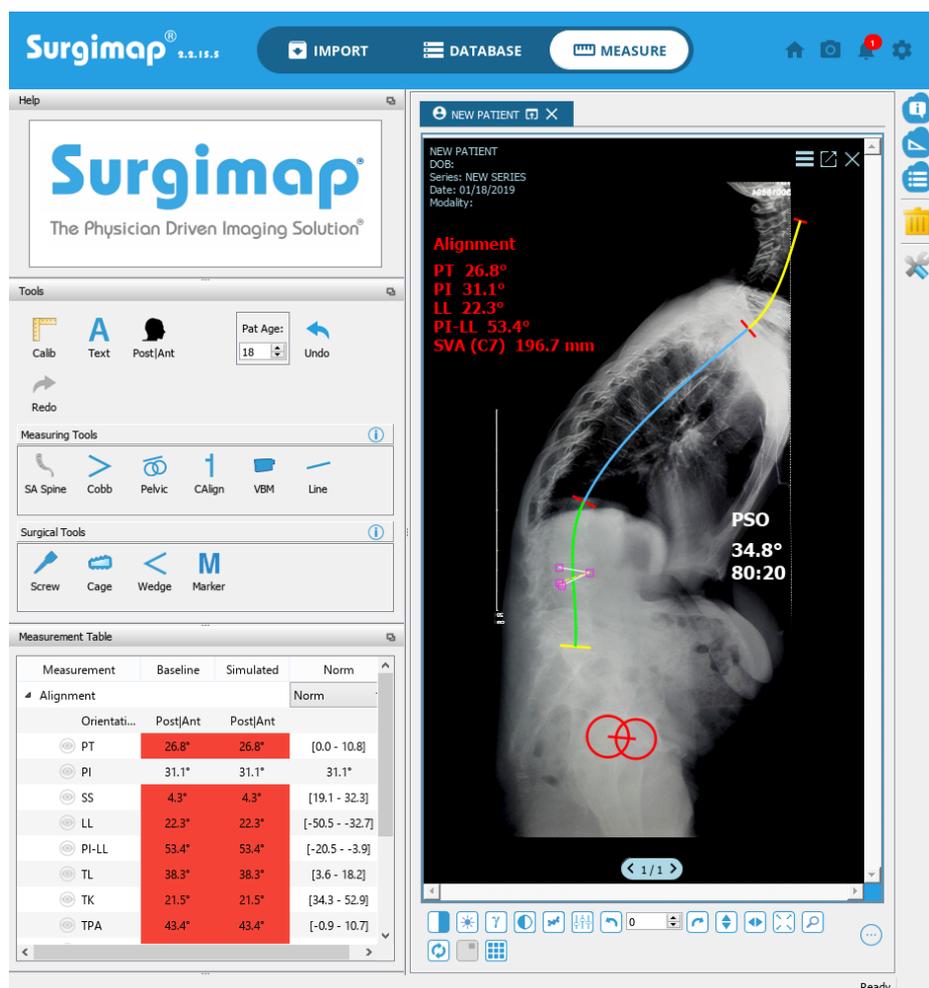


Рисунок 2.4 – Программное обеспечение Surgimap. Показаны возможности измерения параметров сагиттального баланса позвоночника. Рентгенологические показатели автоматически сравниваются с референсными значениями. Степень отклонения каждого показателя кодируется разными цветами.

Помимо оценки параметров деформации позвоночника как в сагиттальной так и во фронтальной плоскостях, данные рентгенографии позволяли судить о наличии воспалительного процесса, травматических изменений позвонков, о выраженности таких проявлений дегенеративно-дистрофических изменений позвоночника как спондилоартроз, спондилёз, спондилолистез, а также о наличии диспластических изменений поясничного и пояснично-крестцового отделов позвоночника (сакрализация, люмболизация, различные проявления спинального дизрафизма). При клинических и рентгенологических признаках спондилолистеза и нестабильности позвоночно-двигательных сегментов выполнялась также рентгенография с функциональными тестами в боковой проекции при

максимальном сгибании и разгибании позвоночника в пояснично-крестцовом отделе (Рисунок 2.5). Критерии оценки нестабильности по функциональным рентгенограммам включают: смещение заднего края тела вышележащего позвонка относительно нижележащего позвонка на величину более 2 мм вентрально или дорсально. Нестабильность одного или более сегментов отмечалась у 7 (29,2%) пациентов в I и 5 (17,2%) пациентов II группы.

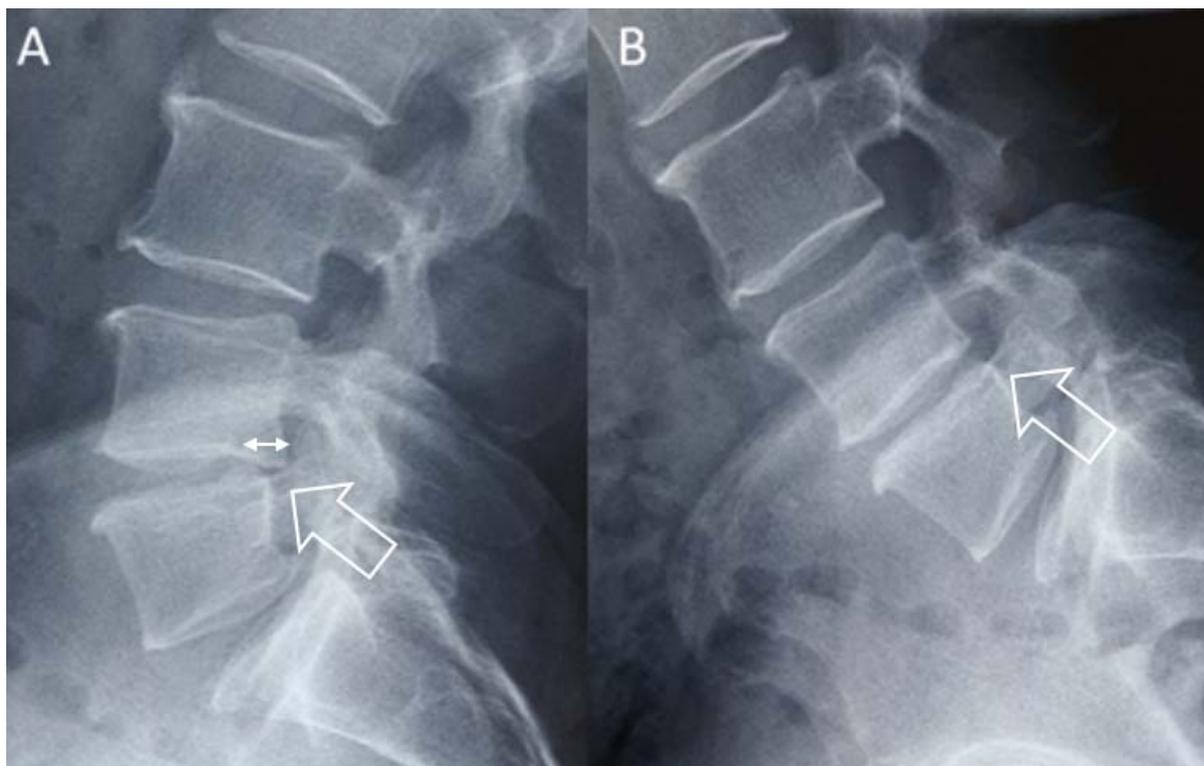


Рисунок 2.5. – Функциональные рентгенограммы пациента в положении разгибания (А) и сгибания (В) позвоночника позволяют оценить нестабильность ПДС пояснично-крестцового отдела. В данном случае отмечается снижение высоты межтелового пространства, ретроспондилолистез (4 мм) на уровне L4-L5 при разгибании.

С целью оценки мобильности деформации во фронтальной плоскости выполнялись рентгенограммы с наклонами влево и вправо (Рисунок 2.6).

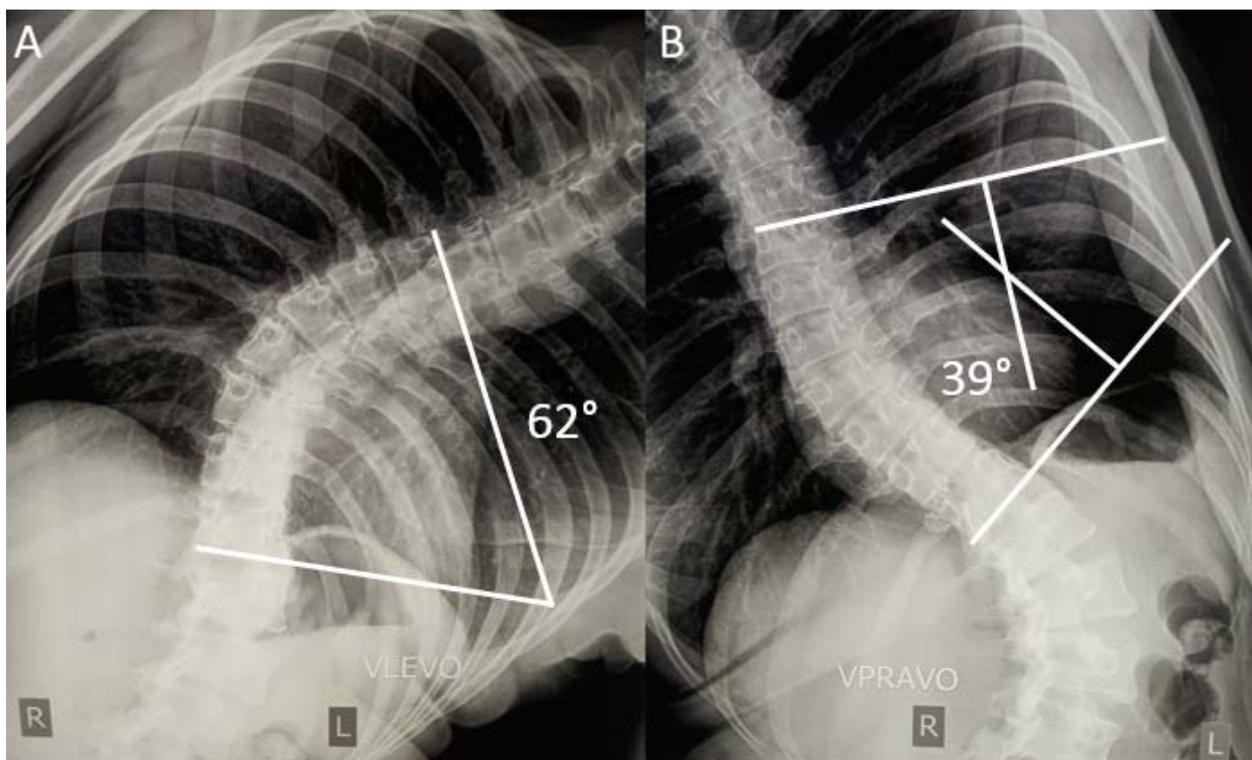


Рисунок 2.6. – Прямые рентгенограммы позвоночника с наклонами влево (А) и вправо (В) позволяют оценить мобильность дуг деформации во фронтальной плоскости. На данных рентгенограммах отмечается существенная коррекция (37%) грудной дуги при наклоне вправо, что свидетельствует об относительной мобильности деформации.

2.4.2 Компьютерная томография

Компьютерная томография выполнялась пациентам в целях более детальной визуализации костных структур (Рисунок 2.7). При помощи данного метода лучевой диагностики проводилась оценка степени костного стеноза позвоночного канала при наличии его признаков по данным рентгенографии и МРТ. Костный стеноз позвоночного канала был выявлен у 33,3% пациентов I группы и 24,2% пациентов II группы. КТ данные также позволяли судить о степени ригидности деформации по выраженности дегенеративных изменений дугоотростчатых суставов, спондилеза, краевых остеофитов позвонков и оссификации связочных структур. КТ исследование также проводилось всем пациентам с врожденными деформациями с целью оценки анатомических особенностей корней дуг

2.4.3 Магнитно-резонансная томография

Магнитно-резонансная томография (МРТ) в режимах T1, T2 а также STIR взвешенных изображений проводилась всем пациентам исследования с целью детальной визуализации мягкотканых структур позвоночника и их соотношения с костными структурами в трех плоскостях (Рисунок 2.8). МРТ данные позволяли исключить наличие аномалий развития спинного мозга, оценить состояние невральных структур (наличие их компрессии), судить о рубцовых и воспалительных изменениях, объеме мышечной ткани, состоянии связочного аппарата и дугоотростчатых суставов. Так, компрессия невральных структур, вызванная гипертрофией связок и грыжами межпозвонковых дисков была выявлена у 14 пациентов (29,2% I группы и 24,2% II группы). МРТ данные также играли немаловажную роль в планировании протяженности металлофиксации, так как, в совокупности с клиническими данными и данными других методов лучевой диагностики, они давали наиболее точные сведения о состоянии межпозвонковых дисков и нестабильности позвоночно-двигательных сегментов, что давало основания для их вовлечения или исключения из зоны фиксации. Степень дегенерации межпозвонковых дисков оценивалась по классификации Pfirrmann [112].

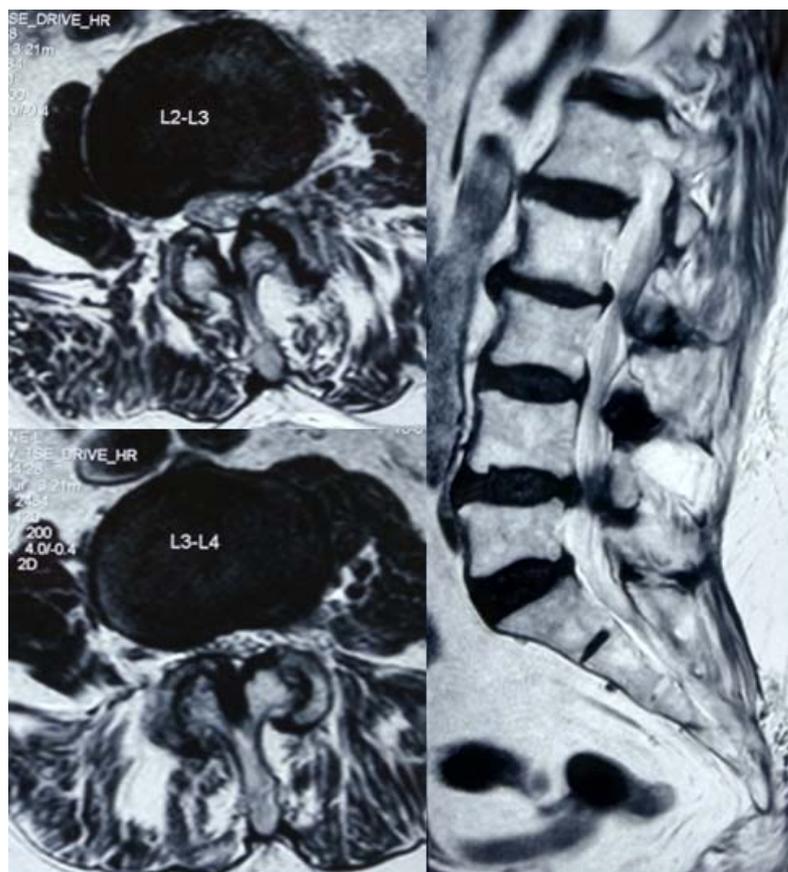


Рисунок 2.8 – МРТ пояснично-крестцового отдела позвоночника: на уровнях L2-L3, L3-L4, L4-L5 определяется стеноз позвоночного канала за счет протрузий межпозвонковых дисков, гипертрофических изменений связочного аппарата.

2.5 Статистическая обработка результатов исследования

Для статистического анализа использовалось программное обеспечение IBM SPSS Statistics 22.0. Все показатели выражались в виде средних значений и среднеквадратичного отклонения.

Дихотомические переменные анализировались с использованием непараметрических методов, что обусловлено объемом выборки. Анализируемые данные оценивались и проверялись по нескольким критериям. Независимые выборки оценивались следующими методами:

- Критерий Пирсона (метод χ^2);
- Q-критерий Розенбаума (при отсутствии достоверности выборка перепроверялась по критерию Фишера);

- U-критерий Манна-Уитни;
- Критерий Колмогорова-Смирнова.

В указанную категорию данных входили показатели динамики состояния (в частности, степень достигнутой коррекции кифотической деформации в градусах) пациентов различных групп.

Связанные выборки (данных, отражающих динамику состояния одних и тех же пациентов) оценивались с помощью W-критерия Уилкоксона.

Порог статистической значимости соответствовал $P=0,05$.

ГЛАВА 3

РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ ПОЗВОНОЧНО-ТАЗОВЫХ ПАРАМЕТРОВ И САГИТТАЛЬНОГО БАЛАНСА ПОЗВОНОЧНИКА И ПРЕДОПЕРАЦИОННОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ КОРРЕКЦИИ

Оценка сагиттального баланса пациента начинается при первом клиническом осмотре. Как уже упоминалось, необходимо уже при первой встрече с пациентом обращать внимание на баланс его туловища в положении стоя и при ходьбе. Наличие компенсаторного сгибания в тазобедренных и коленных суставах, вынужденное положение головы, неспособность длительное время находиться в выпрямленном положении косвенно указывают на выраженное нарушение сагиттального баланса позвоночника, требующего хирургической коррекции. При подозрении на нарушение сагиттального баланса необходимо также провести тест на ригидность деформации в сагиттальной плоскости, оказав мануальное давление на позвоночник в области вершины деформации в положении пациента лежа на животе. Если при проведении данного теста значительной коррекции деформации не наблюдается, можно сделать предварительное заключение о ее ригидности.

На этапе рентгенологического обследования всем пациентам с подозрением на нарушение сагиттального баланса необходимо выполнение постуральных снимков в положении пациента стоя с обязательным захватом шейного отдела позвоночника, крестца и тазобедренных суставов с верхней третью бедренных костей (Рисунок 3.1).

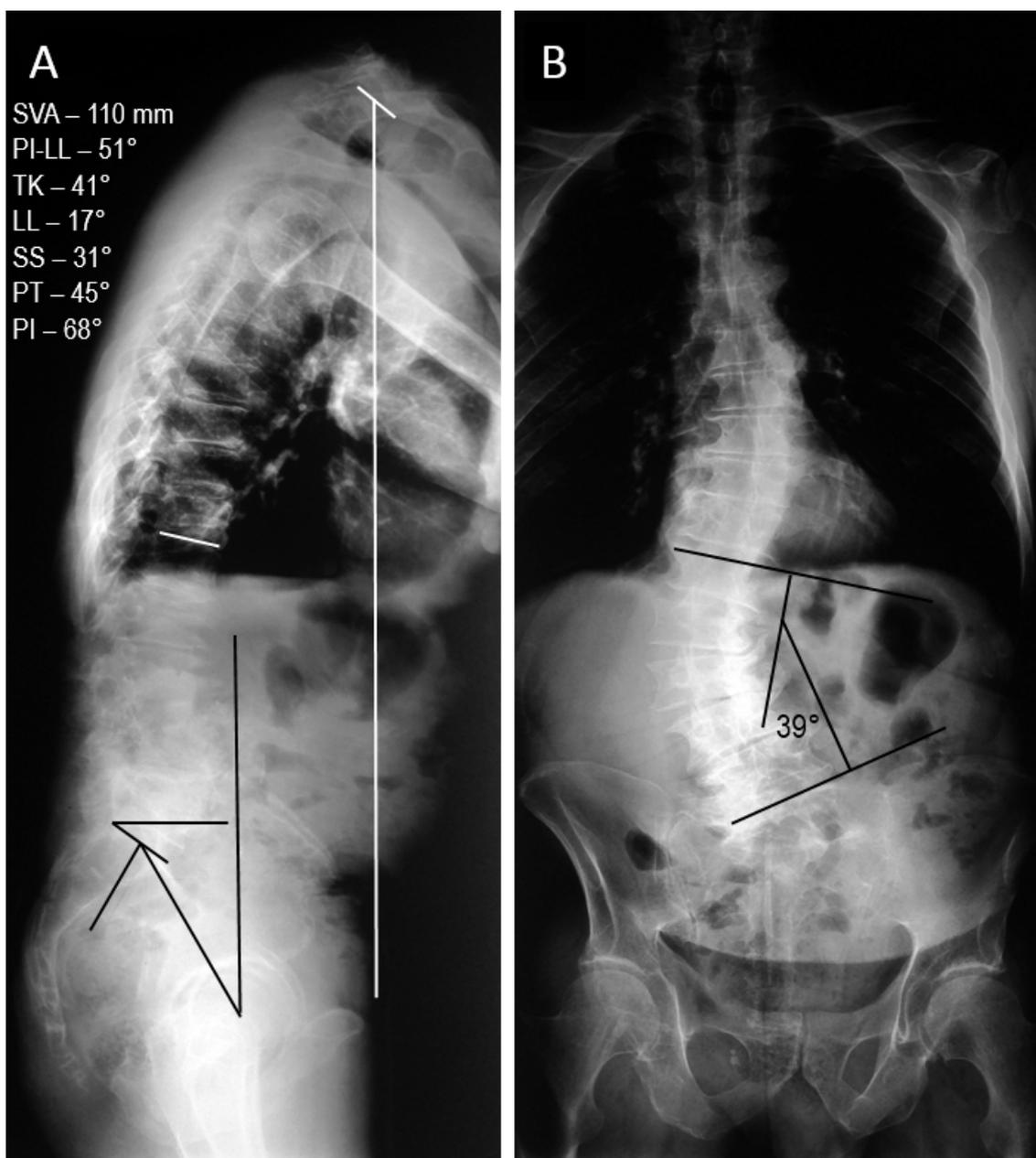


Рисунок 3.1 – Постуральные рентгенограммы пациента 59 лет. А. Рентгенограмма в боковой проекции с захватом шейного отдела и тазобедренных суставов дает возможность провести измерения параметров глобального и регионарного сагиттального баланса, позвоночно-тазовых параметров и оценить конфигурацию тазобедренных суставов и положение нижних конечностей (рентгенологические показатели указаны в левом верхнем углу). Б. Рентгенограмма в прямой проекции дает возможность анализировать глобальный фронтальный баланс. В данном случае угол поясничного сколиоза 39°.

При этом, для обеспечения наиболее корректной оценки истинных нарушений сагиттального баланса позвоночника пациента нужно попросить не

выпрямлять спину, верхние конечности согнуть в локтевых и кистевых суставах, расположив проксимальные межфаланговые суставы кистей по центру надключичных ямок, а коленные и тазобедренные суставы максимально разогнуть. Данное положение пациента не только обеспечивает наилучшую визуализацию контуров позвонков, но и способствует минимизации влияния компенсаторных механизмов на рентгенологические показатели сагиттального баланса. При необходимости более детальной визуализации одного из отделов позвоночника возможно выполнение прицельных рентгенограмм интересующего отдела. Функциональные рентгенограммы также позволяют судить о наличии нестабильности позвоночно-двигательных сегментов в поясничном отделе позвоночника.

К сожалению, в настоящее время, в нашей стране крайне ограничены возможности проведения постуральной рентгенографии. Эта методика рентгенологической диагностики требует специального оборудования и доступна в очень ограниченном числе медицинских учреждений. В то же время, она является не только своеобразным скрининговым методом выявления нарушений баланса позвоночника, особенно в популяции пожилого возраста, но и обязательным условием эффективного лечения у пациентов, которым требуется хирургическая коррекция сагиттального баланса.

Опираясь на данные мировой литературы и собственный опыт мы предлагаем алгоритм, который может служить руководством к принятию решений при хирургическом лечении деформаций позвоночника с нарушением сагиттального баланса (Рисунок 3.2). Алгоритм позволяет определить необходимость в хирургической коррекции сагиттального баланса, оценить возможность коррекции баланса при помощи менее травматичных хирургических остеотомий задней колонны, сделать выбор между возможностью ограничиться клиновидной транспедикулярной остеотомией и необходимостью применения наиболее травматичной остеотомии, требующей удаления одного или более позвонков.

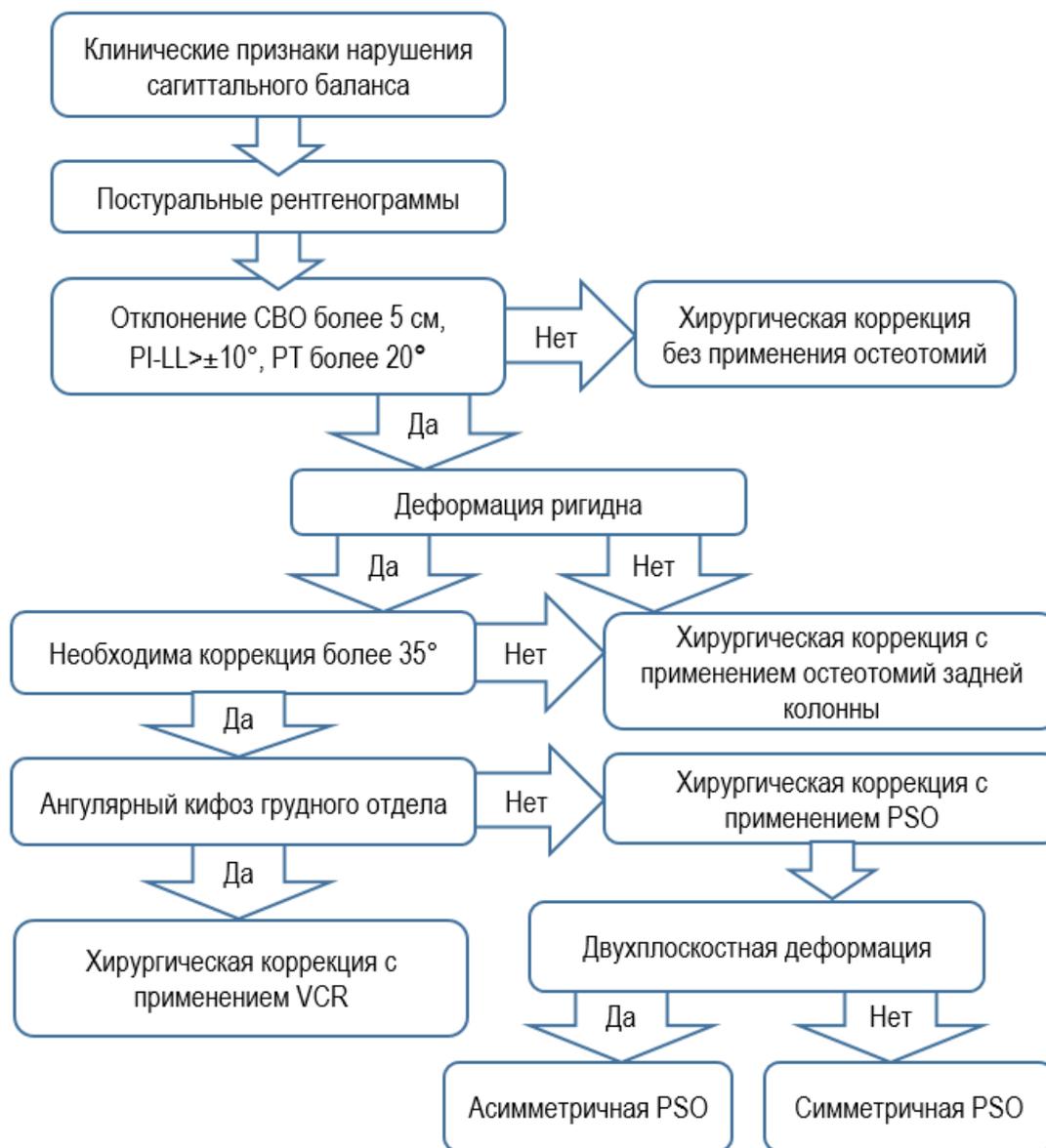


Рис 3.2. Алгоритм выбора корригирующей остеотомии при хирургическом лечении деформаций позвоночника с нарушением сагиттального баланса.

Ключевым критерием при принятии решения о необходимости выполнения педикулярной субтракционной остеотомии является наличие рентгенологических признаков ригидности деформации в сагиттальной плоскости. Нарушение сагиттального баланса, которое более чем на 30% корригируется позиционно на рентгенограммах в боковой проекции в положении пациента лежа на спине, в большинстве случаев не требует выполнения PSO, так как в данной ситуации возможна коррекция деформации за счет выполнения остеотомии задней колонны

на нескольких уровнях. В случае недостаточной информативности полученных рентгенограмм, в области вершины деформации пациенту под спину подкладывается жесткий валик, что способствует наибольшей коррекции сагиттального профиля в положении лежа (Рисунок 3.3). Дополнительные сведения о степени ригидности деформации можно получить при анализе данных компьютерной томографии, так этот метод лучевой диагностики дает наиболее полную информацию о локальных гипертрофических и дегенеративных изменениях костных тканей и связочного аппарата на уровне отдельных позвоночно-двигательных сегментов, о выраженности спондилеза и спондилоартроза, о степени анкилозирующих воспалительных изменений позвоночника при болезни Бехтерева (сращение суставов, формирование передних и боковых остеофитов, циркулярное сращение позвонков и др.) а также о характере врожденных изменений при аномалиях развития позвонков. Данные МРТ, как уже упоминалось, напротив дают возможность косвенно судить о степени сохранившейся мобильности позвоночника по состоянию связочного аппарата и межпозвонковых дисков.



Рисунок 3.3 – Положение пациента на рентгенологическом столе с жестким валиком, уложенным под вершиной деформации наиболее информативно при определении ригидности деформации.

Основной этап планирования хирургической коррекции с применением PSO заключается в измерении рентгенологических показателей и их подробном анализе. Для полноценной оценки сагиттального баланса позвоночника и выбора оптимальной тактики хирургического лечения необходима комплексная оценка показателей глобального и регионарного сагиттального баланса, а также оценка позвоночно-тазовых параметров.

3.1 Результаты оценки предоперационных параметров сагиттального баланса позвоночника в общей выборке

3.1.1 Регионарные параметры сагиттального баланса

Поясничный лордоз (LL)

Низкие показатели поясничного лордоза могут служить одной из основных причин развития прогрессирующего сагиттального дисбаланса позвоночника, в связи с чем одной из основных целей хирургического лечения является восстановление оптимальных соотношений позвоночно-тазовых параметров. В то же время, в связи со значительными возможностями хирургической коррекции сагиттального баланса позвоночника именно за счет поясничного лордоза, точная оценка этого показателя чрезвычайно важна для достижения наилучших результатов хирургического лечения.

По данным нашего исследования, выраженное снижение угла поясничного лордоза наблюдалось у всех пациентов с нарушением сагиттального баланса. Общий средний показатель LL в обеих группах составил $22,9 \pm 13,2^\circ$, что в два/три раза меньше средних показателей поясничного лордоза в норме (по данным разных авторов) (Рисунок 3.4).

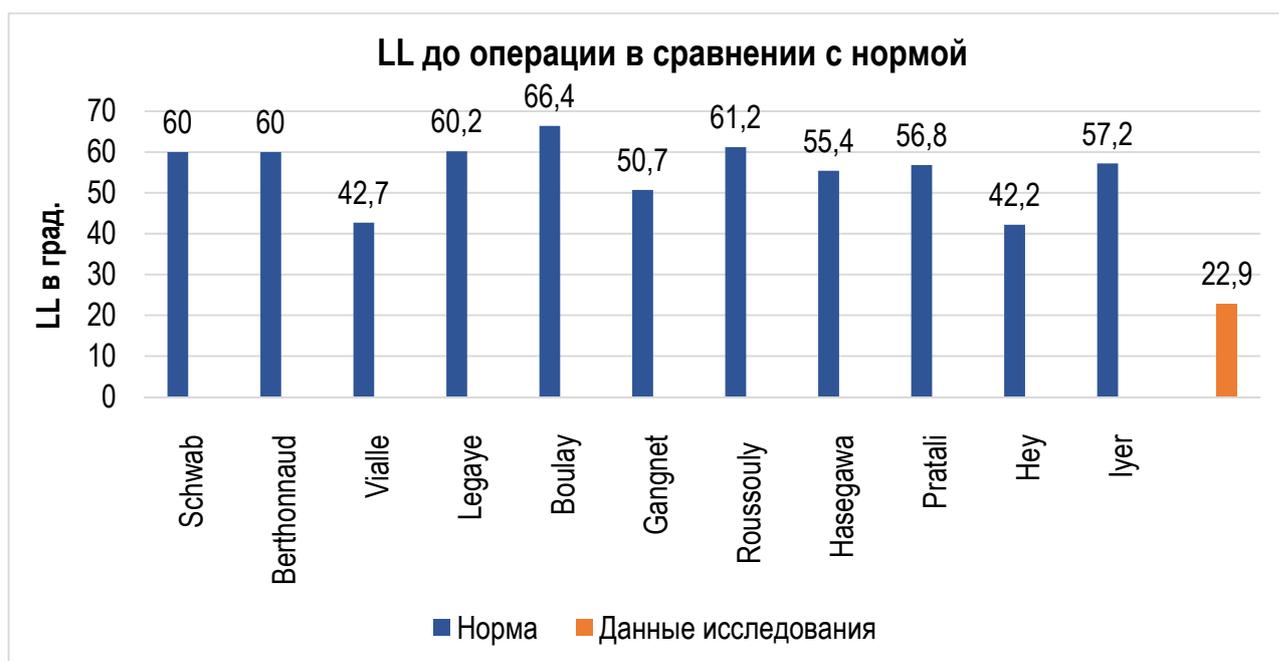


Рисунок 3.4 – Средний показатель LL в обеих группах до операции по сравнению со средними показателями LL в норме по данным разных авторов. Среднее значение LL в обеих группах было в 2-3 раза меньше средних показателей нормы.

Такие результаты предоперационной оценки рентгенологических параметров пациентов, включенных в исследование, подтверждают ключевую роль именно данного отдела позвоночника в формировании и компенсации нарушений сагиттального баланса.

Грудной кифоз (ТК)

Графическое отображение соотношения среднего показателя ТК в обеих группах исследования со средними показателями грудного кифоза по данным разных авторов представлено на рисунке 3.5.



Рисунок 3.5 – Средний показатель ТК в обеих группах до операции по сравнению со средними показателями ТК в норме по данным разных авторов. В зависимости от автора, средние показатели ТК в обеих группах соответствовали средним показателям нормы или были несколько ниже.

Полученные данные демонстрируют менее выраженное отклонение величины данного рентгенологического параметра от нормы (в некоторых исследованиях средние нормативные показатели ТК соответствуют, или даже ниже результатов данного исследования) среди пациентов, включенных в исследование. Это может свидетельствовать о менее выраженном вкладе грудного отдела в формирование и компенсацию сагиттального дисбаланса позвоночника.

3.1.2 Глобальные параметры сагиттального баланса

Сагиттальная вертикальная ось – основной показатель глобального сагиттального баланса, который наиболее точно коррелирует с выраженностью его нарушения. Помимо поясничного лордоза величина СВО также тесно связана с параметрами конфигурации таза, которые могут как усугублять нарушения глобального сагиттального баланса, так и компенсировать отклонение сагиттальной вертикальной оси за счет ретроверсии таза. В связи с этим, как упоминалось ранее, крайне важно правильное выполнение постуральной рентгенографии. На рисунке 3.6 наглядно показана средняя степень отклонения от нормы сагиттальной вертикальной оси в обеих группах исследования. В норме данный параметр приближается к нулю, однако у пациентов, включенных в исследование положительное отклонение СВО составляло в среднем 13,9 см., что в несколько раз превышает нормативные показатели в здоровой популяции.

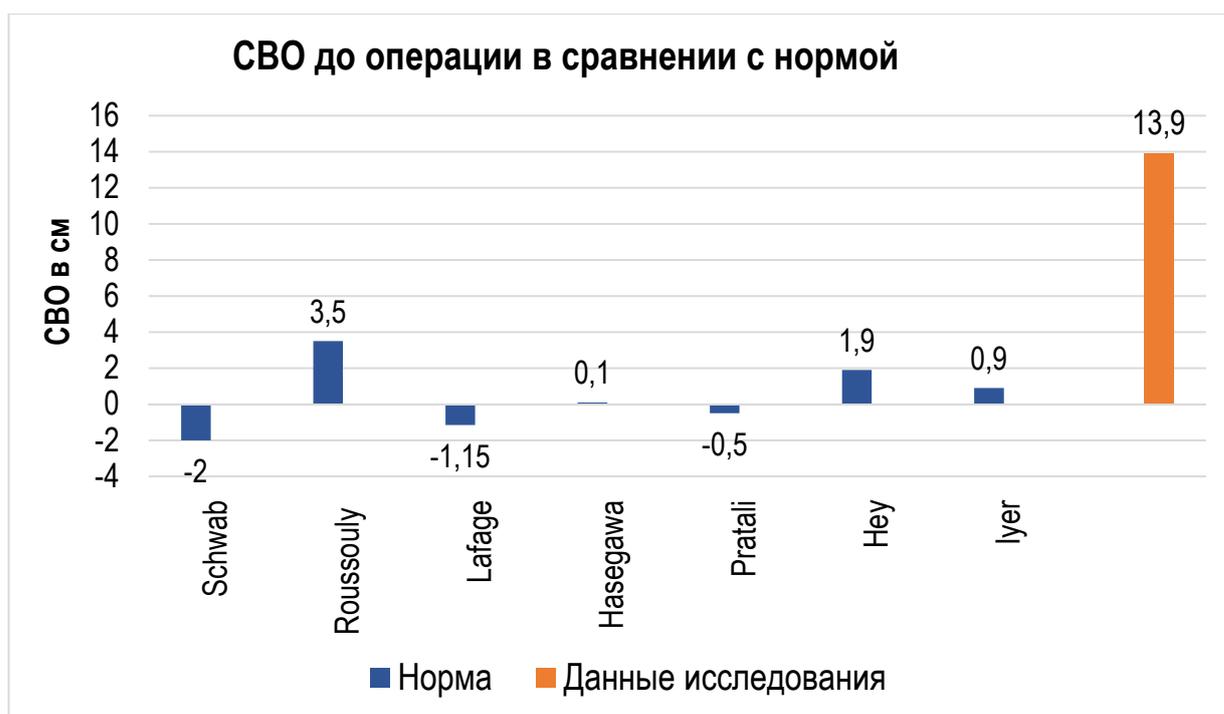


Рисунок 3.6 – Средний показатель СВО в обеих группах до операции по сравнению со средними показателями СВО в норме по данным разных авторов. Среднее отклонение СВО в обеих группах во много раз превышало средние показатели нормы.

3.1.3 Позвоночно-тазовые параметры

Тазовый индекс (PI)

Как видно из графика на рисунке 3.7, средние показатели PI, по данным разных авторов, достаточно постоянны и колеблются в пределах 45-55°. В то же время, подсчеты средних показателей данного морфологического параметра в двух группах нашей работы выявили несколько повышенные показатели тазового индекса.



Рисунок 3.7 – Средний показатель PI в обеих группах до операции по сравнению со средними показателями PI в норме по данным разных авторов. Среднее значение PI в обеих группах незначительно превышало показатели нормы.

Как принято считать, морфологический характер данного параметра обуславливает его неизменность после завершения костного роста. Вероятнее всего такое отличие связано с преимущественно пожилым возрастом пациентов в исследовании, тогда как показатели нормы рассчитаны с учетом всех возрастных групп населения. По данным последних исследований, в пожилом возрасте тазовый индекс действительно склонен к некоторому увеличению [107].

Наклон крестца (SS)

Как показано на рисунке 3.8, средний наклон крестца среди всех пациентов, включенных в исследование, был также снижен по сравнению со средними показателями SS в норме. Такое изменение пространственного положения крестца соответствует общим изменениям положения таза при нарушении сагиттального баланса позвоночника, включая его ретроверсию, а также – снижение выраженности поясничного лордоза.

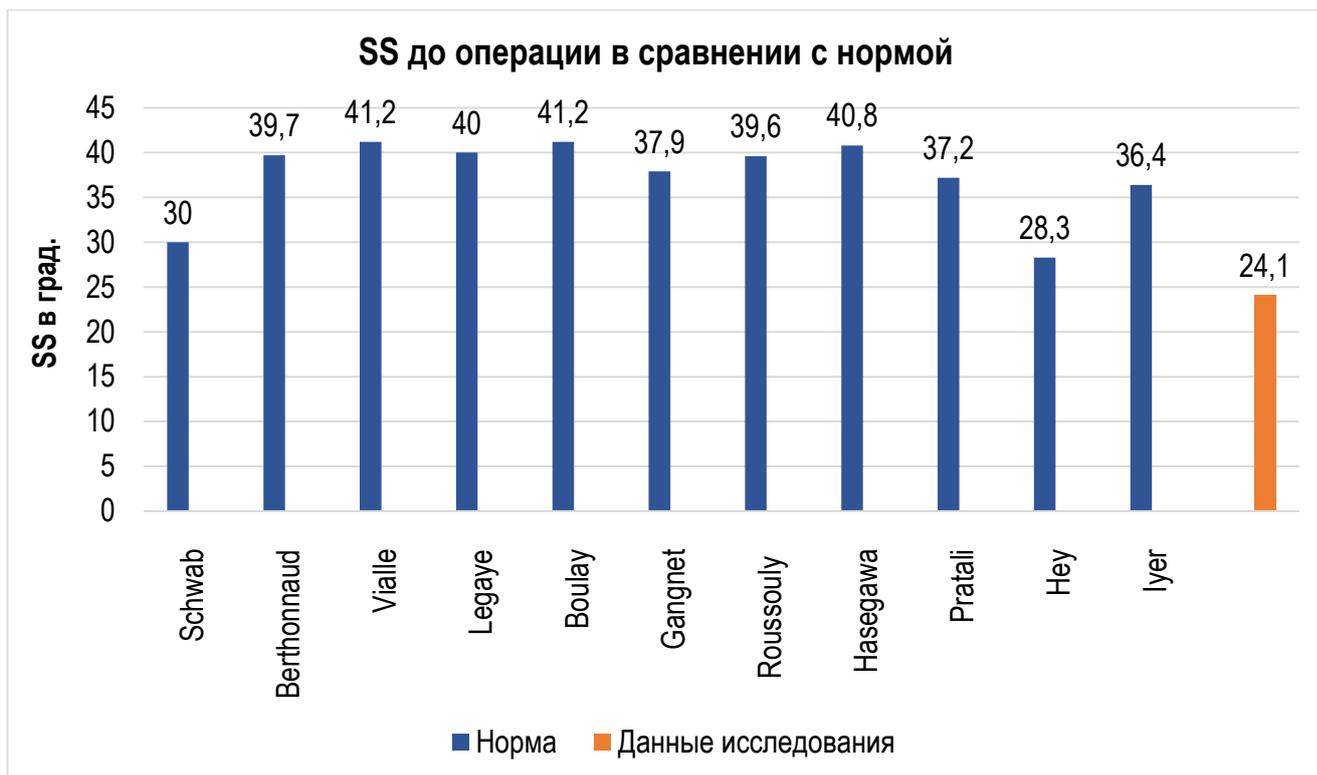


Рисунок 3.8 – Средний показатель SS в обеих группах до операции по сравнению со средними показателями SS в норме по данным разных авторов. Среднее значение SS в обеих группах было в 1,5-2 раза меньше средних показателей нормы.

Наклон таза (PT)

Привлечение компенсаторной ротации таза неизбежно сопряжено с наличием глобального дисбаланса позвоночника. В связи с этим, мы рекомендуем уделять особое внимание возможности пациента компенсировать сагиттальный дисбаланс за счет ретроверсии таза, так как ее недооценка может привести к неправильной интерпретации рентгенологических показателей и выбору неправильной тактики лечения. Как и уменьшение угла SS, значительное увеличение угла наклона таза говорит о его ретроверсии, характерной при общих нарушениях показателей позвоночно-тазовых соотношений. Средний показатель PT в двух группах исследования составил $35,7^\circ$, что более, чем в два раза превышает средние показатели этого параметра в норме (Рисунок 3.9).



Рисунок 3.9 – Средний показатель PT в обеих группах до операции по сравнению со средними показателями PT в норме по данным разных авторов. Средние показатели PT в обеих группах были в 2-3 раза выше средних показателей нормы.

Несоответствие PI-LL

Расчет средней степени несоответствия PI-LL у пациентов в обеих группах исследования показал, что у всех пациентов с нарушением сагиттального баланса, отклонение этого параметра от нормы очень выражено и в несколько раз превышает приемлемые границы в $\pm 10^\circ$ (Рисунок 3.10). Учитывая отсутствие или крайне низкую степень изменения величины тазового индекса с возрастом, показатель PI-LL дает возможность более точной оценки нарушений позвоночно-тазовых параметров у каждого отдельно взятого пациента, а его значительное отклонение среди пациентов, включенных в исследование еще раз свидетельствует о центральной роли поясничного лордоза в патогенезе сагиттального дисбаланса.

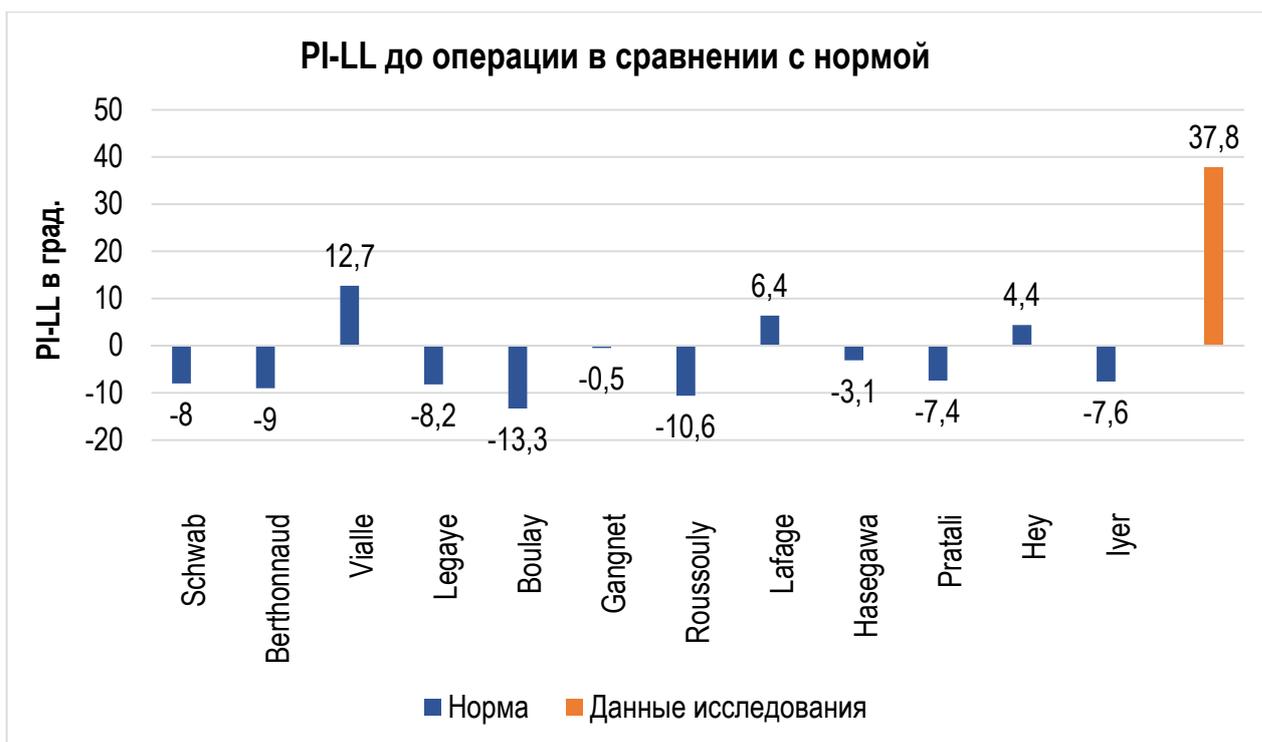


Рисунок 3.10 – Средний показатель PI-LL в обеих группах до операции по сравнению со средними показателями этого параметра в норме по данным разных авторов. Средние показатели несоответствия PI-LL в обеих группах превышали показатели нормы в 3 и более раза.

Расчет параметров глобального баланса позвоночника и позвоночно-тазовых параметров в обеих группах исследования до операции подтвердил выраженные отклонения всех непостоянных показателей сагиттального баланса от нормы у пациентов с рассматриваемой патологией позвоночника. Наиболее выраженные отклонения наблюдались при оценке LL, несоответствия PI-LL и СВО. В то же время, следует отметить, что, по результатам расчетов, средняя величина постоянного морфологического параметра PI также несколько превышала норму, что, вероятно, связано с преимущественно пожилым возрастом пациентов, включенных в исследование.

3.2 Предоперационное планирование коррекции

Тщательное предоперационное планирование – необходимая мера для достижения оптимальных результатов хирургической коррекции позвоночника.

План хирургического лечения конкретного пациента с деформацией позвоночника и нарушением сагиттального баланса должен основываться на систематическом анализе, соблюдении установленных принципов достижения целевых значений сагиттальных параметров и применении методов прогнозирования результатов хирургического лечения.

При планировании хирургической коррекции сагиттального баланса позвоночника иногда трудно предсказать, какие компенсаторные изменения произойдут выше и ниже области остеотомии. Для правильного восстановления глобального сагиттального баланса, оценка степени коррекции тазовых параметров в сравнении со степенью коррекции вышележащих отделов позвоночника после выполнения остеотомии должна быть проведена до операции. При оценке деформации позвоночника с нарушением сагиттального баланса хирург должен сначала классифицировать сагиттальные изменения как сегментарные, региональные или глобальные. Для достижения адекватной коррекции, дальнейшая предоперационная оценка должна включать измерение и анализ всех упомянутых выше элементов. СВО дает возможность количественно оценить степень глобального сагиттального дисбаланса, а PI, TK и LL должны оцениваться в контексте PT. Например, небольшой LL компенсируется за счет ретроверсии таза и сгибания в суставах нижних конечностей. Необходимо учитывать, что степень изменения конфигурации поясничного отдела может быть недооценена при выраженной компенсаторной ретроверсии таза (PT). PT, в свою очередь, в значительной степени зависит от PI и LL, а все эти параметры вместе определяют глобальный сагиттальный баланс (СВО). Поэтому, достигая восстановления LL за счет корригирующей остеотомии, хирург имеет возможность существенно модифицировать послеоперационный PT и глобальный сагиттальный баланс (СВО).

Восстановление оптимального сагиттального баланса приводит к центрации головы пациента над его тазом, восстанавливает горизонтальный уровень взора и предотвращает лишние затраты энергии в положении стоя, что приводит к

улучшению функционального состояния пациента и уменьшению болевого синдрома. Базовый подход к восстановлению глобального дисбаланса включает следующие принципы: следует стремиться к восстановлению СВО до 3-5 см. Данные показатели соответствуют расположению линии отвеса от С7 кзади от головок бедренных костей, что фактически устраняет патологический наклон туловища кпереди. Клинически, преодоление этого порога соответствует наилучшим показателям качества жизни. Достижение данных целевых показателей глобального сагиттального баланса может требовать различной индивидуальной степени коррекции в зависимости от степени изменений позвоночно-тазовых параметров.

При планировании изменений тазовых показателей необходимо стремиться к послеоперационным значениям РТ $<20^\circ$. Помимо коррекции баланса позвоночника, и положения таза, восстановление РТ приводит к восстановлению положения нижних конечностей, что необходимо для полноценного передвижения пациента и снижения нагрузки на тазобедренные суставы. Сохранение повышенных показателей РТ при восстановлении СВО до значений <5 см означает, что все еще имеет место компенсация остаточной деформации позвоночника за счет таза. Клинически выраженные изменения наклона таза проявляются нарушением походки и снижением выносливости при ходьбе.

Наиболее важным элементом коррекции сагиттального баланса является адекватное восстановление LL. Так как угол LL может значительно варьировать в норме (см. классификацию Roussouly выше), не существует общих целевых показателей коррекции этого параметра. Для достижения коррекции, оптимальной для конкретного пациента, наиболее эффективно применение параметра несоответствия PI-LL, при этом их разница не должна превышать $\pm 10^\circ$. В то же время, помимо PI, целевые показатели LL для каждого пациента должны учитывать их возраст, плотность костной ткани и образ жизни.

Наш опыт применения методики показал, что PSO на одном уровне может обеспечивать коррекцию LL от 20 до 40 градусов и изменение СВО

приблизительно на 10-12 см. При недостаточной коррекции LL за счет PSO на одном уровне, возможно дополнительное применение остеотомий задней колонны на вышележащих уровнях.

3.3 Определение уровня педикулярной субтракционной остеотомии и протяженности фиксации

В большинстве случаев, уровень выполнения PSO должен соответствовать вершине кифосколиоза. Особенности методики позволяют выполнять ее ассиметрично, что дает возможность одновременной коррекции в двух плоскостях. В случае, если вершины сколиотической и кифотической дуг у пациента расположены на разных уровнях, PSO должна выполняться на вершине кифоза для реконструкции в сагиттальной плоскости. У большинства пациентов с болезнью Бехтерева вершина кифотической деформации расположена на уровне грудопоясничного перехода. Несмотря на то, что угол сегментарной коррекции не меняется, остеотомия на нижележащих уровнях приводит к более значительной коррекции сагиттального баланса за счет большего рычага. Данное правило следует учитывать при коррекции деформации с сагиттальным компонентом любой этиологии, однако чаще всего педикулярная субтракционная остеотомия выполняется на уровне L2, L3, так как, в силу анатомических особенностей центральной нервной системы, эти уровни связаны с наименьшим риском неврологических осложнений. Также выполнение PSO на среднепоясничном уровне обеспечивает большие возможности для надежной стабилизации за счет достаточного количества выше- и нижерасположенных точек фиксации. В то же время, в случае необходимости (например, при кифотических деформациях с вершиной на уровне S1) PSO выполняется и на уровнях L5,S1. Поскольку сегменты L4-S1 обеспечивают до 80% анатомического LL, наилучшие результаты коррекции достигаются за счет именно этих нижних поясничных сегментов.

Успешное восстановление глобального сагиттального баланса в большинстве случаев достигается за счет коррекции пояснично-тазовых параметров, однако, в некоторых случаях, для достижения оптимальных показателей СВО, необходима коррекция грудного гиперкифоза (как правило, если ТК превышает 50°) или грудопоясничного гиперкифоза (если угол Th10–L2 превышает 20°). Выбор верхнего уровня фиксации должен включать верхние позвонки основной дуги сагиттальной деформации (обычно на верхнегрудном уровне). При более короткой фиксации рекомендуется завершать фиксацию на уровне T9 или T10, а не на уровне грудопоясничного перехода, так как, исходя из нашего опыта, этот уровень наиболее подвержен РЖК (proximal junctional kyphosis – кифоз проксимальной переходной зоны). Данного правила важно придерживаться особенно у пациентов со значительным снижением минеральной плотности костной ткани, выраженным грудным кифозом, атрофией и жировой дегенерацией паравертебральной мускулатуры.

3.4 Прогнозирование и симуляция коррекции за счет PSO при помощи программного обеспечения

Применение корригирующих остеотомий позволяет хирургам модифицировать степень поясничного лордоза и грудного кифоза в соответствии с заданными параметрами. Одно из условий достижения оптимальных показателей заключается в прогнозировании эффекта, который остеотомия окажет на глобальный баланс после операции. Преимущества применения программного обеспечения при хирургическом планировании заключаются не только в автоматизации процесса вычисления рентгенологических показателей, но и в возможности симуляции остеотомии. Это позволяет быстро и точно рассчитать необходимый уровень и степень коррекции как за счет одной или более сегментарной трехколонной остеотомии, так и за счет дополнительных остеотомий задней колонны.

В данной работе расчет параметров сагиттального баланса и планирование коррекции производились при помощи программного обеспечения Surgimap (Nemaris Inc, New York, NY) (Рисунок 3.11). Оценка параметров сагиттального баланса происходит в автоматизированном режиме после ручного обозначения на цифровой рентгенограмме позвоночно-тазовых ориентиров. При этом, все полученные показатели сопоставляются с соответствующими целевыми значениями. Для симуляции PSO, применялась функция “wedge osteotomy”, посредством которой пользователь может указать планируемый уровень и объем остеотомии, после чего вышележащие отделы вращаются относительно точки опоры в области передней колонны выбранного позвонка и предоперационные рентгенологические показатели пересчитываются с учетом планируемой резекции. Симуляция остеотомии дает возможность с большой долей вероятности предсказать изменения конфигурации вышележащих отделов и рассчитать протяженность фиксации.

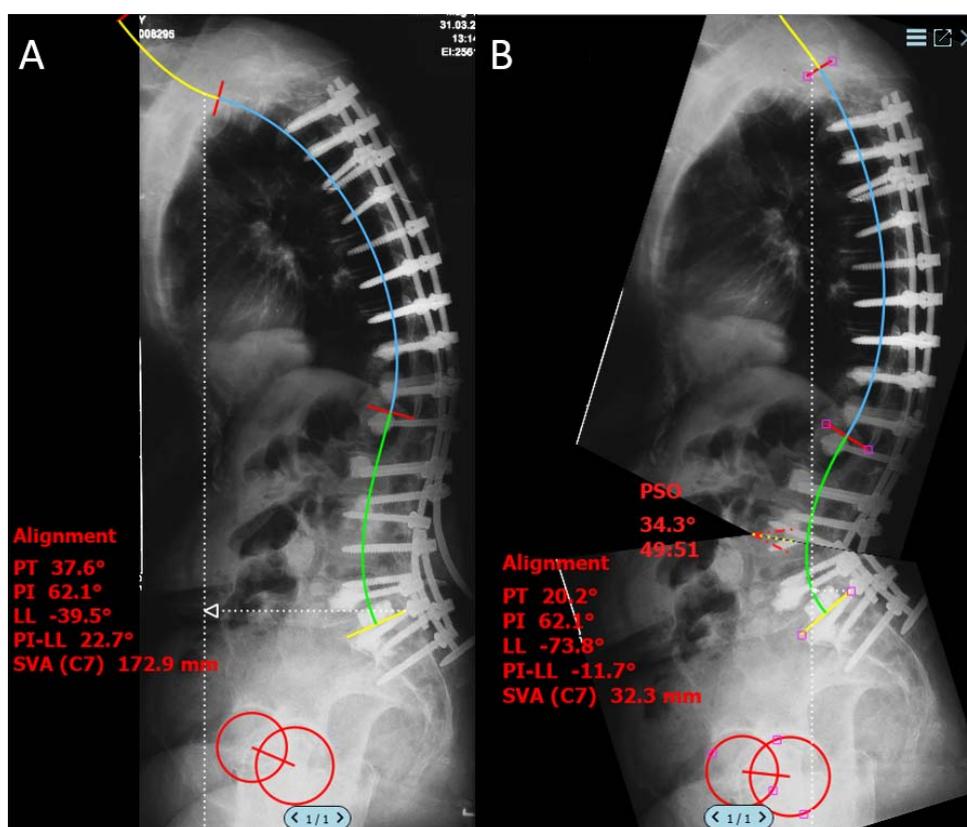


Рисунок 3.11 – Расчет рентгенологических показателей сагиттального баланса до и после виртуальной симуляции педикулярной субтракционной остеотомии при помощи программного обеспечения Surgimap.

Резюме

Выявленные отклонения от нормы рентгенологических параметров сагиттального баланса позвоночника в исследуемой группе пациентов продемонстрировали важность оценки этих показателей у всех пациентов пожилого возраста с деформациями позвоночника. Полученные данные подтвердили ключевую роль поясничного лордоза в нарушении как глобальных параметров сагиттального баланса позвоночника, так и позвоночно-тазовых параметров. Значительное уменьшение поясничного лордоза, в частности, на 10 и более градусов относительно показателей тазового индекса и смещение сагиттальной вертикальной оси более чем на 5 см кпереди обуславливают необходимость хирургической коррекции баланса позвоночника. Как показали результаты клинического и лучевого обследования, описанные в предыдущей главе, у большинства пациентов имел место хронический болевой синдром, при этом лишь в 50%-60% случаев имела место компрессия невральных структур. Наличие ригидных деформаций с выраженным уменьшением угла поясничного лордоза в сочетании с хроническим болевым синдромом и нарушением походки являются прямыми показаниями к применению педикулярной субтракционной остеотомии. Компьютерное моделирование остеотомии, в свою очередь, позволяет планировать степень и уровень коррекции для достижения показателей сагиттального баланса близких к показателям нормы.

ГЛАВА 4

ОСОБЕННОСТИ МЕТОДИКИ ВЫПОЛНЕНИЯ ПЕДИКУЛЯРНОЙ СУБТРАКЦИОННОЙ ОСТЕОТОМИИ И ПОСЛЕДУЮЩЕЙ СТАБИЛИЗАЦИИ ПОЗВОНОЧНИКА

4.1 Хирургическая методика PSO

Педикулярная субтракционная остеотомия является остеотомией 3 степени по Schwab [125]. Технически методика заключается в клиновидной резекции всех трех колонн позвоночного столба с удалением задних элементов позвонка, что позволяет добиться локальной сегментарной коррекции в сагиттальной плоскости около 30° без удлинения передней колонны позвоночника [56, 148, 150].

Как упоминалось в предыдущей главе, показаниями к выполнению PSO было наличие у пациента ригидной деформации позвоночника со значительным нарушением сагиттального баланса (уменьшение угла поясничного лордоза на 10 и более градусов относительно PI, смещение СВО кпереди на 5 и более см, ретроверсия таза, компенсаторное сгибание в нижних конечностях) в сочетании с длительным болевым синдромом и затруднением ходьбы. При этом, при необходимости выполнялась декомпрессия невральных структур.

Этапы педикулярной субтракционной остеотомии в модификации, применяемой в отделении патологии позвоночника НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова

1. Выше и ниже запланированного уровня остеотомии устанавливаются транспедикулярные винты. Как правило, надежная стабилизация зоны остеотомии требует фиксации не менее шести уровней.
2. На уровне остеотомии выполняется широкая ламинэктомия с двусторонним обнажением выходящих спинномозговых корешков. При выполнении остеотомии на грудном уровне возможна двусторонняя перевязка спинномозговых корешков (Рисунок 4.1).

3. На уровне остеотомии удаляются поперечные отростки и максимально обнажаются корни дуги позвонка с двух сторон. Обычно производится частичная резекция суставных отростков смежных позвонков.
4. С двух сторон тупым методом субпериостально выделяются наружные поверхности тела позвонка, что позволяет контролировать угол клиновидной резекции (Рисунок 4.2).
5. Дуральный мешок отводится в сторону нейрохирургическим ретрактором. Тщательно избегая травматизации спинномозговых корешков, при помощи долота выполняется клиновидная остеотомия тела позвонка под запланированным углом. При помощи кусачек и ламинотомов удаляется губчатая костная ткань. При этом, задняя кортикальная стенка тела позвонка остается интактной (Рисунок 4.3).
6. После завершения односторонней остеотомии, на той же стороне устанавливается временный стержень и фиксируется гайками. Данный этап необходим для предотвращения риска смещения оси позвоночника во время резекции тела позвонка (Рисунок 4.4).
7. С контралатеральной стороны проводится аналогичный этап остеотомии симметрично или асимметрично, в зависимости от тактики коррекции. После завершения этапа необходимо убедиться в сообщении дефектов под задней кортикальной стенкой тела позвонка.
8. После завершения остеотомии на той же стороне на винты, установленные в смежные с уровнем остеотомии позвонки укладывается короткий стержень, но гайки остаются незатянутыми.
9. При помощи обратнозагнутой кюретки, или аналогичного инструмента, задняя кортикальная стенка продавливается в вентральном направлении, после чего необходимо убедиться в отсутствии острых костных фрагментов внутри и по краям образовавшегося дефекта.
10. На завершающем этапе производится смыкание зоны остеотомии с двух сторон за счет контракции головок винтов, после чего стержни фиксируются гайками. Необходимо внимательно контролировать данный процесс, во

избежание попадания невральных структур в область смыкаемого дефекта (Рисунок 4.5).

11. После фиксации зоны остеотомии проводится окончательная ревизия позвоночного канала в зоне остеотомии (Рисунок 4.6), независимая коррекция и фиксация остальных сегментов (Рисунок 4.7).



Рисунок 4.1 – Широкая ламинэктомия на уровне остеотомии.

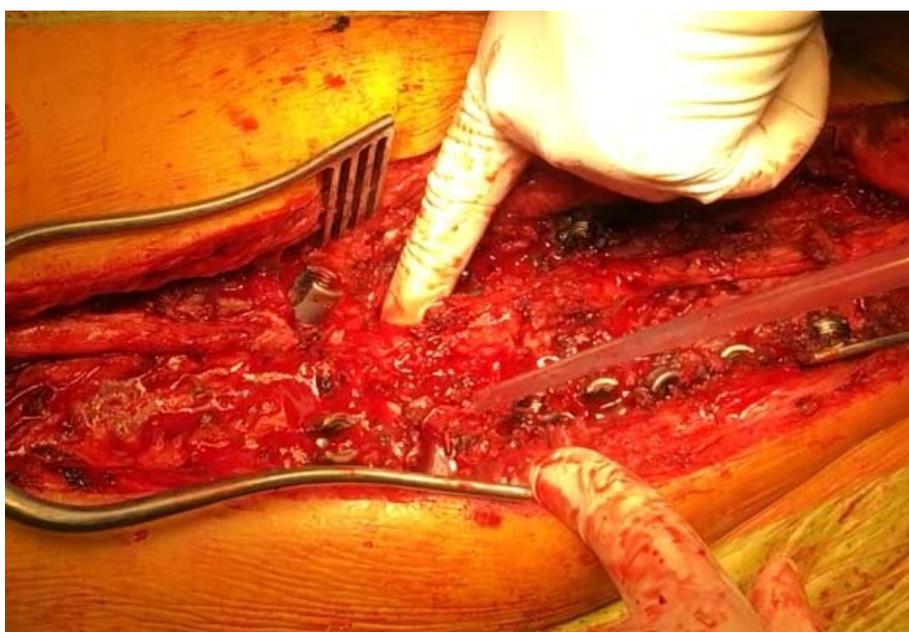


Рисунок 4.2 – Субпериостальное выделение наружных поверхностей тела позвонка.

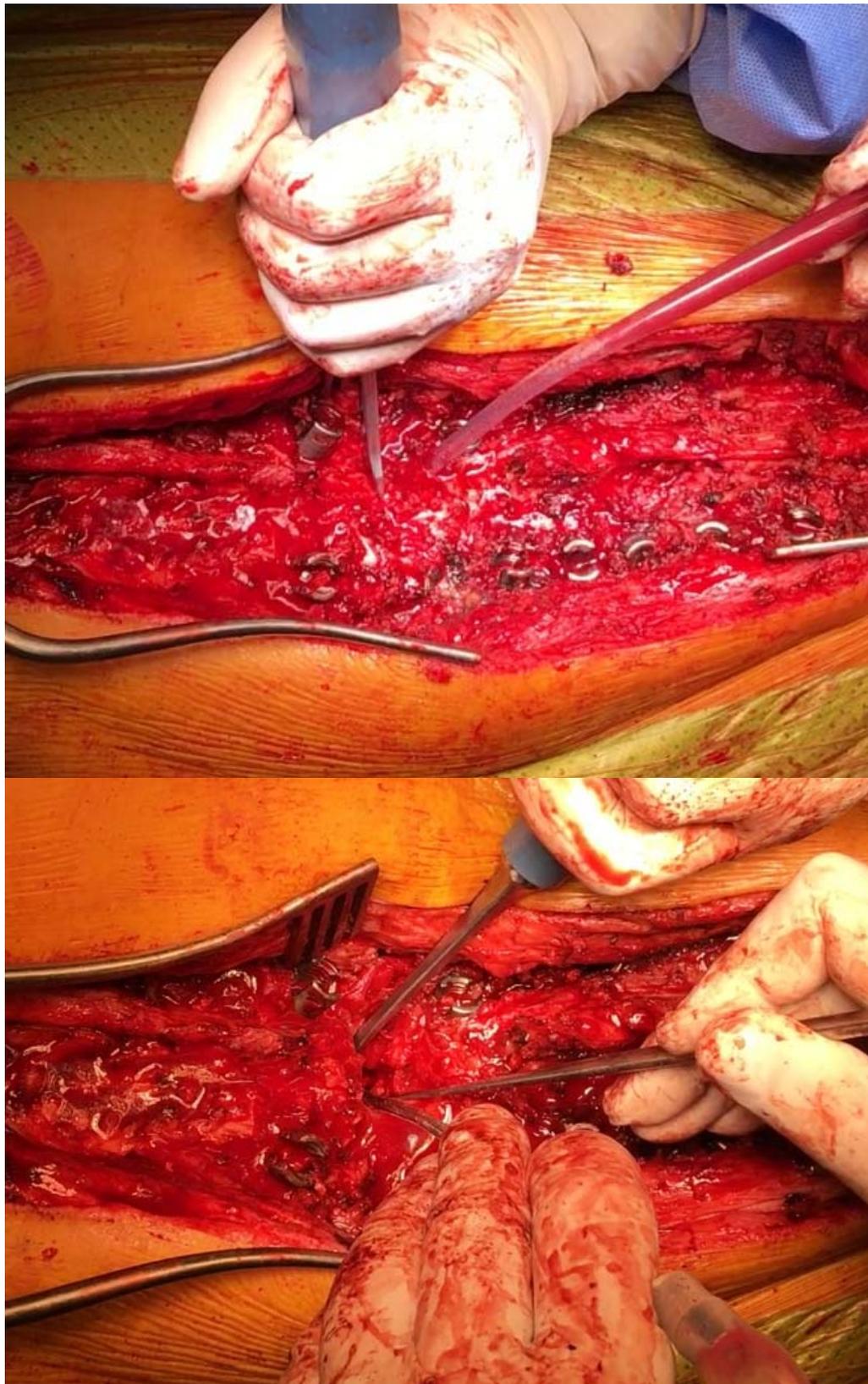


Рисунок 4.3 – Клиновидная остеотомия тела позвонка под запланированным углом при помощи долота.

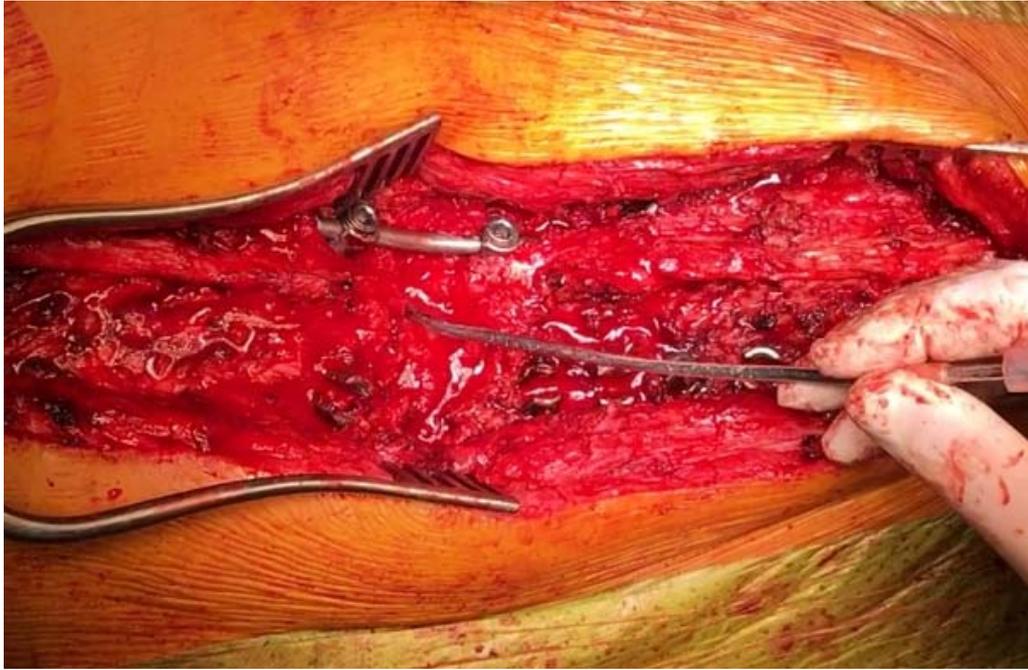


Рисунок 4.4 – Установка временного стержня для предотвращения риска смещения оси позвоночника во время резекции тела позвонка с контралатеральной стороны.

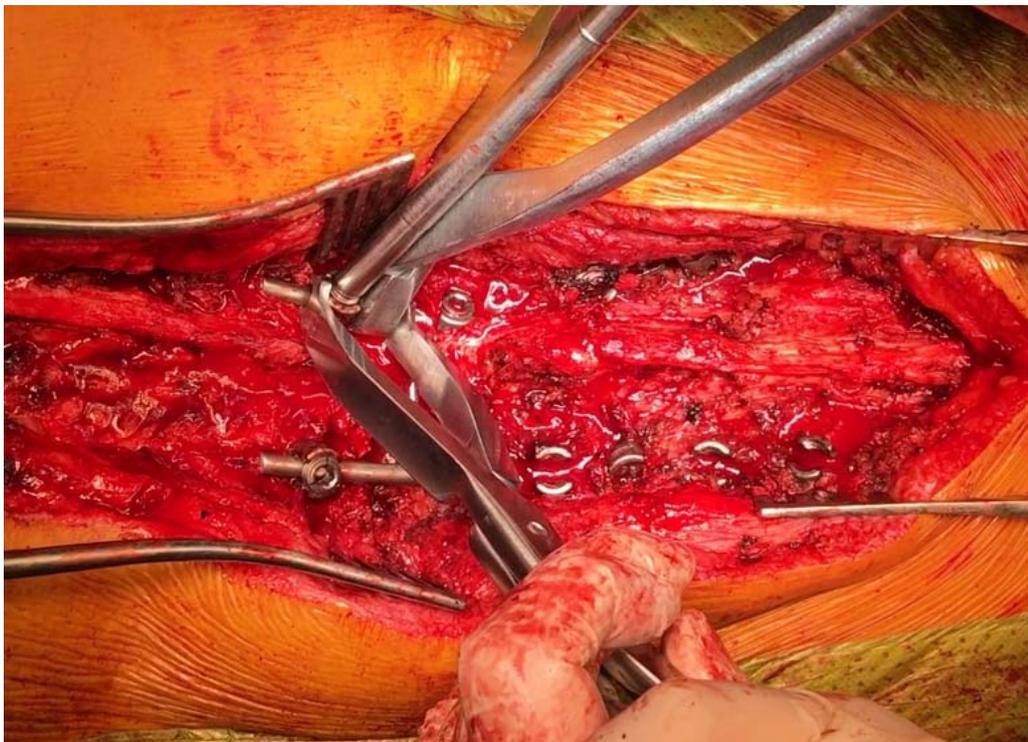


Рисунок 4.5 – Смыкание зоны остеотомии с двух сторон за счет поэтапной контракции.

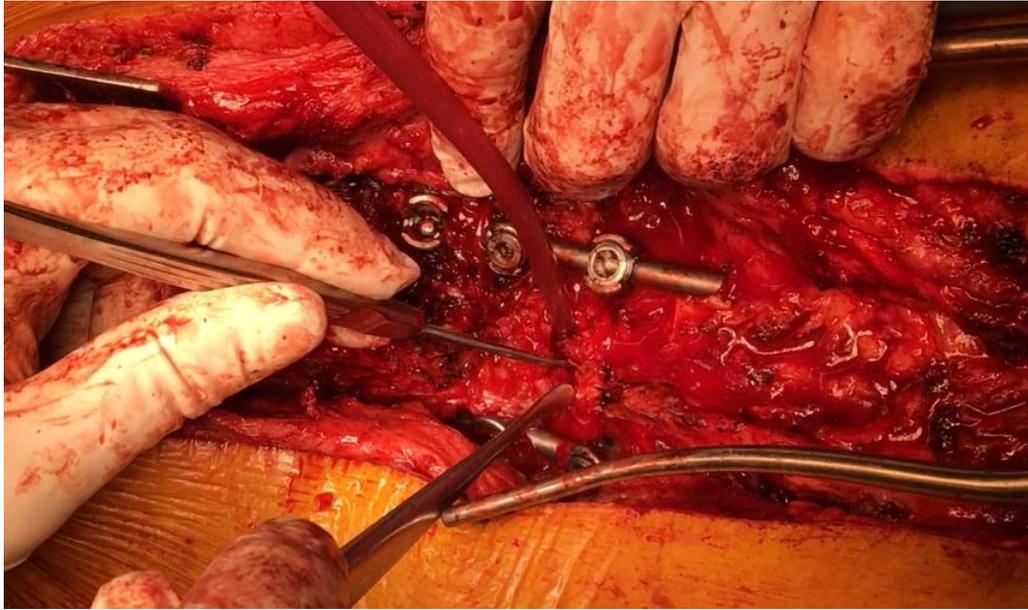


Рисунок 4.6 – Окончательная ревизия позвоночного канала в зоне остеотомии.

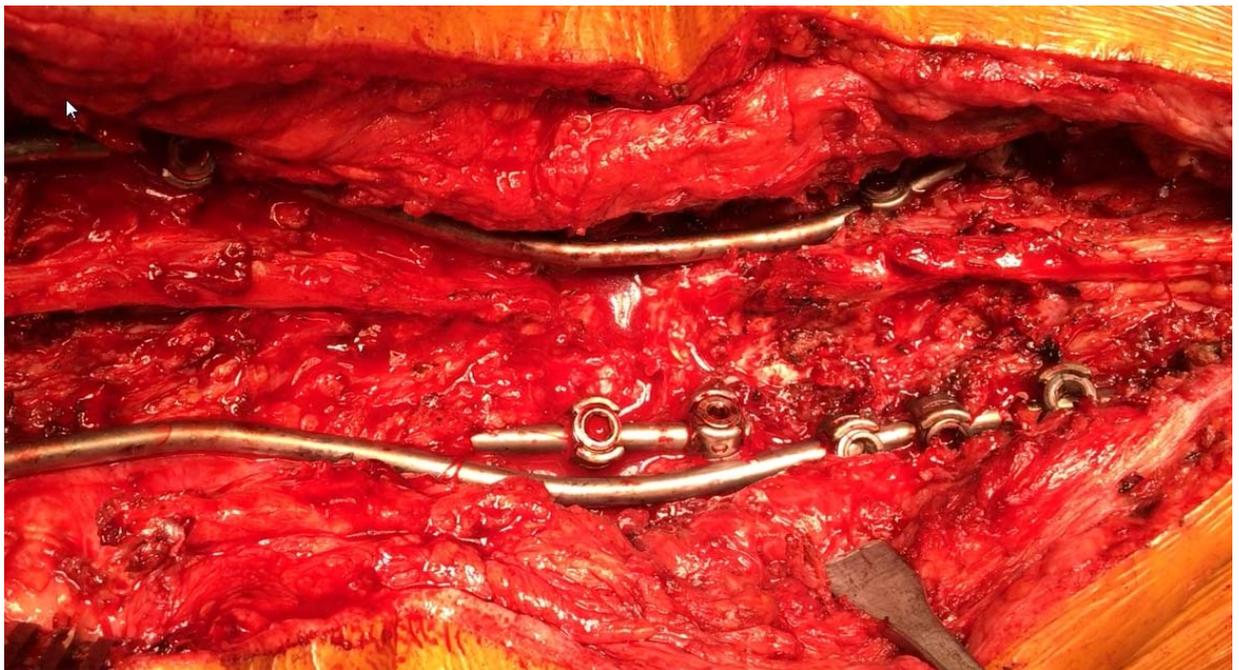


Рисунок 4.7 – Окончательная фиксация всех элементов металлоконструкции.

Ключевые моменты

- ❖ Важно максимально широко открывать позвоночный канал в зоне остеотомии, чтобы на всех этапах иметь возможность контролировать состояние дурального мешка (возможно его гофрирование) и спинномозговых корешков.

- ❖ При выполнении остеотомии на грудном уровне возможна двусторонняя перевязка спинномозговых корешков.
- ❖ На протяжении всей манипуляции необходимо сохранение целостности передней кортикальной стенки тела позвонка во избежание вывиха на уровне остеотомии.
- ❖ В связи с выраженной биомеханической нагрузкой на смежные с зоной остеотомии сегменты, при выполнении PSO ниже уровня L2 рекомендуется во всех случаях проводить позвоночно-тазовую фиксацию.
- ❖ В результате резекции тела позвонка образуется большой объем локального костного ауто трансплантата, который рекомендуется использовать для дополнительного спондилодеза на уровне остеотомии.

4.2 Особенности стабилизации позвоночника после выполнения PSO

Педикулярная субтракционная остеотомия – одна из наиболее эффективных методик восстановления сагиттального баланса у пациентов с ригидными деформациями позвоночника. За счет сегментарной клиновидной резекции, PSO позволяет добиться значительной коррекции позвоночно-тазовых параметров, что, в свою очередь, обеспечивает восстановление мышечного баланса, снижение болевого синдрома и повышение качества жизни пациента. У всех пациентов в нашем исследовании при поступлении наблюдалось выраженное уменьшение поясничного лордоза и смещение центра тяжести туловища кпереди, что, в большинстве случаев, приводило к активации компенсаторных механизмов – разгибанию в грудном и шейном отделах позвоночника, сгибанию в тазобедренных и коленных суставах, ретроверсии таза.

В подавляющем большинстве источников литературы, в которых проводился анализ эффективности PSO, осуществлялась традиционная фиксация двумя стержнями. Основное различие применяемой в исследовании модификации PSO с

исследованиями других авторов заключалось в том, что в зоне непосредственной клиновидной резекции проводилась короткая фиксация двумя дополнительными стержнями. Рентгенологически у всех пациентов в исследовании в отдаленном послеоперационном периоде наблюдалась адекватная коррекция деформации и сагиттального баланса с восстановлением поясничного лордоза до значений, близких к физиологическим. При этом важно отметить, что в отдаленном послеоперационном периоде ни в одном из случаев не наблюдалось переломов стержней в зоне остеотомии и смежных уровнях, хотя переломы стержней другой локализации имели место у 5 пациентов.

Зона педикулярной субтракционной остеотомии является механически наиболее неустойчивой областью позвоночного столба при протяженной фиксации. В связи с дестабилизацией позвоночно-двигательного сегмента за счет удаления задних элементов и значительной части тела позвонка, вся нагрузка вышележащих отделов приходится именно на этот участок фиксирующих стержней. Также, вследствие формирования на этом уровне угловой деформации (при выполнении PSO в поясничном отделе) после смыкания зоны дефекта, возникает необходимость в значительной угловой деформации и самих стержней, что снижает их устойчивость к нагрузкам и увеличивает риск их переломов в этой области. Методика фиксации зоны PSO четырьмя стержнями имеет несколько потенциальных преимуществ. Основное преимущество заключается в распределении нагрузок между бóльшим числом стержней, что, соответственно, снижает индивидуальную нагрузку на каждый стержень в отдельности. Таким образом, предложенная в нашем исследовании фиксация вершины сформировавшегося лордоза дополнительными короткими стержнями обеспечивает минимальное снижение устойчивости основных стержней к нагрузкам за счет отсутствия необходимости в их выраженной угловой деформации на уровне остеотомии. В то же время, дополнительные стержни снижают степень подвижности конструкции в области остеотомии во всех плоскостях. По сравнению с традиционной двухстержневой техникой,

конструкция из 4 стержней также упрощает процесс смыкания зоны дефекта, сформированного вследствие остеотомии, и увеличивает степень контроля над этим процессом. Основные стержни, которые охватывают всю длину фиксации, могут быть установлены без необходимости в применении временных стержней, которые зачастую усложняют коррекцию деформации в обеих плоскостях.

Так как в отделении патологии позвоночника НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова с самого начала применения методики PSO использовались четырехстержневые металлоконструкции, всем пациентам в представленном исследовании проводилась дорсальная коррекция и стабилизация позвоночника с четырехстержневой фиксацией зоны остеотомии (Рисунок 4.8).



Рисунок 4.8 – Рентгенограммы в прямой и боковой проекциях. Пациентка 64 лет с дегенеративным поясничным сколиозом и нарушением сагиттального баланса. Пациентке выполнена PSO на уровне L3 с четырехстержневой фиксацией. На рентгенограммах через 2 года после операции визуализируется характерная клиновидная форма тела позвонка и признаки полноценного костного сращения на уровне остеотомии.

Во всех случаях применялись титановые стержни диаметром 6 мм и 5,5 мм. Технически, субтракционная педикулярная остеотомия выполнялась по описанной ранее методике. Однако, на этапе смыкания сформировавшегося дефекта, вначале устанавливались короткие стержни, охватывающие только зону остеотомии и смежные сегменты с постепенной попеременной их контракцией. На заключительном этапе, в оставшиеся винты устанавливались длинные стержни, после чего, при необходимости, выполнялась дополнительная контракция головок винтов и окончательная фиксация гайками. В качестве материала для костной пластики во всех случаях применялся локальный костный аутотрансплантат. В работе проводилась подробная оценка осложнений в раннем и отдаленном послеоперационных периодах. Наличие или отсутствие костного сращения и целостность металлоконструкции оценивались по рентгенограммам или по данным КТ, в случае неоднозначных данных рентгенографии.

При технических сложностях в момент установки основных стержней в зоне остеотомии, уже фиксированной короткими стержнями, в отделении с хорошими результатами применялась методика перекрестной укладки стержней над областью PSO (Рисунок 4.9). Как показали результаты исследования, данный подход не уступает стандартной укладке стержней по стабильности и, в то же время, позволяет в случаях сложной анатомии позвоночника избежать применения коннекторов. Всего методика перекрестной фиксации была применена в 4 случаях. При этом, ни в одном из них в отдаленном периоде не наблюдалось признаков нестабильности металлоконструкции.

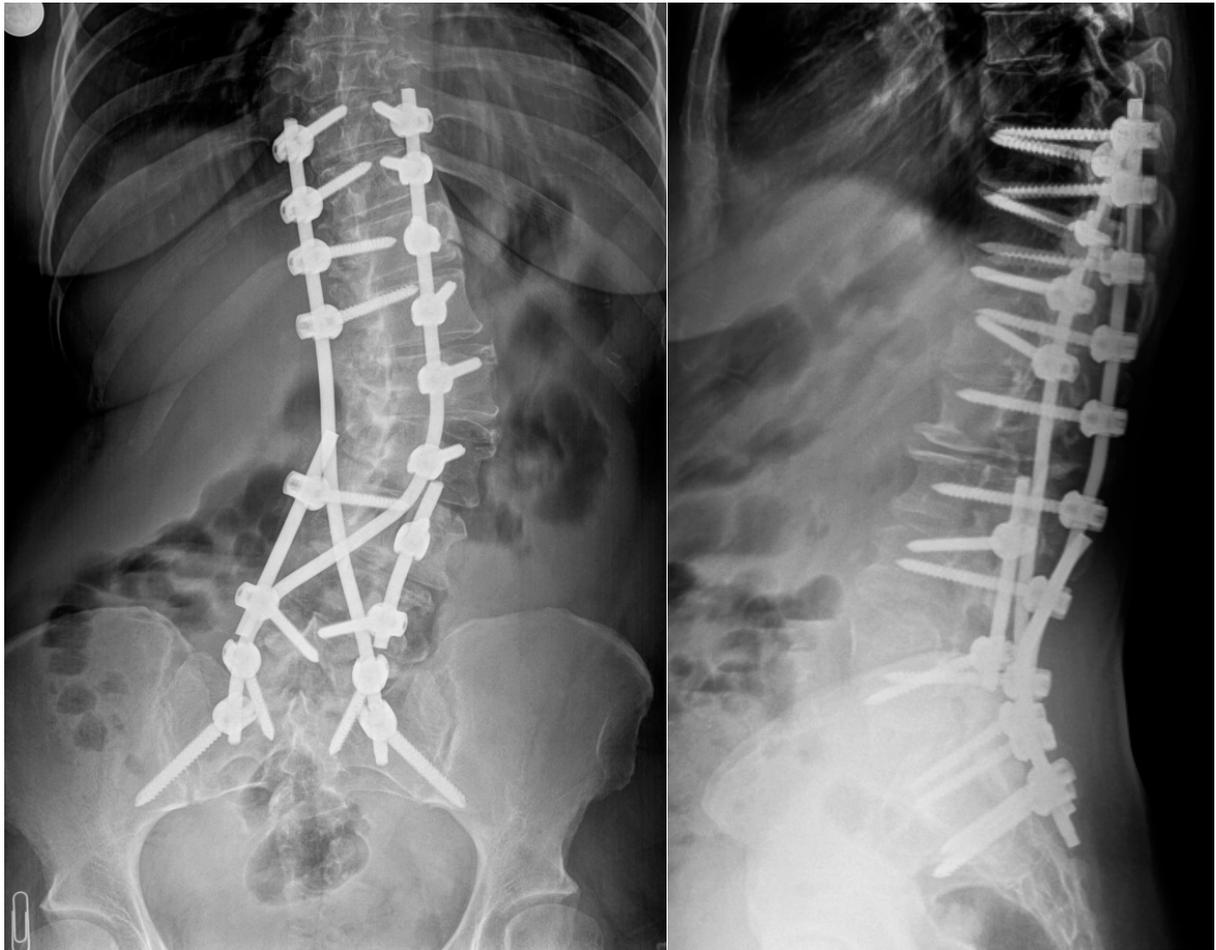


Рисунок 4.9 – Методика перекрестной четырехстержневой фиксации зоны PSO.

Переломов стержней в зоне остеотомии и на уровне смежных сегментов не было выявлено ни у одного из 53 пациентов. Переломы стержней другой локализации (на вершине фронтальной деформации и на уровне L5-S1) наблюдались у 5 пациентов. Переломы стержней возникали в течение первых 6 месяцев у трех пациентов и через 1 год и 1,5 года у двух других пациентов.

Резюме

Наш опыт фиксации четырьмя независимыми стержнями позволяет констатировать высокую эффективность данного подхода в качестве метода профилактики переломов стержней – наиболее распространенном осложнении при выполнении PSO по данным литературы. Снижение частоты переломов

стержней может избавить пациентов от необходимости в дополнительной операции и дает возможность существенной экономии средств за счет уменьшения частоты ревизионных вмешательств и улучшения результатов лечения.

ГЛАВА 5

БЛИЖАЙШИЕ И ОТДАЛЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПЕДИКУЛЯРНОЙ СУБТРАКЦИОННОЙ ОСТЕОТОМИИ У ПЕРВИЧНЫХ ПАЦИЕНТОВ И ПРИ РЕВИЗИОННЫХ ВМЕШАТЕЛЬСТВАХ

5.1 Результаты первичного хирургического лечения пациентов с нарушением сагиттального баланса (Группа I)

В первой группе (Группа I) первичное хирургическое лечение с применением PSO проводилось 24 пациентам с нарушением сагиттального баланса и показаниями к выполнению корригирующей остеотомии. Хирургическое лечение проводилось по поводу дегенеративных деформаций с нарушением сагиттального баланса позвоночника в 16 случаях, по поводу врожденных деформаций в 4 случаях, по поводу посттравматических деформаций в 2 случаях и по поводу болезни Бехтерева в 2 случаях.

Все пациенты предъявляли жалобы на выраженные боли в пояснице, которые не купировались вследствие консервативной терапии, быструю утомляемость в положении стоя и при ходьбе, нарушение осанки с наклоном туловища кпереди. Признаки очаговой корешковой симптоматики отмечалась у 9 из 24 пациентов (37,5%). Во всех случаях из медицинской документации были выписаны и проанализированы данные о денситометрических показателях (средняя МПК в группе II составила $0,824 \pm 0,123$ г/см², средний Т-критерий -2,9), индексе массы тела (средний ИМТ составил $25,4 \pm 7,9$), интраоперационных осложнениях, объеме кровопотери (средний объем кровопотери в группе II составил 1877 ± 1354), продолжительности операции (средняя продолжительность операции в группе II составила 412 ± 216), продолжительности послеоперационной госпитализации, повторных операциях, а также о характере оперативного вмешательства (протяженность фиксации, уровень остеотомии).

В отдаленном послеоперационном периоде проводилась оценка серьезных осложнений, сравнение показателей качества жизни пациентов согласно результатам опросников ODI, SRS-22, ВАШ до операции и в отдаленном послеоперационном периоде. Показатели болевого синдрома и качества жизни до операции и в отдаленном послеоперационном периоде представлены в таблице 5.1 и Рисунок 5.1. В подавляющем большинстве случаев, при первичном хирургическом лечении с применением PSO удалось достичь значительного улучшения качества жизни в отдаленном послеоперационном периоде.

Таблица 5.1

Динамика изменения показателей качества жизни и болевого синдрома в

	До операции	Через 3 мес	Через 6 мес	Через 1 год	Через 2 года	отдаленно м периоде (Группа I)
ВАШ	5,7±2,9	3,1±1,1	2,4±0,8	2,3±1,0	2,6±1,5	
ODI	53,6±29%	33,7±17%	31,2±14%	29,6±16%	28,2±19%	
SRS-22 общий балл	2,8±1,3	3,2±1,8	3,7±1,4	4,0±1,9	3,9±1,4	
Функция	2,9±1,2	3,1±1,5	3,5±1,7	4,1±1,3	3,8±1,8	
Боль	2,4±1,6	2,7±1,3	3,3±1,5	3,9±1,7	4,0±1,2	
Самовосприятие	2,9±1,2	3,4±1,5	3,9±1,3	3,8±1,3	3,6±1,4	
Психическое здоровье	2,7±1,0	3,2±1,3	3,8±1,5	4,1±1,2	3,9±1,5	
Удовлетворенность*	-	3,4±1,5	3,8±1,3	4,3±1,1	4,4±1,2	

* - показатели удовлетворенности не включались в общий балл SRS-22

Таблица 5.2

Сравнение средних показателей болевого синдрома (по ВАШ), трудоспособности (ODI) и качества жизни (SRS-22) до операции и через два года (Группа I).

	До операции	Через 2 года	P
ВАШ	5,7±2,9	2,6±1,5	<0,001*
ODI	53,6±29%	28,2±19,4%	<0,001*
SRS-22 общий балл	2,8±1,3	3,9±1,4	<0,001*

* - статистически значимые различия.

Таблица 5.2 отражает статистическую значимость улучшения показателей болевого синдрома и качества жизни в отдаленном периоде (2 года) в группе с первичной коррекцией сагиттального баланса.

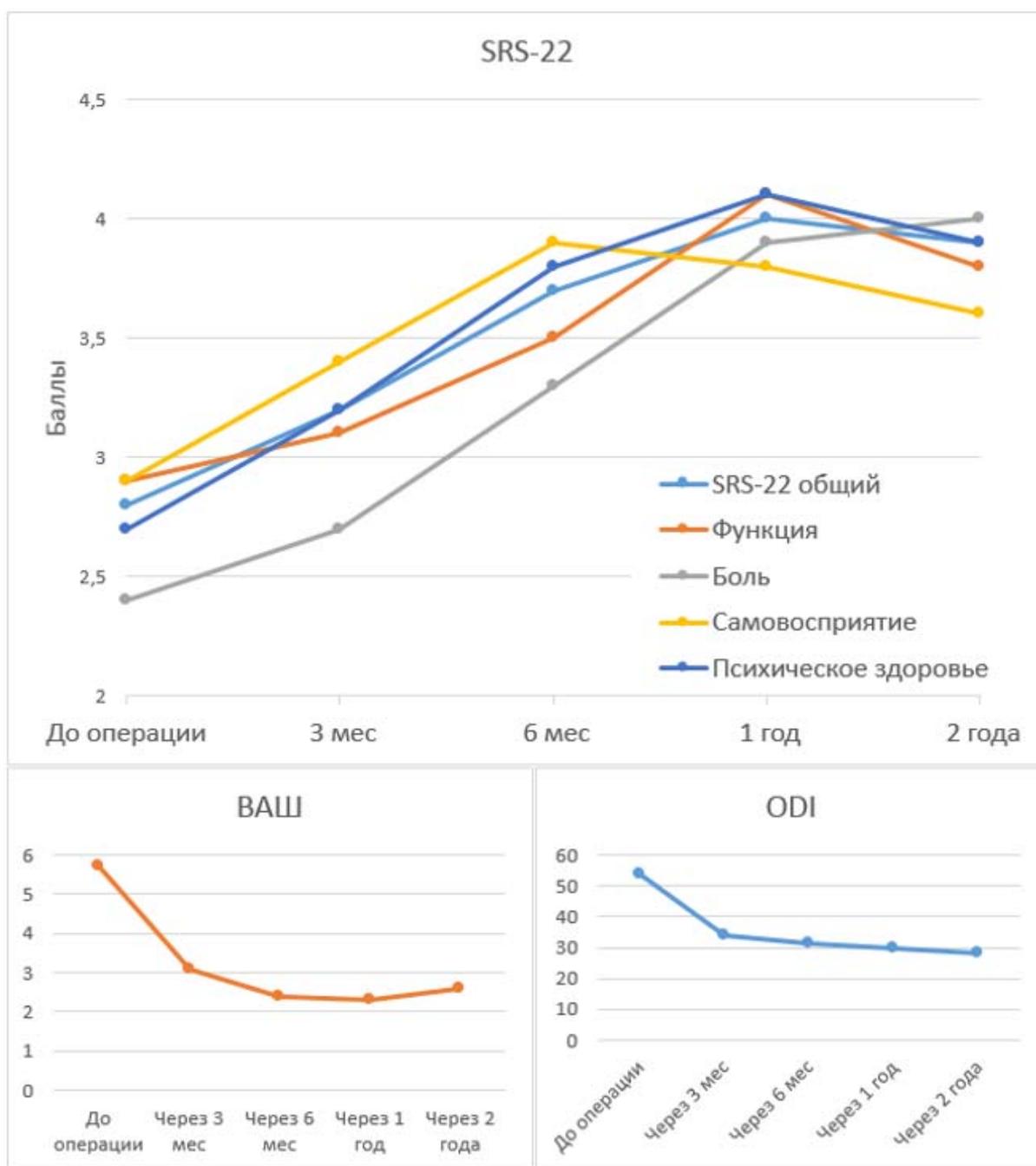


Рисунок 5.1 – Графическое отображение динамических изменений показателей качества жизни и болевого синдрома в группе I в раннем и отдаленном послеоперационных периодах. К 6 месяцу после операции наблюдалось стойкое улучшение всех показателей качества жизни SRS-22 (в среднем на 39%) с последующим незначительным снижением (кроме болевого синдрома) показателей ко 2-му году наблюдения ($P < 0,001$). Такая же динамика наблюдалась и в отношении болевого синдрома по ВАШ и трудоспособности (ODI), с улучшением соответственно на 52,6% и 45,6% ко 2-му году наблюдения. Наиболее выраженное улучшение прослеживалось в первые 6 месяцев с незначительными изменениями в дальнейшем.

Всем пациентам были выполнены постуральные рентгенограммы в двух проекциях до операции и в отдаленном послеоперационном периоде, проводился ретроспективный и проспективный анализ рентгенологических данных. В целях объективизации данных, измерения и анализ рентгенологических параметров позвоночника проводились вручную и при помощи программного обеспечения Surgimap.

В целях коррекции сагиттального баланса позвоночника, всем пациентам выполнялась педикулярная субтракционная остеотомия на одном уровне. В группе I наиболее часто PSO выполнялась на уровне L3 – у 14 пациентов (58,3%), на уровне L2 – у 7 пациентов (29,1%), на уровне L4 – у 2 пациентов, на уровне L1 – у 1 пациента. Средняя протяженность фиксации составила $10,4 \pm 1,9$. Результаты оценки параметров сагиттального баланса и позвоночно-тазового соотношения до операции и в отдаленном послеоперационном периоде (через 3, 6, 12, 24 месяца после операции) представлены в таблице 5.3 и рисунках 5.2–5.6. В отдаленном периоде наблюдалось статистически значимое улучшение всех параметров (Таблица 5.4).

Таблица 5.3

Средние показатели параметров сагиттального баланса и позвоночно-тазовых параметров до операции и в отдаленном периоде (Группа I)

<i>Рентгенологические параметры</i>	<i>До операции</i>	<i>Через 3 мес</i>	<i>Через 6 мес</i>	<i>Через 1 год</i>	<i>Через 2 года</i>
<i>Сегментарная коррекция (°)</i>	-	28,5±7,9	28,7±8,5	28,5±9,2	28,3±7,6
<i>Грудной кифоз (°)</i>	35,9±17,2	41,3±12,1	43,1±19,3	43,5±18,7	44,2±16,5
<i>Поясничный лордоз (°)</i>	25,1±12,3	56,4±18,6	56,2±22,9	56,0±19,4	56,1±21,2
<i>СВО (см)</i>	14,5±5,5	3,5±1,4	3,9±1,8	4,1±2,7	4,9±3,2
<i>PT (°)</i>	37,3±18,3	23,2±12,8	25,1±15,2	24,9±14,5	25,8±11,3
<i>PI-LL (°)</i>	39,7±20,1	13,1±7,3	12,8±5,7	12,6±4,9	12,5±7,8

Таблица 5.4

Сравнение средних показателей параметров сагиттального баланса и позвоночно-тазовых параметров до операции и в отдаленном периоде (Группа I)

Рентгенологические параметры	До операции	Через 2 года	P
Грудной кифоз (°)	35,9±10,7	44,2±16,0	0,001*
Поясничный лордоз (°)	25,1±12,3	56,1±21,2	0,001*
СВО (см)	14,5±5,5	4,9±3,2	0,001*
PT (°)	37,3±18,3	25,8±11,3	0,001*
PI-LL (°)	39,7±20,1	12,5±7,8	0,001*

* - статистически значимые различия.

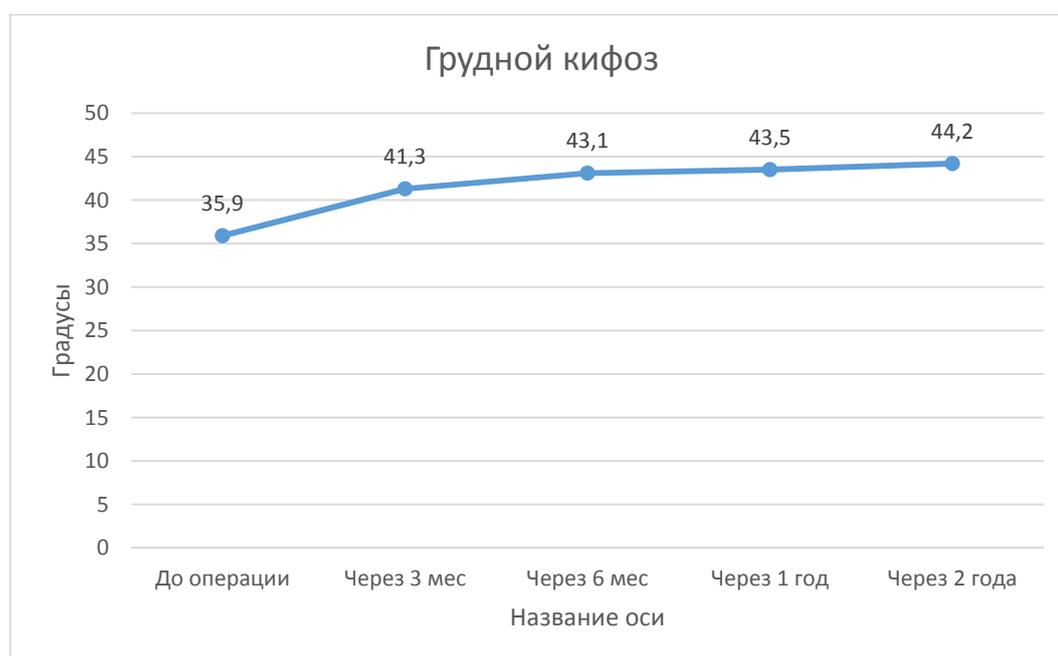


Рисунок 5.2 – Графическое отображение динамических изменений показателей грудного кифоза в группе I в раннем и отдаленном послеоперационных периодах. Через 3 месяца после операции отмечалось среднее увеличение грудного кифоза на 15% ($p < 0,05$) с постепенным дополнительным увеличением еще на 8,2% ко 2-му году наблюдения.

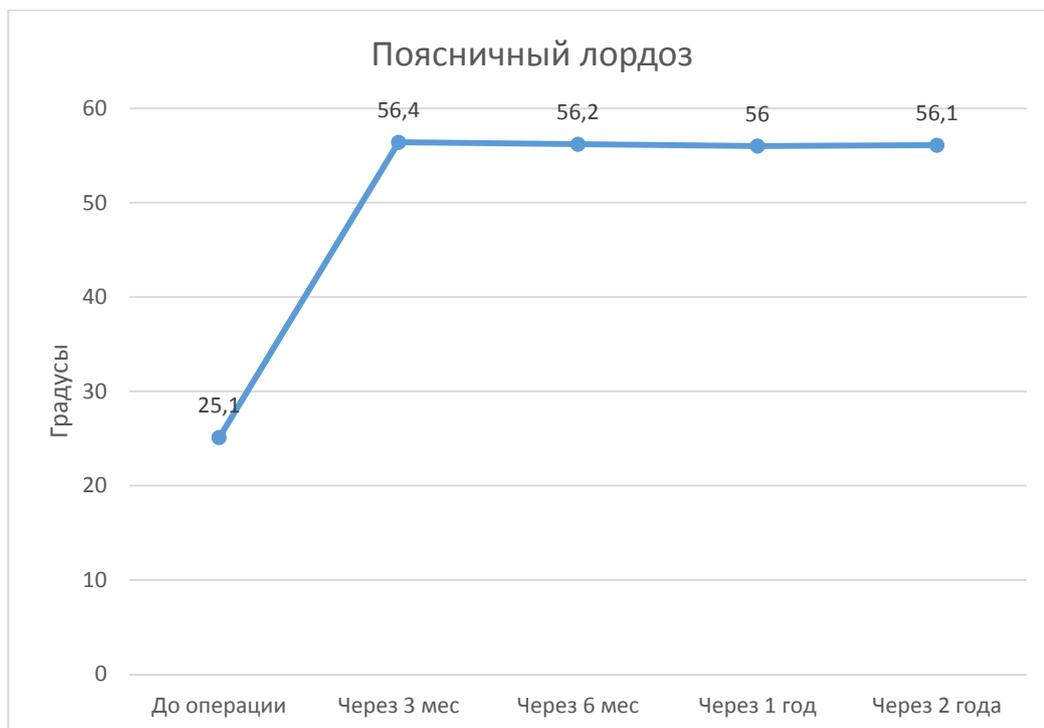


Рисунок 5.3 – Графическое отображение динамических изменений показателей поясничного лордоза в группе I в раннем и отдаленном послеоперационных периодах. Сразу после операции и при первом контрольном осмотре через 3 месяца после операции отмечалось значительное увеличение поясничного лордоза в среднем в 2,25 раза ($p < 0,001$). В последующем данный показатель значительно не менялся.

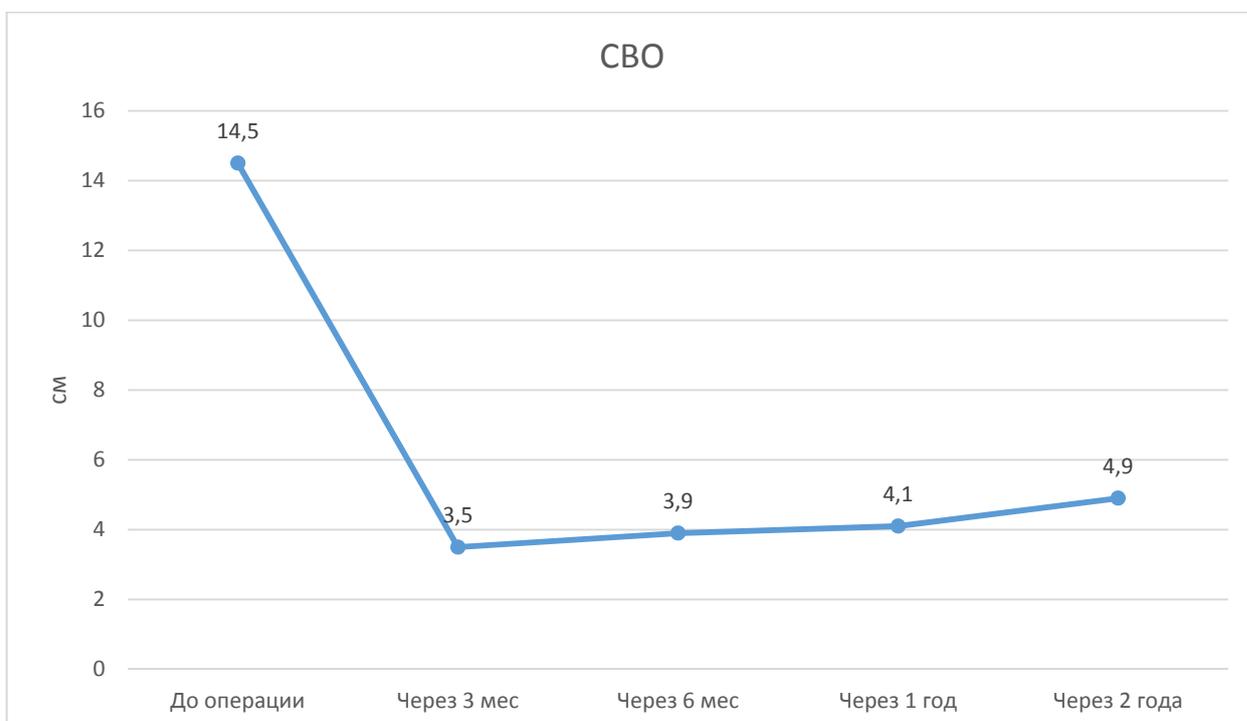


Рисунок 5.4 – Графическое отображение динамических изменений показателей СВО в группе I в раннем и отдаленном послеоперационных периодах. Сразу после операции и при первом контрольном осмотре через 3 месяца после операции отмечалось значительное снижение средних показателей СВО в 4,14 раза ($p < 0,001$) с последующей незначительной потерей коррекции ко 2-му году наблюдения.

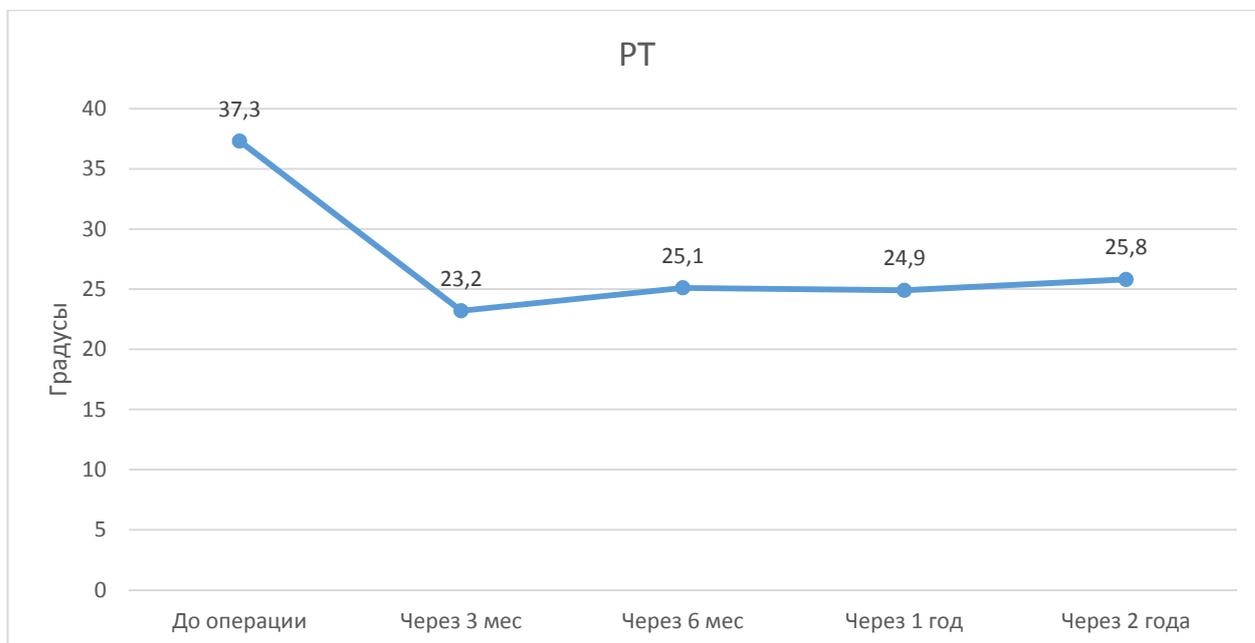


Рисунок 5.5 – Графическое отображение динамических изменений показателей РТ в группе I в раннем и отдаленном послеоперационных периодах. При первом контрольном осмотре через 3 месяца после операции отмечалось значительное снижение средних показателей РТ 37,8% ($p < 0,001$) с последующим незначительным увеличением ко 2-му году наблюдения.

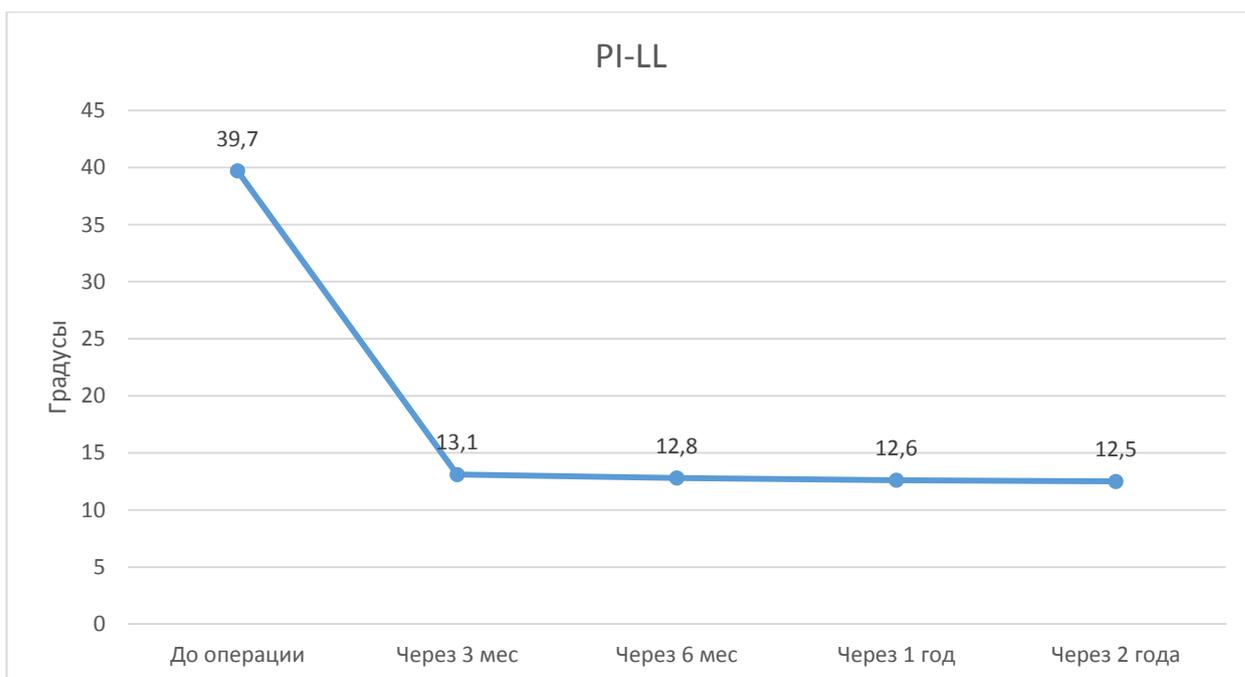


Рисунок 5.6 – Графическое отображение динамических изменений показателей PI-LL в группе I в раннем и отдаленном послеоперационных периодах. Сразу после операции и при первом контрольном осмотре через 3 месяца после операции отмечалось значительное снижение средних показателей несоответствия PI-LL на 68% ($p < 0,001$) с незначительным дополнительным снижением несоответствия ко 2-му году наблюдения.

В раннем послеоперационном периоде пациенты активизировались в среднем через 2,4 суток после операции. В первые сутки активизации пациентам назначалась дозированная ходьба с ходунками, с ежедневным увеличением физической активности, пациенты обучались поддержанию правильной осанки. Всем пациентам в раннем послеоперационном периоде и до первого контрольного осмотра через три месяца после операции, назначались высокие груднопоясничные корсеты повышенной жесткости в целях дополнительной внешней стабилизации и обеспечения наилучших условий для костного сращения.

Средняя продолжительность госпитализации в группе с первичными операциями составила $12,6 \pm 5,8$ дней. В течение раннего послеоперационного периода пациенты проходили реабилитационные мероприятия, обучение комплексу упражнений ЛФК. При контрольном осмотре через три месяца после

операции пациентам рекомендовалось прохождение реабилитационного лечения в специализированных центрах.

Клинический пример №1

Пациентка К., 76 лет. И/Б № Н2017-549, обратилась в ЦИТО в январе 2017 г. с жалобами на деформацию, сильные боли в пояснице (до 8 баллов по ВАШ), нарушение походки с наклоном вперед, быструю утомляемость, нарастающую слабость в нижних конечностях.

В молодом возрасте обратила внимание на деформацию в поясничном отделе позвоночника. Боли в пояснице беспокоили в течение длительного времени. За год до поступления болевой синдром усилился, со временем начала прогрессировать слабость в нижних конечностях. Консервативная терапия без положительного эффекта.

При осмотре у пациентки выявлено нарушение сагиттального баланса позвоночника. При ходьбе отмечался выраженный наклон туловища кпереди, пациентка передвигалась с помощью трости. При мануальном давлении на область вершины деформации в положении пациентки лежа на животе отмечалась минимальная коррекция кифоза. При анализе постуральных рентгенограмм, отклонение СВО составило +20 см, несоответствие PI-LL – 46°, PT – 29°, LL - 9° (Рисунок 5.7 А). Рентгенологически отмечался сглаженный лордоз, выраженное нарушение глобального сагиттального баланса и несоответствие PI и LL. В ходе предоперационного планирования, при помощи ПО Surgimap была проведена симуляционная остеотомия L3 позвонка (Рисунок 5.7 В). Для достижения параметров PI-LL в пределах 10°, снижения СВО до значений менее 50 мм требовалось 35° сегментарной коррекции за счет PSO.

По данным денситометрии, T-критерий в области проксимальных отделов бедренных костей составил -2.8. С применением нейромониторинга было выполнено оперативное вмешательство: Дорсальная коррекция, фиксация

грудопоясничного отдела позвоночника. PSO на уровне L3. Декомпрессия невральных структур на уровне L4-S1. Нуклеопластика костным цементом на уровне L5-S1. Задний спондилодез аутокостью. В результате операции удалось достичь 29° сегментарной коррекции на уровне L3, следующих параметров сагиттального баланса: CBO – 55 мм, PT - 22°, LL – 29°, PI-LL – 8° (Рис 5.8, 5.9, 5.10). Пациентка активизирована в грудопоясничном корсете на 4-е сутки, выписана на 14-е сутки после операции. После операции пациентке проводилась терапия остеопороза, курсы реабилитационного лечения. При контрольном осмотре через 2 года после операции пациентка отмечала значительное улучшение качества жизни (общий балл SRS-22 – 4,1, по сравнению с 2,4 до операции), отсутствие болевого синдрома (1 балл по ВАШ). Пациентка передвигается без средств дополнительной опоры.

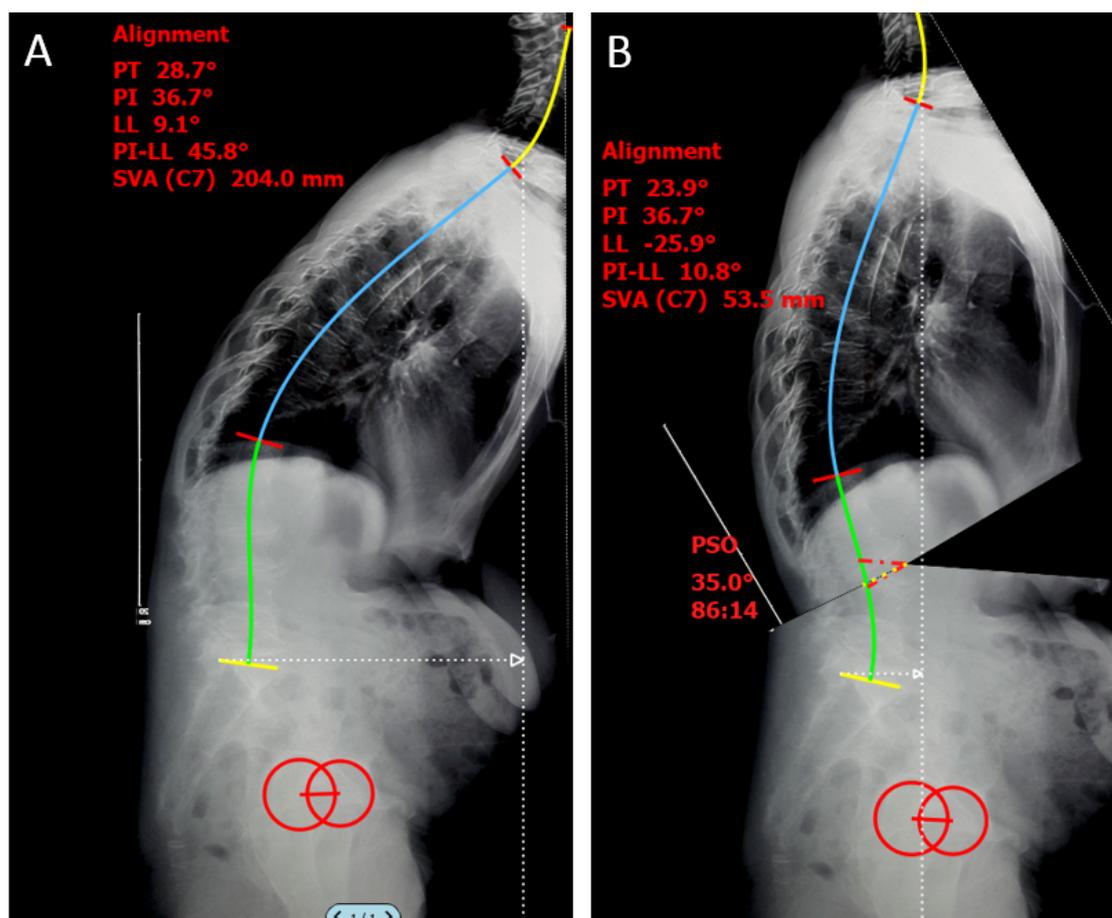


Рисунок 5.7 – А – Постуральная рентгенограмма в боковой проекции с расчетом параметров сагиттального баланса позвоночника при помощи ПО Surgimap. Определяется выраженный сагиттальный дисбаланс. В – Компьютерная

симуляция PSO на уровне L3 при помощи ПО Surgimap. При сегментарной коррекции на данном уровне в 35° , показатели сагиттального баланса приближаются к норме.

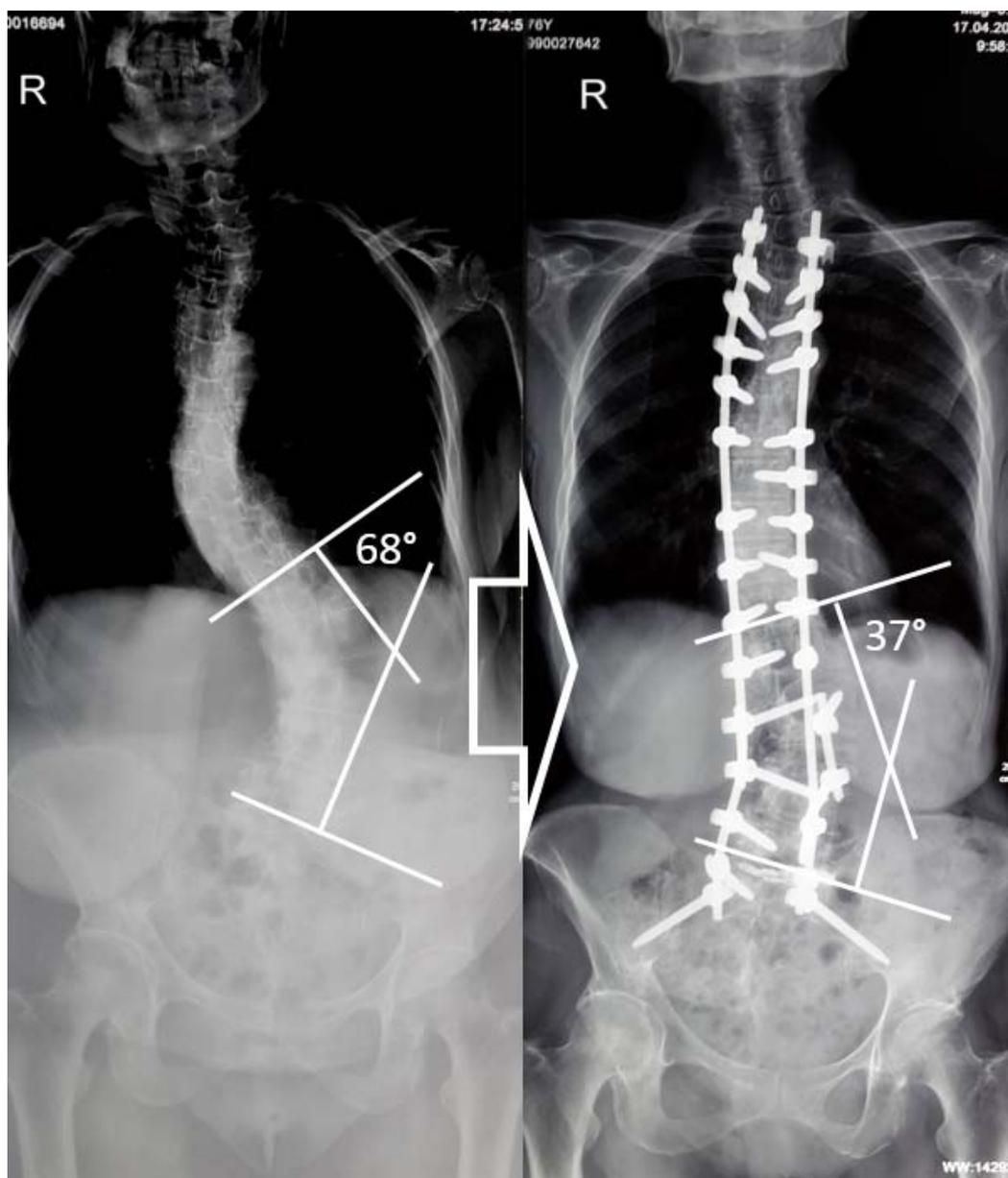


Рисунок 5.8 – Постуральные рентгенограммы в прямой проекции до и после операции. Отмечается 45% коррекция поясничной дуги деформации, восстановление фронтального баланса позвоночника.

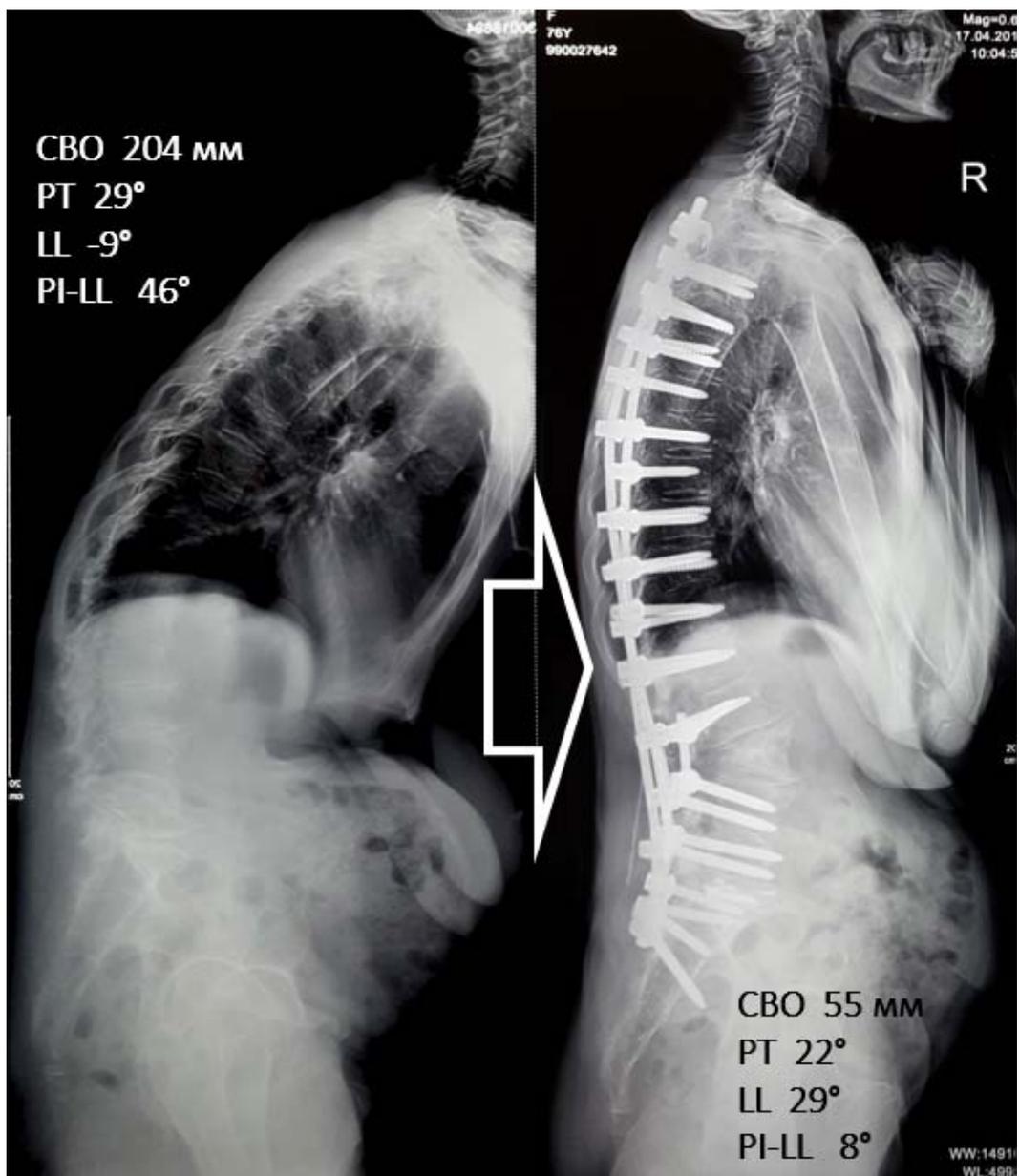


Рисунок 5.9 – Постуральные рентгенограммы в боковой проекции до и через 2 года после операции. Рентгенологические показатели до и после операции указаны в левом верхнем и в правом нижнем углах рисунка соответственно. В зоне остеотомии отмечается полноценное костное сращение.



Рисунок 5.10 – Внешний вид пациентки со спины и сбоку до и после операции. Как на рентгенограммах, так и на фотографиях, после операции с применением PSO отмечается значительная коррекция сагиттального и фронтального балансов позвоночника.

Клинический пример №2

Пациентка Б., 42 года. И/Б № Н2016-313, обратилась в НМИЦ ТО в январе 2016 г. с жалобами на нарастающие боли в спине (до 7 баллов по ВАШ), больше в грудопоясничном отделе позвоночника, боли в плечевых суставах, прогрессирующее нарушение осанки с наклоном вперед. Пациентка также отмечала выраженное ограничение движений в позвоночнике, скованность движений в суставах и спине при ходьбе и наклонах вперед, значительное ограничение уровня горизонтального взора (пациентка не могла смотреть прямо вперед).

Считала себя больной с 18 лет. Постепенно прогрессировали боли в грудном и шейном отделах позвоночника. В 1993 г. на основании жалоб, результатов обследования (двусторонний сакроилеит 3 ст.) был поставлен диагноз болезнь Бехтерева. В 2002 г. пациентка перенесла первичное тотальное эндопротезирование правого тазобедренного сустава, в 2003 г. первичное тотальное эндопротезирование левого тазобедренного сустава. К 2004 г. стойкие функциональные нарушения со стороны всех отделов позвоночника, «поза просителя». В течение последних лет пациентка отмечала значительное прогрессирование вышеуказанных симптомов.

По данным лучевых методов обследования, выявлены признаки анкилоза на всем протяжении позвоночного столба, ригидности кифотической деформации. При анализе постуральных рентгенограмм, отклонение СВО составило +19 см, несоответствие PI-LL – 53,5°, PT – 43°, LL составил -1° (Рисунок 5.11 А). Рентгенологически определялась кифотизация поясничного отдела позвоночника, выраженное нарушение глобального сагиттального баланса и несоответствие PI и LL. Также отмечалась компенсация дисбаланса за счет выраженного сгибания в суставах нижних конечностей. В ходе предоперационного планирования, при помощи ПО Surgimar была проведена симуляционная остеотомия L2 позвонка (Рисунок 5.11 В). Для достижения параметров PI-LL в пределах 10°, снижения СВО до значений менее 50 мм требовалось 40° сегментарной коррекции за счет PSO.

С применением нейромониторинга было выполнено оперативное вмешательство: Дорсальная коррекция, фиксация груднопоясничного отдела позвоночника. Расширенная PSO на уровне L2. Задний спондилодез аутокостью. Применение расширенной PSO обеспечило выраженную коррекцию глобального баланса (СВО на 171 мм, PT на 10°, LL на 42°) с восстановлением горизонтального уровня взора и устранение компенсаторного сгибания в суставах нижних конечностей (Рис 5.12, 5.13, 5.14). Пациентка активизирована в груднопоясничном корсете на 3-е сутки, выписана на 12-е сутки после операции.

При контрольном осмотре через 3 года после операции пациентка отмечала значительное улучшение качества жизни (общий балл SRS-22 – 3,9, по сравнению с 2,1 до операции), снижение усталости при длительной ходьбе, выраженное снижение болевого синдрома (до 3-х баллов по ВАШ), восстановление полноценного горизонтального уровня взора. Через год после операции пациентка активно путешествовала.

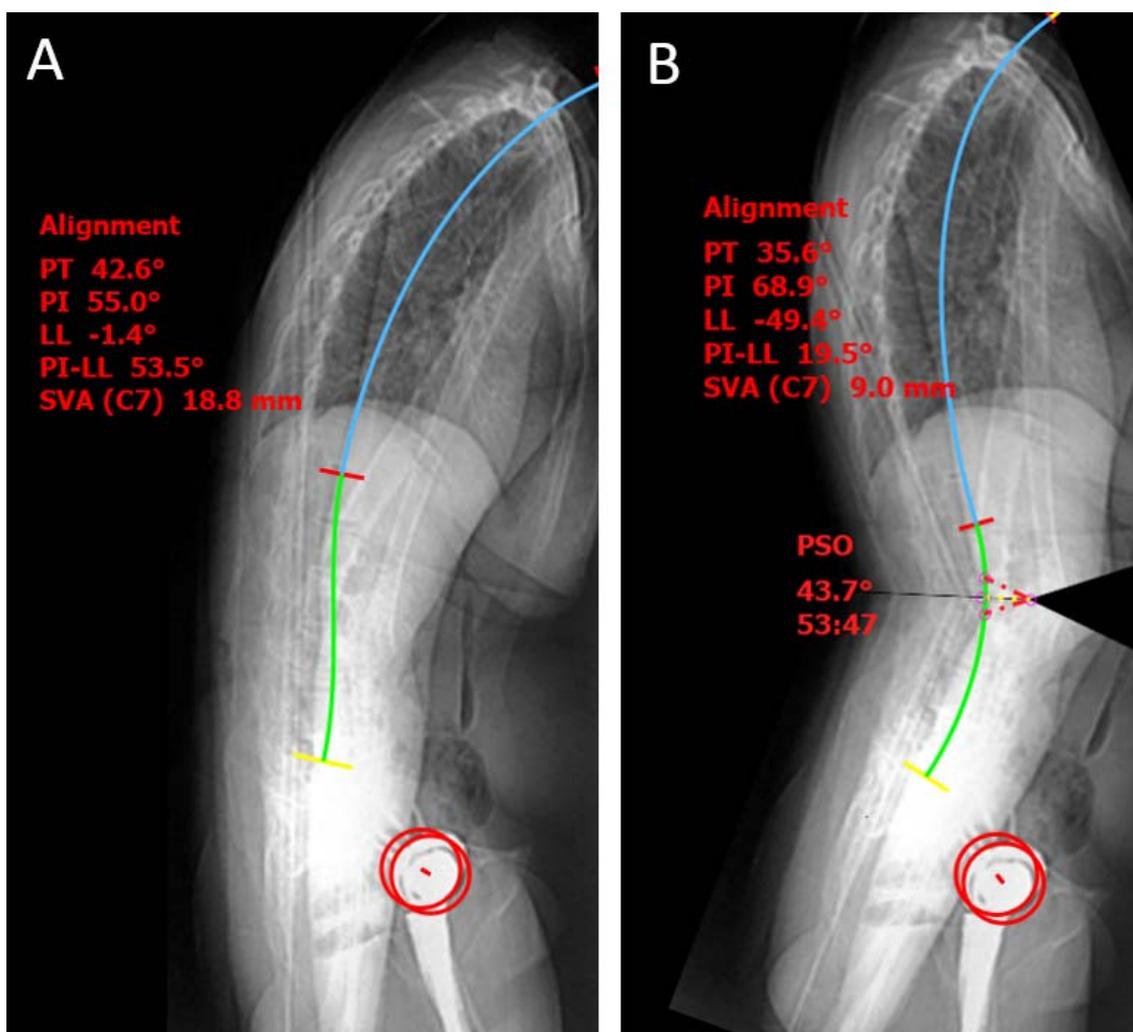


Рисунок 5.11 А – Постуральная рентгенограмма в боковой проекции с расчетом параметров сагиттального баланса позвоночника при помощи ПО Surgimap. Определяется выраженный сагиттальный дисбаланс с отсутствием поясничного лордоза (NB компенсаторное сгибание в тазобедренных суставах). В – Компьютерная симуляция PSO на уровне L2 при помощи ПО Surgimap. При сегментарной коррекции на данном уровне в 40°, показатели сагиттального баланса приближаются к норме.



Рисунок 5.12 – Постуральные рентгенограммы в прямой проекции до и после операции. В связи с анкилозирующими изменениями позвоночного столба, протяженность конструкции ограничилась 6 уровнями.

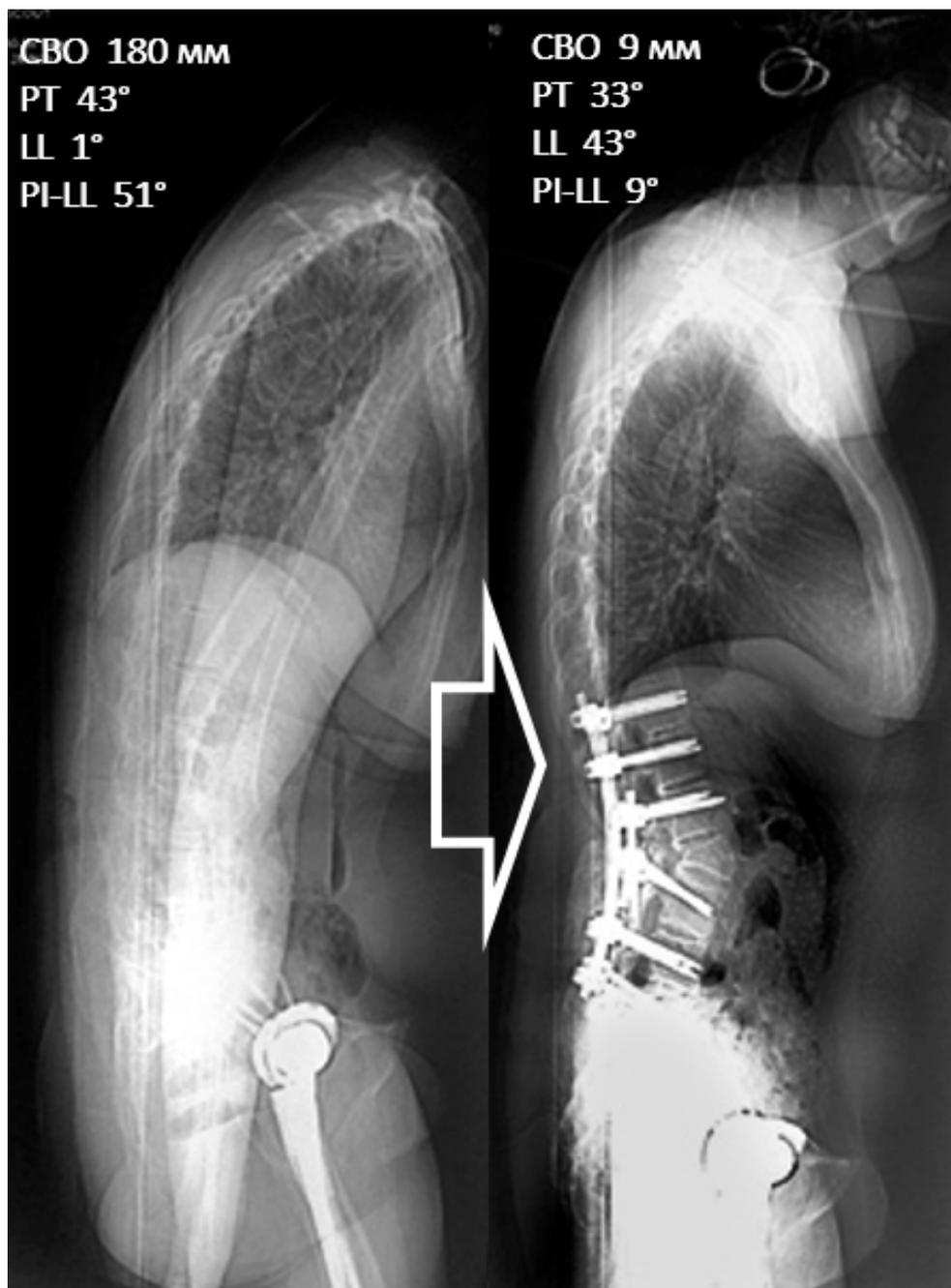


Рисунок 5.13 – Постуральные рентгенограммы в боковой проекции до и через 2 года после операции. Рентгенологические показатели до и после операции указаны на соответствующих рентгенограммах. Отмечаются значения рентгенологических параметров сагиттального баланса близкие к норме (LL-43°, PI-LL-9°, PT-33°, СВО-9мм), отсутствие компенсаторного сгибания в тазобедренных суставах.



Рисунок 5.14 – Внешний вид пациентки со спины и сбоку до и после операции. Как на рентгенограммах, так и на фотографиях, после операции с применением PSO отмечается значительная коррекция сагиттального баланса позвоночника, восстановление горизонтального уровня взора.

5.2 Результаты ревизионного хирургического лечения пациентов с нарушением сагиттального баланса (Группа II)

Вторая группа (Группа II) включала 29 пациентов с ригидными деформациями позвоночника и нарушением сагиттального баланса, которым ранее проводилось хирургическое лечение на позвоночнике. Во всех случаях в анамнезе имела место транспедикулярная фиксация и/или декомпрессия невральных структур. Среднее число предшествующих оперативных вмешательств в группе составило 1,7 (1-4). Стабилизация металлоконструкцией имела место у 20 из 29 пациентов, при этом средняя протяженность фиксации на момент поступления составляла $6,1 \pm 3,7$ уровней. Первоначальное хирургическое лечение проводилось по поводу остеохондроза/стеноза позвоночного канала в 22

случаях, по поводу врожденной деформации в 3 случаях, по поводу переломов позвонков в 3 случаях и по поводу болезни Бехтерева в 1 случае.

Как и в первой группе, все пациенты предъявляли жалобы на выраженные боли в пояснице, которые не купировались по прошествии как минимум 6 месяцев консервативной терапии, быструю утомляемость в положении стоя и при ходьбе, нарушение осанки с наклоном туловища кпереди. Признаки очаговой корешковой симптоматики отмечалась у 12 из 29 пациентов (41%). Во всех случаях из медицинской документации были выписаны и проанализированы данные о денситометрических показателях (средняя МПК в группе II составила $0,789 \pm 0,107$ г/см², средний Т-критерий -2,7), индексе массы тела (средний ИМТ составил $26,3 \pm 5,7$), интраоперационных осложнениях, объеме кровопотери (средний объем кровопотери в группе II составил 2581 ± 2086), продолжительности операции (средняя продолжительность операции в группе II составила 398 ± 197), продолжительности послеоперационной госпитализации, повторных операциях, а также о характере оперативного вмешательства (протяженность фиксации, уровень остеотомии).

В отдаленном послеоперационном периоде проводилась оценка серьезных осложнений (повлиявших на исход оперативного лечения), включая инфекционные и неврологические осложнения, нестабильность металлоконструкции, псевдоартроз, PJK/DJK (proximal/distal junctional kyphosis – кифоз проксимальной/дистальной переходных зон). Также проводилось сравнение показателей качества жизни пациентов согласно результатам опросников ODI (Oswestry Disability Index), SRS-22, ВАШ (визуальная аналоговая шкала) до операции и в отдаленном послеоперационном периоде. Средние показатели болевого синдрома по ВАШ в поясничном отделе, SRS-22 (общий балл) и ODI до операции и в отдаленном периоде представлены в таблице 5.5, 5.6 и рисунке 5.15. У подавляющего большинства пациентов удалось достичь существенного улучшения качества жизни в отдаленном послеоперационном периоде.

Таблица 5.5

Средние показатели параметров сагиттального баланса и позвоночно-тазовых параметров до операции и в отдаленном периоде (Группа II)

	До операции	Через 3 мес	Через 6 мес	Через 1 год	Через 2 года
ВАШ	6,5±2,4	3,8±1,9	3,0±1,3	2,8±1,1	2,9±1,3
ODI	60,9±34%	41,2±15%	42,3±17%	38,5±20%	39,8±28%
SRS-22 общий балл	2,1±1,1	2,7±1,2	2,6±1,7	3,1±1,8	3,2±1,3
Функция	2,0±1,3	2,6±1,4	2,8±,3	3,3±1,2	3,4±1,5
Боль	1,9±0,7	2,5±1,5	2,4±1,6	2,9±1,7	3,3±1,3
Самовосприятие	2,4±1,4	2,8±1,3	2,5±1,3	2,9±1,2	3,0±1,5
Психическое здоровье	1,8±0,8	3,1±1,3	2,9±1,5	3,2±1,3	3,1±1,9
Удовлетворенность*	-	3,6±1,6	3,7±1,4	3,9±1,7	3,9±1,8

* - показатели удовлетворенности не включались в общий балл SRS-22

Таблица 5.6

Сравнение средних показателей болевого синдрома по ВАШ и показателей трудоспособности (ODI) и качества жизни (SRS-22) до операции и через 2 года (Группа II)

	До операции	Через 2 года	P
ВАШ	6,5±2,4	2,9±1,3	<0,001*
ODI	60,9±34%	39,8±28,4%	<0,001*
SRS-22 общий балл	2,1±1,1	3,2±1,3	<0,001*

* - статистически значимые различия.

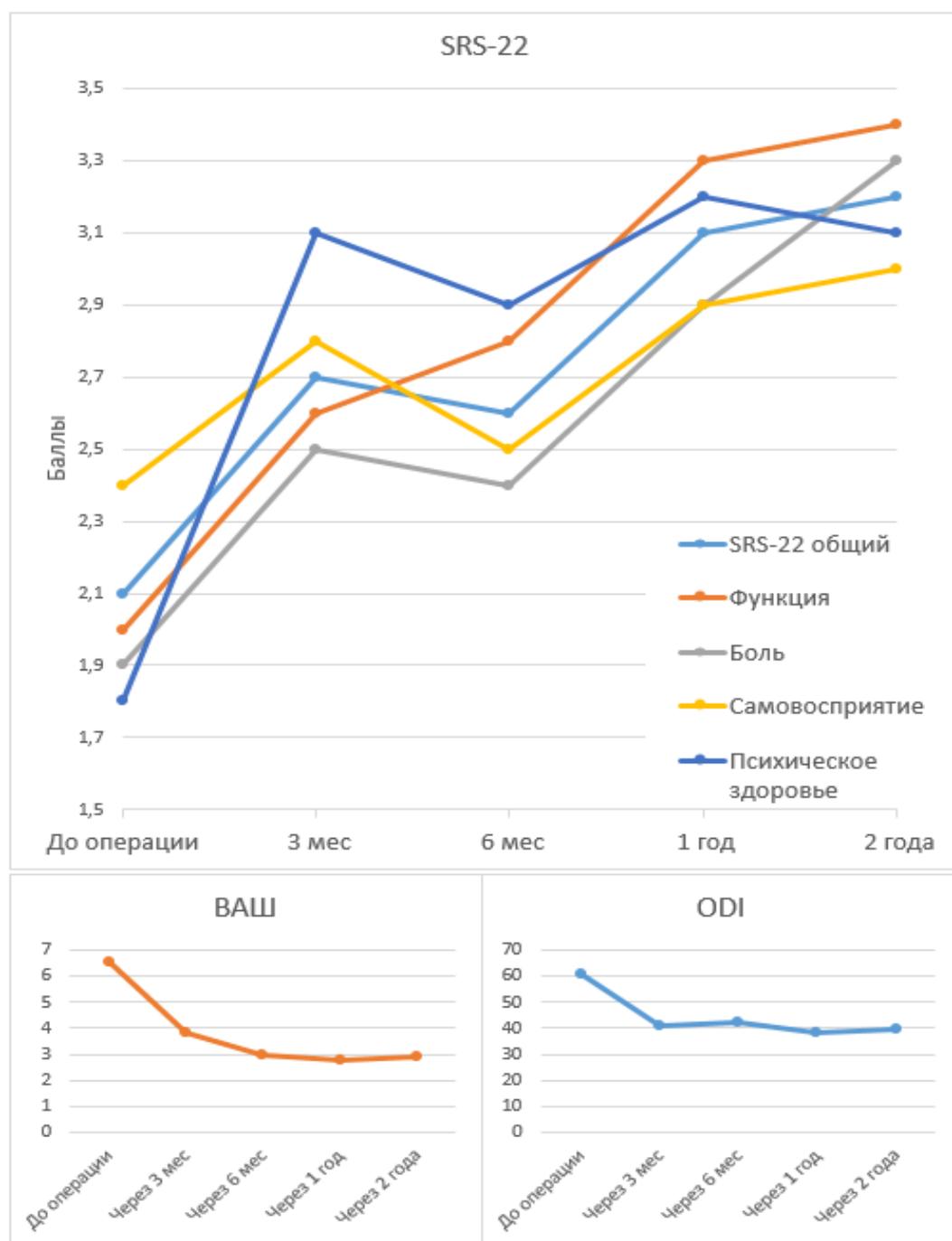


Рисунок 5.15 – Графическое отображение динамических изменений показателей качества жизни и болевого синдрома в группе II в раннем и отдаленном послеоперационных периодах. К 6 месяцу после операции наблюдалось стойкое улучшение всех показателей качества жизни SRS-22 (в среднем на 23,8%) с последующим значительным улучшением еще в среднем на 28,6% (кроме показателей психического здоровья) показателей ко 2-му году наблюдения ($P < 0,001$). Такая же динамика наблюдалась и в отношении болевого синдрома по ВАШ и трудоспособности (ODI), с улучшением соответственно на 55,4% и 34,5% ко 2-му году наблюдения. Наиболее выраженное улучшение прослеживалось в первые 3 месяца и через 1 год с незначительными изменениями в дальнейшем.

Всем пациентам были выполнены постуральные рентгенограммы в двух проекциях до операции и в отдаленном послеоперационном периоде, проводился ретроспективный и проспективный анализ рентгенологических данных. В целях объективизации данных, измерения и анализ рентгенологических параметров позвоночника проводились вручную и при помощи программного обеспечения Surgimap.

По данным рентгенологического исследования, нестабильность металлоконструкции при поступлении была выявлена у 13 из 29 пациентов (44,8%). В 5 случаях она была вызвана переломами стержней и/или винтов, в 8 случаях – резорбцией костной ткани вокруг элементов металлоконструкции. В 21 из 29 случаев деформация позвоночника имела двухплоскостной характер, в 8 случаях наблюдался исключительно сагиттальный дисбаланс.

В целях коррекции сагиттального баланса позвоночника, всем пациентам выполнялась педикулярная субтракционная остеотомия на одном уровне. Как и в первой группе, в группе II наиболее часто – в 14 случаях – PSO выполнялась на уровне L3 (48,3%), на уровне L2 – у 9 пациентов (31,1%), на уровне L4 – у 4 пациентов, на уровне L1 – у 2 пациентов. Средняя протяженность фиксации составила $11,9 \pm 3,8$ уровней в группе ревизионных вмешательств. Результаты оценки параметров сагиттального баланса и позвоночно-тазового соотношения до операции и в отдаленном послеоперационном периоде представлены в таблице 5.7, рисунках 5.16–5.20. В большинстве случаев применение PSO привело к значительному восстановлению параметров сагиттального баланса позвоночника, что напрямую коррелировало с улучшением показателей болевого синдрома и качества жизни. Данные различия были статистически значимыми (Таблица 5.8).

Таблица 5.7

Средние показатели параметров сагиттального баланса и позвоночно-тазовых параметров до операции и в отдаленном периоде (Группа II)

Рентгенологические параметры	До операции	Через 3 мес	Через 6 мес	Через 1 год	Через 2 года
Сегментарная коррекция (°)	-	27,1±9,1	26,7±7,5	26,5±8,8	26,6±8,3
Грудной кифоз (°)	30,8±11,3	37,1±10,3	38,7±12,4	38,9±11,1	39,5±13,6
Поясничный лордоз (°)	21,7±14,9	43,5±16,6	43,1±15,8	43,3±14,3	42,8±17,7
СВО (см)	13,3±6,5	5,3±2,2	6,0±3,9	6,4±3,6	7,1±5,2
РТ (°)	34,4±16,3	24,5±10,1	24,5±12,6	25,1±9,7	24,9±10,1
PI-LL (°)	36,8±18,4	15,3±6,4	16,1±8,1	15,8±8,9	15,7±11,5

Таблица 5.8

Сравнение средних показателей параметров сагиттального баланса и позвоночно-тазовых параметров до операции и через 2 года (Группа II)

Рентгенологические параметры	До операции	Через 2 года	P
Грудной кифоз (°)	30,8±11,3	39,5±13,6	0,001*
Поясничный лордоз (°)	21,7±14,9	42,8±17,7	0,001*
СВО (см)	13,3±6,5	7,1±5,2	0,001*
РТ (°)	34,4±16,3	24,9±10,1	0,001*
PI-LL (°)	36,8±18,4	15,7±11,5	0,001*

* - статистически значимые различия.



Рисунок 5.16 – Графическое отображение динамических изменений показателей грудного кифоза в группе II в раннем и отдаленном послеоперационных периодах. Через 3 месяца после операции отмечалось среднее увеличение грудного кифоза на 20,5% с постепенным дополнительным увеличением еще на 7,7% ко 2-му году наблюдения.

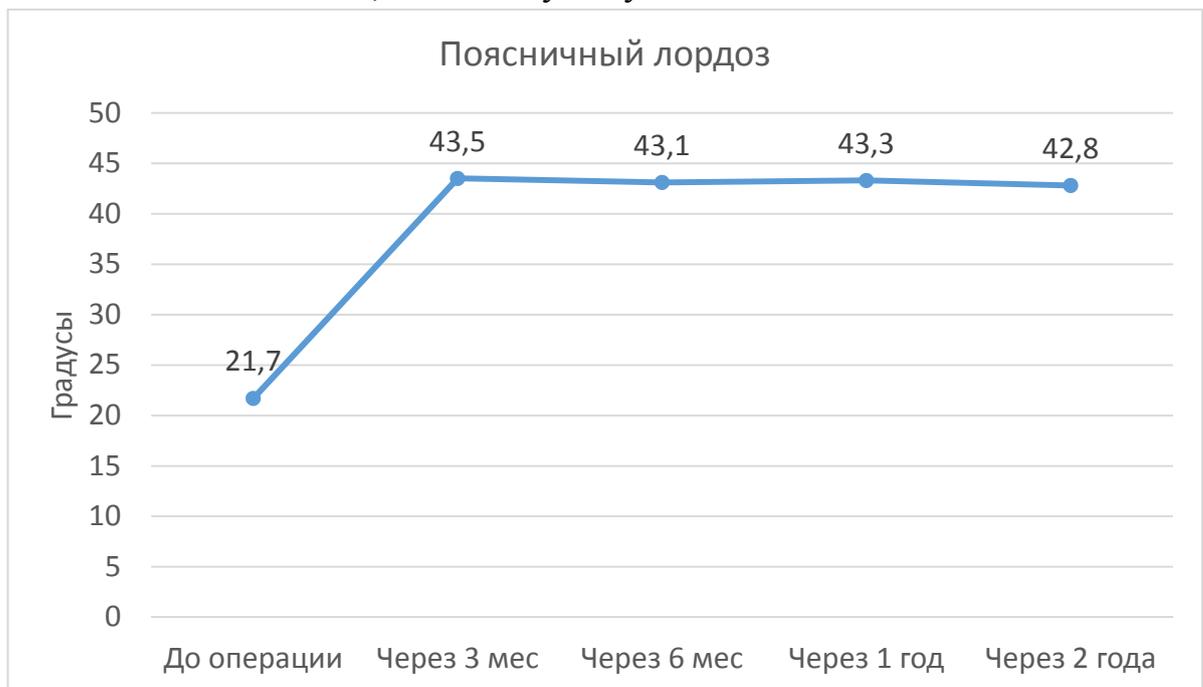


Рисунок 5.17 – Графическое отображение динамических изменений показателей поясничного лордоза в группе II в раннем и отдаленном послеоперационных периодах. Сразу после операции и при первом контрольном осмотре через 3 месяца после операции отмечалось значительное увеличение поясничного лордоза в среднем в 2 раза ($p < 0,001$) с последующим незначительным снижением данного показателя ко 2-му году наблюдения.

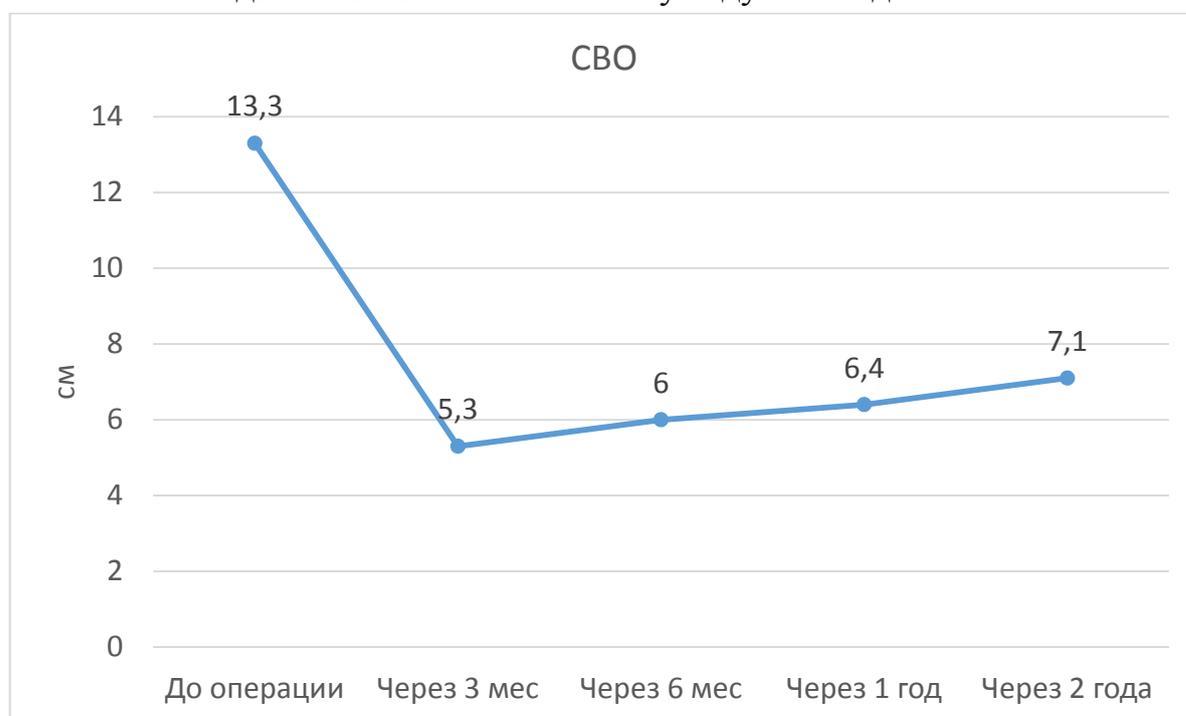


Рисунок 5.18 – Графическое отображение динамических изменений показателей СВО в группе II в раннем и отдаленном послеоперационных периодах. Сразу после операции и при первом контрольном осмотре через 3 месяца после операции отмечалось значительное снижение средних показателей СВО в 2,5 раза ($p < 0,001$) с последующим незначительным снижением данного показателя ко 2-му году наблюдения.

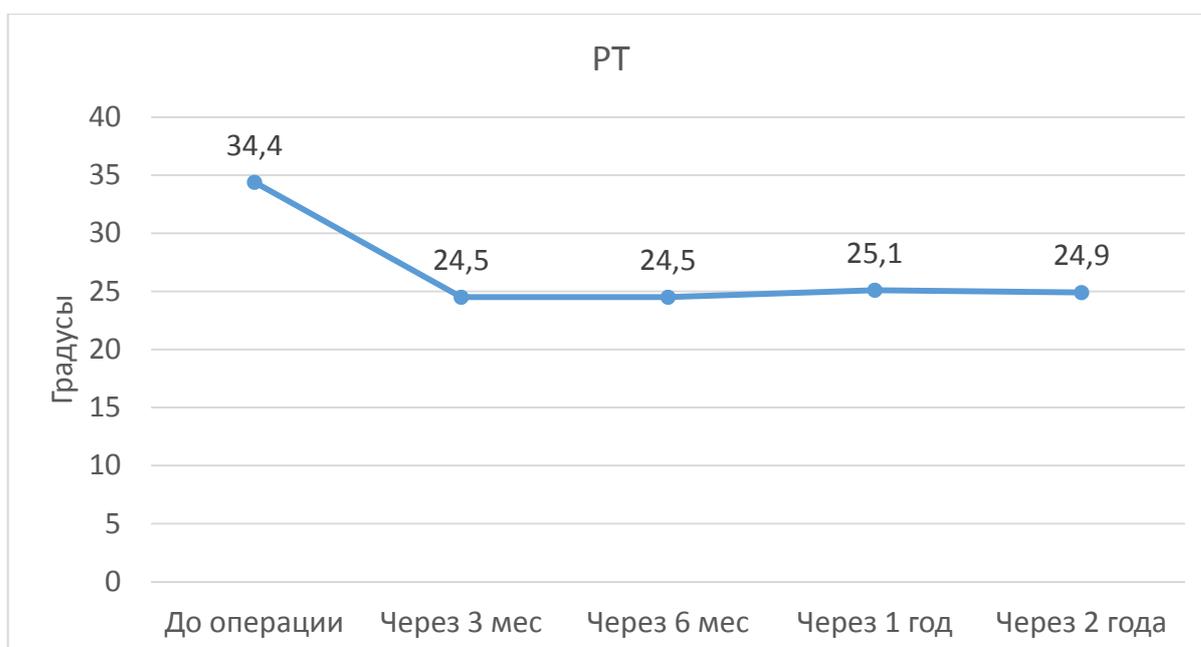


Рисунок 5.19 – Графическое отображение динамических изменений показателей РТ в группе II в раннем и отдаленном послеоперационных периодах. При первом контрольном осмотре через 3 месяца после операции отмечалось существенное снижение средних показателей РТ на 28,7% ($p < 0,001$) с последующим незначительным увеличением ко 2-му году наблюдения.

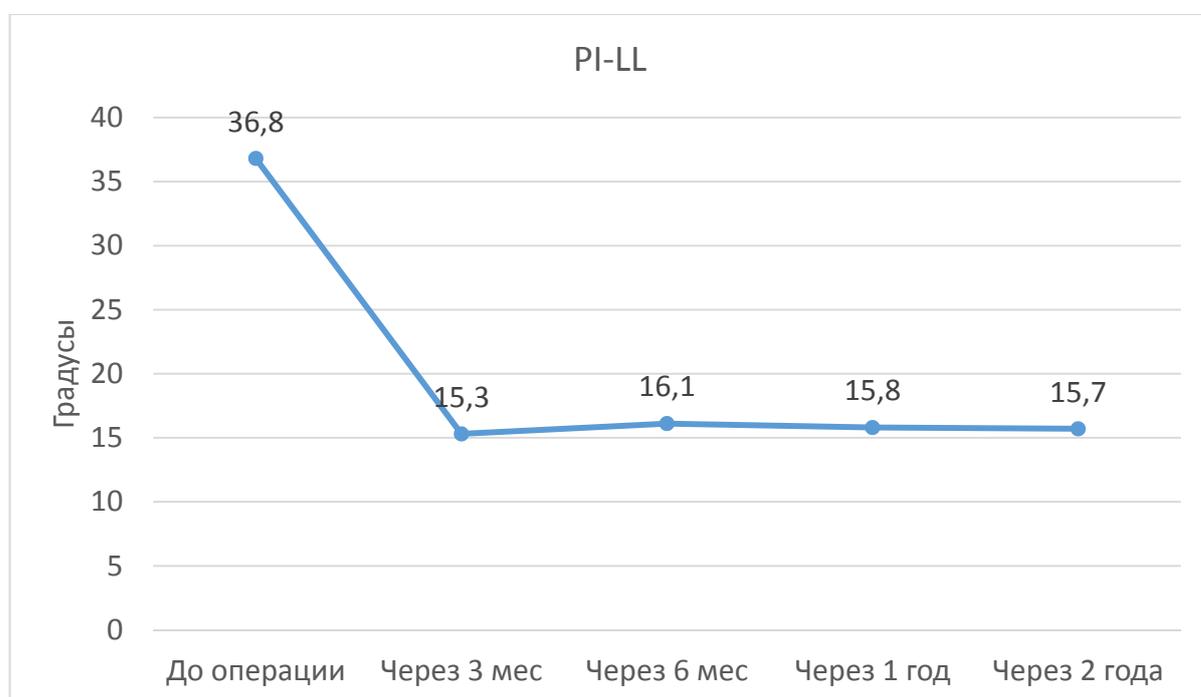


Рисунок 5.20 – Графическое отображение динамических изменений показателей PI-LL в группе II в раннем и отдаленном послеоперационных периодах. Сразу после операции и при первом контрольном осмотре через 3 месяца после операции отмечалось значительное снижение средних показателей

несоответствия PI-LL на 58,4% ($p < 0,001$) с незначительным увеличением несоответствия ко 2-му году наблюдения.

В раннем послеоперационном периоде пациенты были активизированы в среднем через 2,7 суток после проведенного хирургического лечения. В целях дополнительной стабилизации зоны фиксации и профилактики развития осложнений на смежном уровне, пациенты активизировались в высоких грудопоясничных корсетах и выписывались с рекомендациями носить корсет в течение трех месяцев после операции.

Средняя продолжительность госпитализации в группе II составила $15,2 \pm 7,3$ дней. В течение раннего послеоперационного периода пациенты проходили реабилитационные мероприятия, обучение комплексу упражнений ЛФК. При контрольном осмотре через три месяца после операции пациентам рекомендовалось прохождение специализированного реабилитационного лечения.

Клинический пример №1

Пациентка Б., 68 лет. И/Б № Н2016-2111, обратилась в ЦИТО в марте 2017 г. с жалобами на сильные боли в пояснице (до 9 баллов по ВАШ), выраженный наклон туловища кпереди, быструю утомляемость, невозможность передвигаться на расстояние более 100 метров.

В анамнезе 2 оперативных вмешательства. Первое – в 2013 г. по поводу остеохондроза пояснично-крестцового отдела позвоночника, дегенеративного поясничного сколиоза – включало проведение декомпрессии невралгических структур и межтеловой спондилодез кейджем на уровне L5-S1 с транспедикулярной фиксацией Th11-S1. В связи с пониженной плотностью костной ткани, были установлены канюлированные винты с пластикой тел позвонков костным цементом. Через несколько месяцев после операции пациентка начала отмечать нарушение осанки, смещение головы кпереди, боли в

пояснице. По данным обследования был выявлен РЖК. Пациентка была повторно прооперирована в 2014 г. – выполнен перемонтаж металлоконструкции с продлением фиксации до Th4. Через два года после операции пациентка начала отмечать быструю утомляемость, нарастающие боли в области поясницы, смещение центра тяжести кпереди. Консервативная терапия приводила только к временному положительному эффекту, с течением времени симптоматика нарастала. Пациентка поступила в отделение патологии позвоночника для проведения ревизионного оперативного лечения.

При обследовании у пациентки выявлен РЖК, выраженное нарушение сагиттального баланса позвоночника с вовлечением компенсаторных механизмов в виде разгибания в шейном отделе позвоночника и сгибания в суставах нижних конечностей. При анализе постуральных рентгенограмм, отклонение СВО составило +17 см, несоответствие PI-LL – 23°, PT – 38°, LL - 40° (Рисунок 5.30 А). Рентгенологически отмечалась выраженная компенсация дисбаланса за счет ретроверсии таза (высокий PT). В ходе предоперационного планирования, при помощи программного обеспечения Surgimap была проведена симуляционная остеотомия L4 позвонка, так как на данном уровне не выполнялось пластики тела позвонка костным цементом (Рисунок 5.30 В). Для достижения близких к оптимальным показателям позвоночно-тазовых параметров потребовалось 34° сегментарной коррекции за счет PSO.

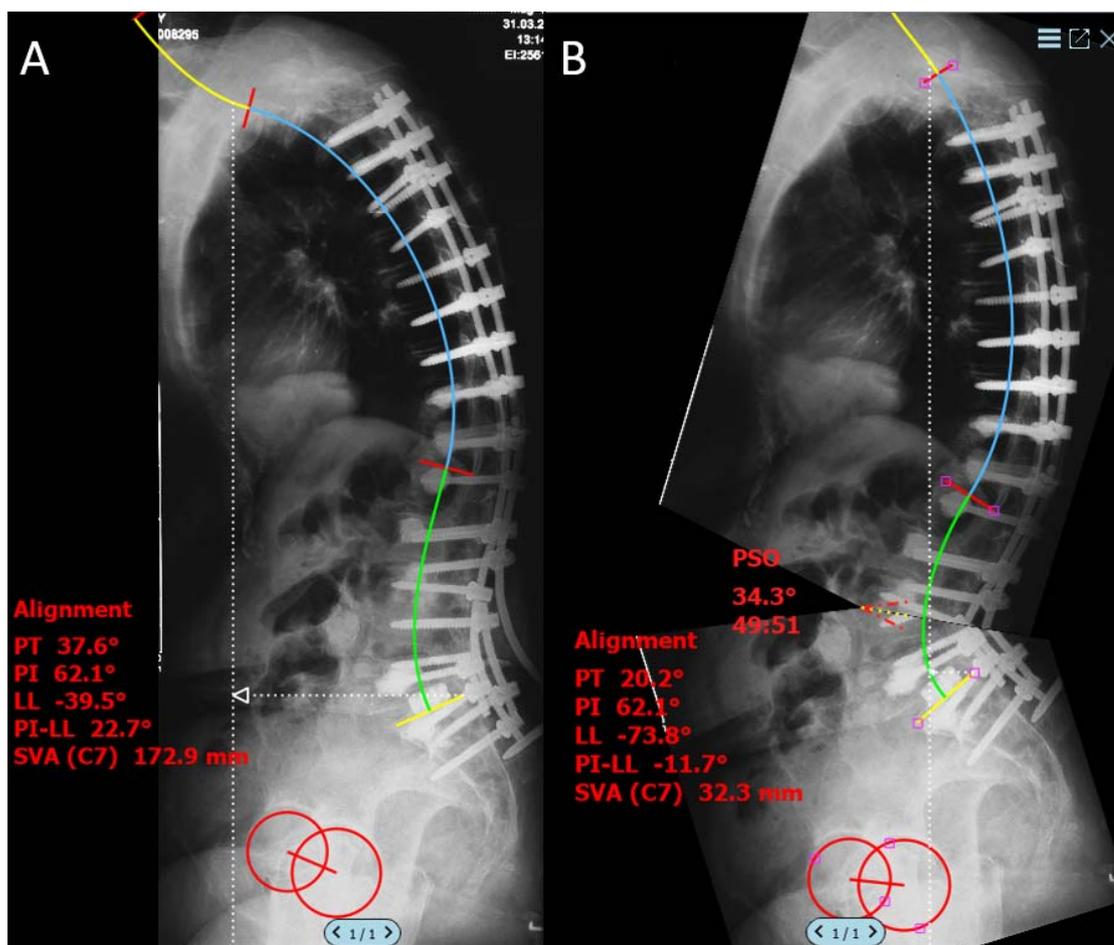


Рисунок 5.30 – А – Постуральная рентгенограмма с расчетом параметров сагиттального баланса позвоночника при помощи ПО Surgimap. Определяется выраженный сагиттальный дисбаланс. В – Компьютерная симуляция PSO на уровне L4 при помощи ПО Surgimap. При сегментарной коррекции на данном уровне в 34°, показатели сагиттального баланса приближаются к норме.

Пациентка в течение двух лет проходила терапию остеопороза, по данным денситометрии, Т-критерий в области проксимальных отделов бедренных костей составил -2.4, в связи с чем дополнительной пластики тел позвонков цементом было решено не проводить. С применением нейромониторинга было выполнено оперативное вмешательство: Перемонтаж металлоконструкции с продлением фиксации до уровня Th2, асимметричная PSO на уровне L4, коррекция деформации. Задний спондилодез аутокостью. В результате операции удалось достичь оптимальных показателей сагиттального и фронтального баланса: PT – 20°, LL – 55°, PI – LL-5°, CBO – 24 мм (Рисунок 5.31-5.33). Пациентка активизирована в грудопоясничном корсете на 3-е сутки, выписана на 11-е сутки после операции. При контрольном осмотре через 2 года после операции

пациентка отмечала значительное снижение болевого синдрома и улучшение качества жизни.

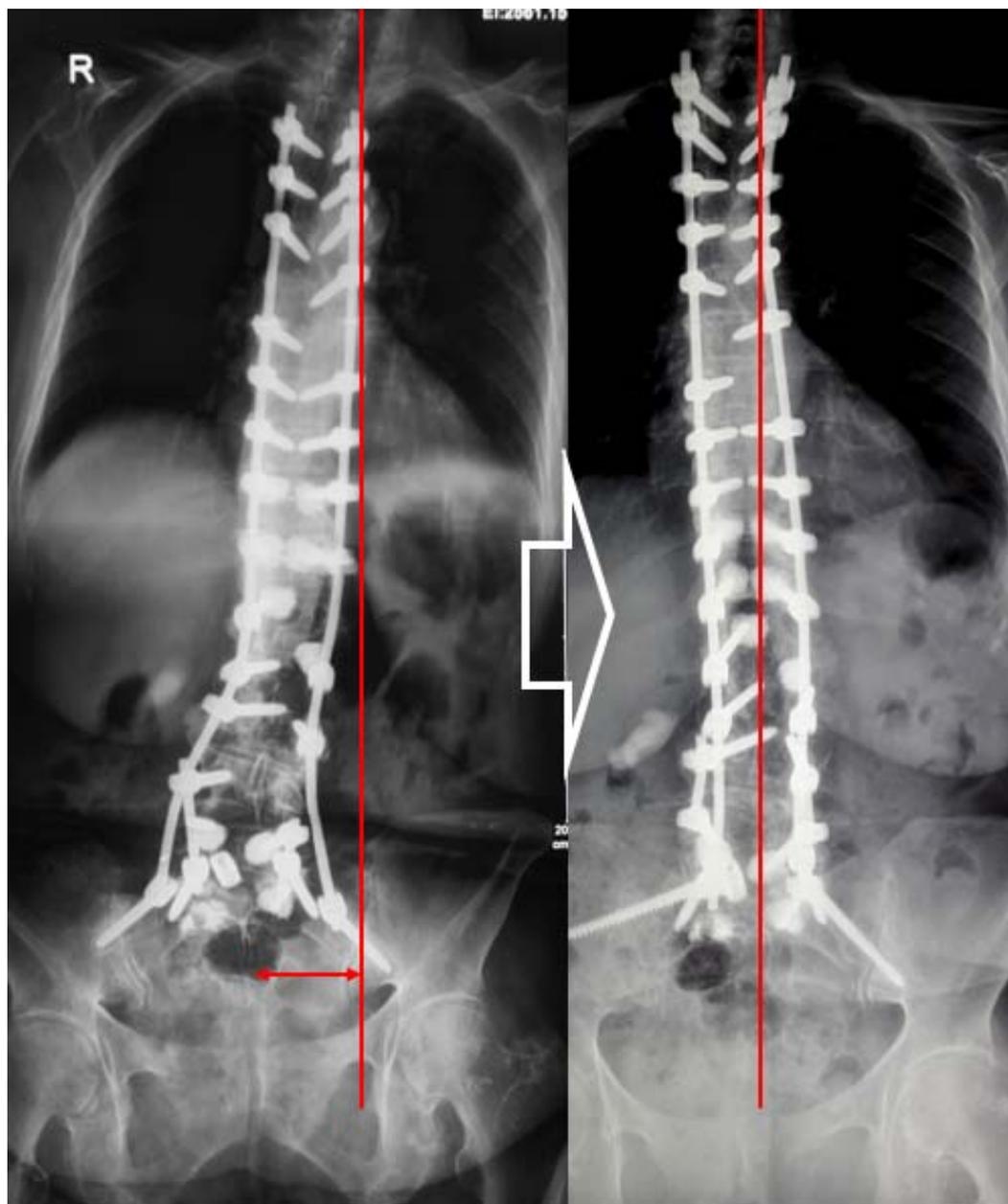


Рис 5.31. Постуральные рентгенограммы в прямой проекции до и после операции. Отмечается восстановление фронтального баланса позвоночника со смещением линии отвеса от С7 к центральной линии крестца.

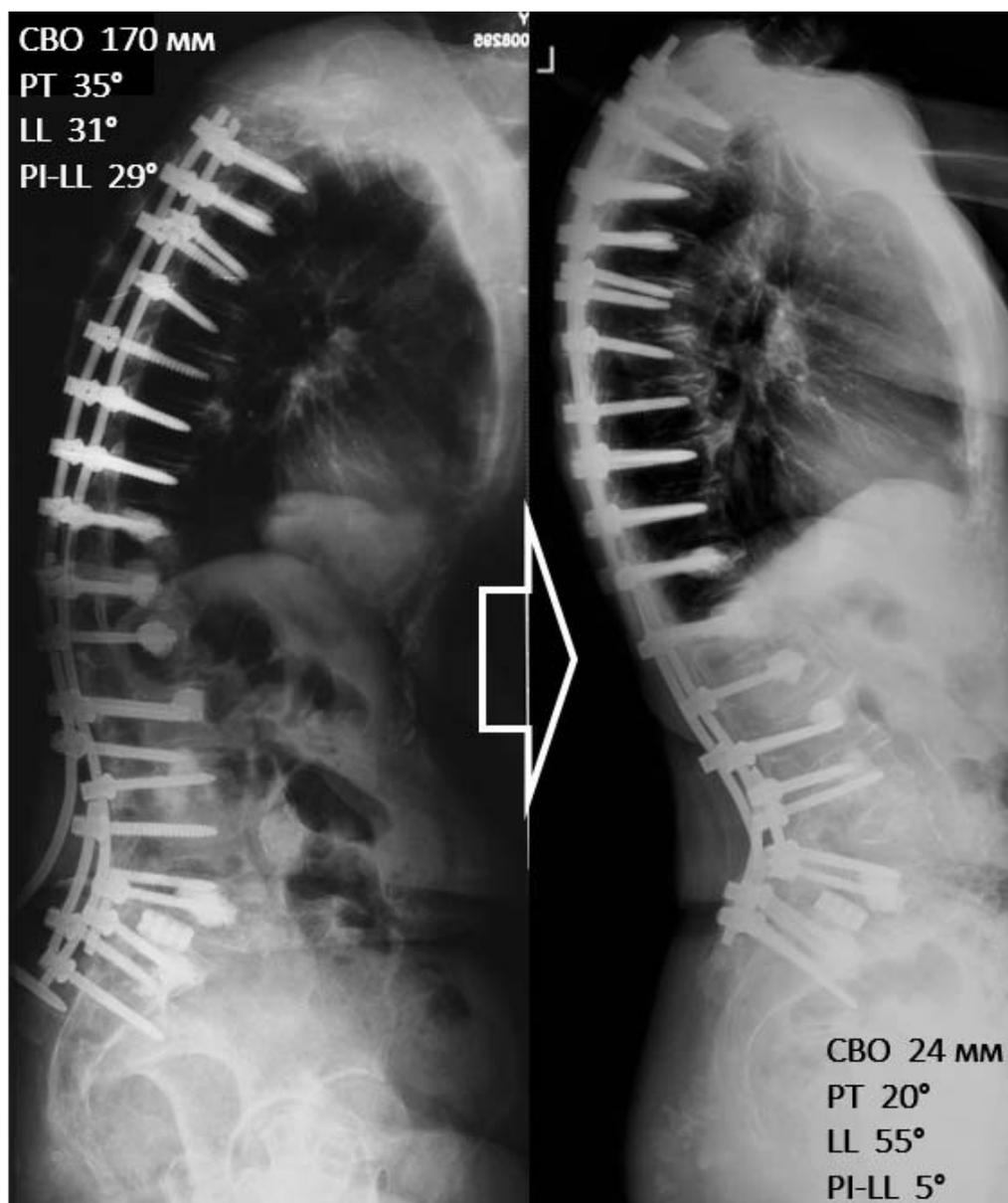


Рис 5.32. Постуральные рентгенограммы в боковой проекции до и через 2 года после операции. Рентгенологические показатели до и после операции указаны в левом верхнем и в правом нижнем углах рисунка соответственно. В зоне остеотомии отмечается полноценное костное сращение.



Рис 5.33. Внешний вид пациентки со спины и сбоку до и после операции. Как на рентгенограммах, так и на фотографиях, после операции с применением PSO отмечается значительная коррекция сагиттального и фронтального балансов позвоночника.

Клинический пример №2

Пациентка М., 45 лет. И/Б № Н2017-2427, обратилась в ЦИТО в марте 2017 г. с жалобами на сильные боли в грудопоясничном отделе позвоночника, усиливающиеся при ходьбе (до 8 баллов по ВАШ), выраженный наклон туловища кпереди, быструю утомляемость.

Болевой синдром беспокоил в течение длительного времени. В 2014 г. отметила резкое усиление болевого синдрома. Консервативное лечение без положительного эффекта. Обратилась в ЦИТО. Поставлен диагноз: Остеохондроз пояснично-крестцового отдела позвоночника. Левосторонний поясничный сколиоз 4 ст. Стеноз позвоночного канала. Нарушение сагиттального баланса. В феврале 2016 г. пациентке проведено оперативное лечение: Дорсальная коррекция и стабилизация позвоночника на уровне Th8 - S1. Гемиламинэктомия L5-S1 слева,

интерламинэктомия L4-L5 слева. Межтеловой спондилодез кейджем на уровне L5-S1. Задний спондилодез аутокостью. На контрольных рентгенограммах через 7 мес. с момента операции отмечен перелом винтов нижнего полюса металлоконструкции. Госпитализирована в отделение патологии позвоночника для дообследования и определения тактики дальнейшего лечения.

При обследовании у пациентки выявлено выраженное нарушение сагиттального баланса позвоночника. При анализе постуральных рентгенограмм, отклонение СВО составило +14,5 см, несоответствие PI-LL – 26°, PT – 36°, LL – 31° (Рисунок 5.19 А). В ходе предоперационного планирования, при помощи программного обеспечения Surgimar была проведена симуляционная остеотомия L2 позвонка (Рисунок 5.19 В). Для достижения близких к оптимальным показателей позвоночно-тазовых параметров потребовалось 37° сегментарной коррекции за счет PSO.

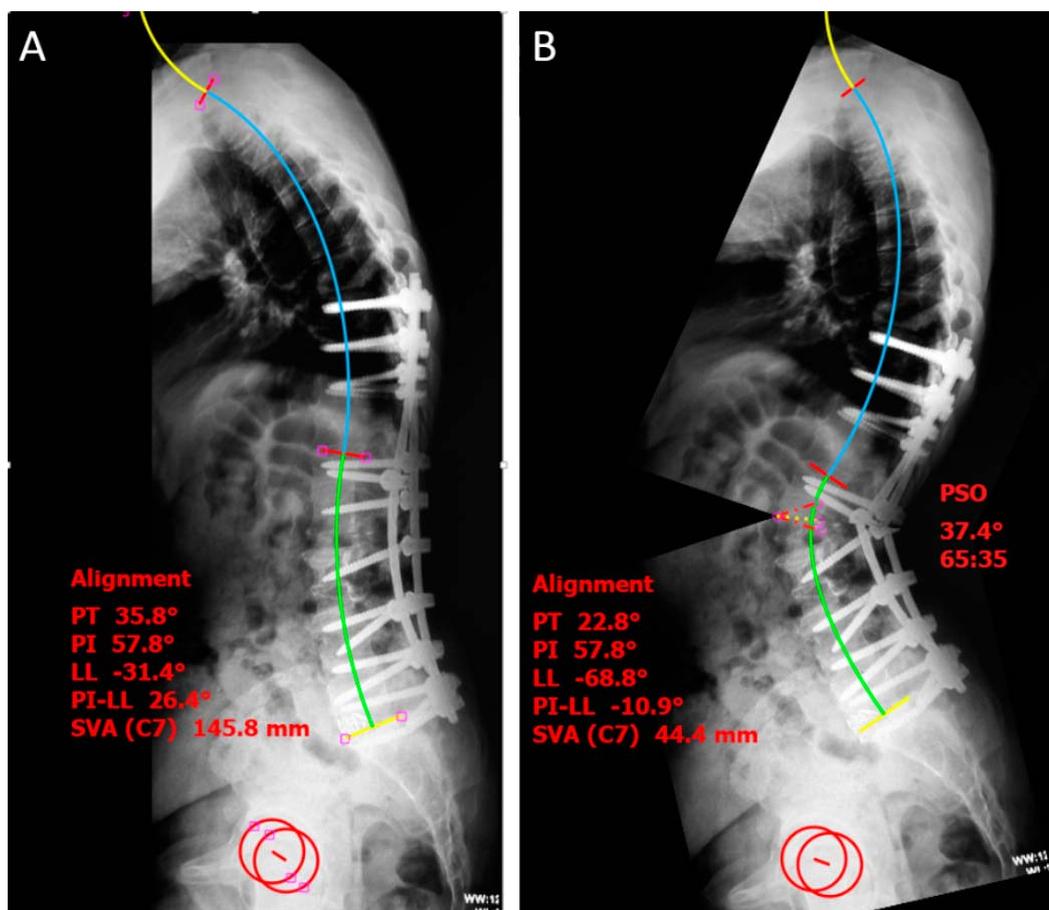


Рисунок 5.34 – А – Постуральная рентгенограмма с расчетом параметров сагиттального баланса позвоночника при помощи ПО Surgimap. Определяется выраженный сагиттальный дисбаланс. В – Компьютерная симуляция PSO на уровне L2 при помощи ПО Surgimap. При сегментарной коррекции на данном уровне в 37°, показатели сагиттального баланса приближаются к норме.

С применением нейромониторинга было выполнено оперативное вмешательство: Перемонтаж металлоконструкции с продлением фиксации до уровня Th5, позвоночно-тазовой фиксацией. PSO на уровне L2, коррекция деформации. Задний спондилодез аутокостью. В результате операции удалось восстановить сагиттальный баланс позвоночника с центрацией головы над осью тазобедренных суставов: PT – 21°, LL – 65°, PI-LL – 8°, CBO – 42 мм (Рис 5.20). Пациентка активизирована в грудопоясничном корсете на 4-е сутки, выписана на 15-е сутки после операции. При контрольном осмотре через 2 года после операции пациентка отмечала значительное улучшение качества жизни, вернулась к работе экскурсоводом.

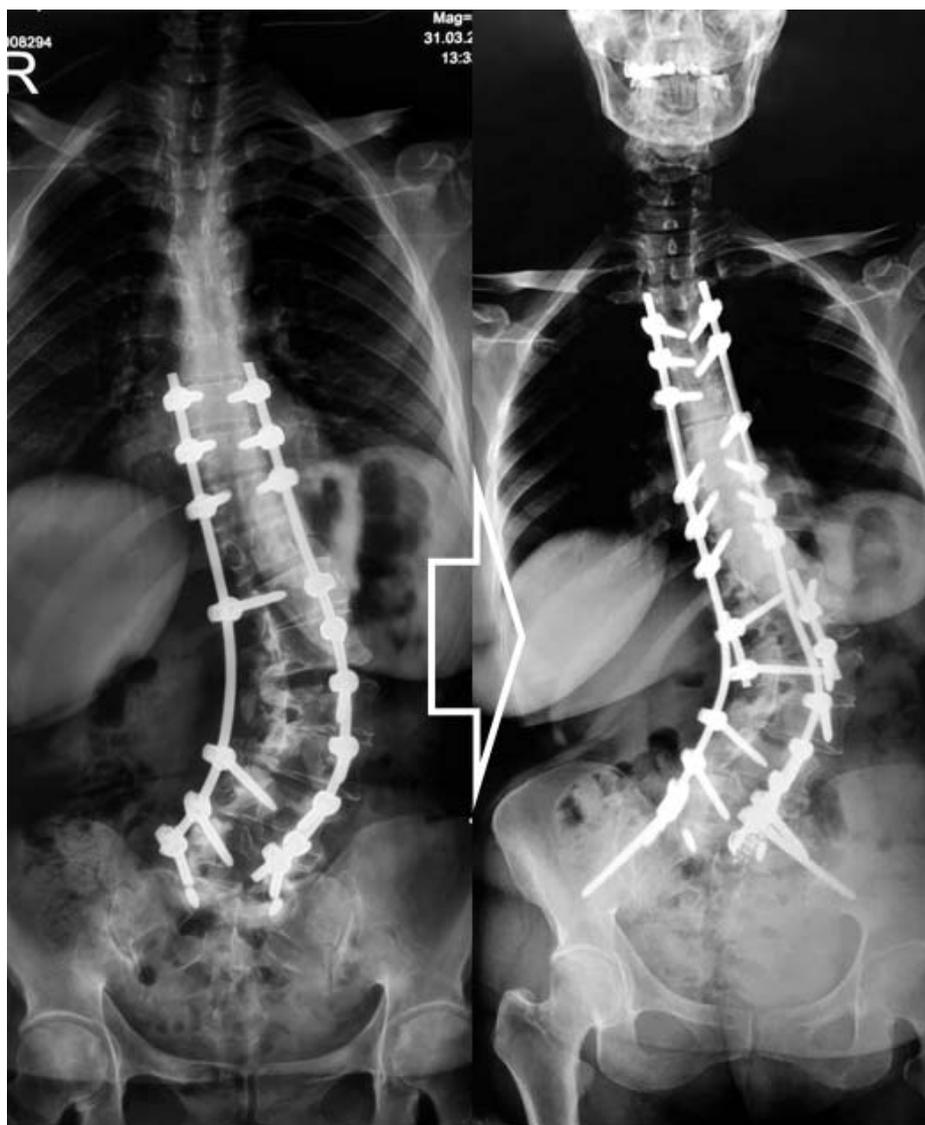


Рис 5.35. Постуральные рентгенограммы в прямой проекции до и после операции. Отмечается 45% коррекция поясничной дуги деформации, восстановление фронтального баланса позвоночника.

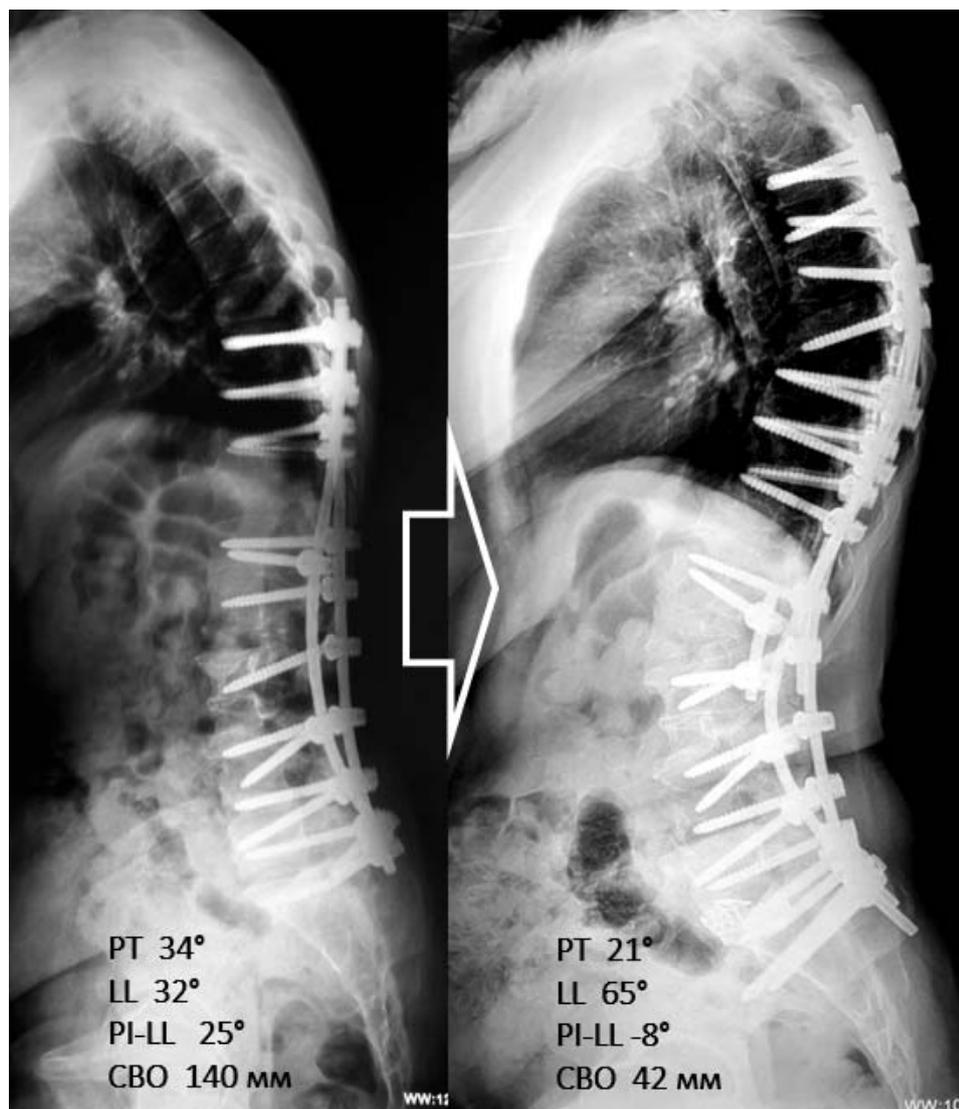


Рис 5.36 А – постуральные рентгенограммы в боковой проекции до и после операции, В – постуральные рентгенограммы в прямой проекции до и после операции. Отмечается значительная коррекция сагиттального баланса позвоночника за счет применения PSO.

5.3 Анализ осложнений хирургического лечения пациентов с нарушением сагиттального баланса позвоночника

Общий процент пациентов с хотя бы одним серьезным осложнением в периоперационном и отдаленном послеоперационном периодах среди всех 53 пациентов составил 43,4%. Структура серьезных осложнений проведенного хирургического лечения представлена в таблице 5.9. Серьезные осложнения включали повреждения дуральной оболочки с ликвореей у 7 пациентов (13,2%),

неврологический дефицит у 9 пациентов (17%), инфекционные осложнения у 4 пациентов (7,6%), псевдоартроз по данным КТ у 9 пациентов (17%), переломы стержней у 5 пациентов (9,4%), РЖК у 7 пациентов (13,2%).

Ревизионные вмешательства потребовались 10 пациентам (18,9%): в 4 случаях в связи с симптоматическим РЖК, в 1 случае в связи с мальпозицией транспедикулярного винта и развившимся неврологическим дефицитом, в 4 случаях из-за переломов стержней, и в одном случае – в связи с потерей коррекции, вызванной сформировавшимся в зоне остеотомии псевдоартрозом и потерей коррекции. Средний срок до проведения ревизионного вмешательства составил 5,7 месяцев. Данные риски осложнений должны быть тщательно взвешены при планировании хирургического вмешательства и обсуждены с пациентами. При оценке возможности выполнения PSO необходимо учитывать возраст и общее соматическое состояние пациента, выраженность клинических проявлений, влияние нарушения сагиттального баланса на качество жизни пациента и готовность пациента принять высокие риски осложнений.

Таблица 5.9. Оценка частоты серьезных интраоперационных и послеоперационных осложнений среди всех 53 пациентов.

<i>Осложнения</i>	<i>Общий %</i>
<i>Дуральные повреждения/ликворея</i>	13,2%
<i>Переломы стержней</i>	9,4%
<i>Псевдоартроз</i>	17%
<i>РЖК/ДЖК</i>	13,2%
<i>Неврологический дефицит</i>	17%
<i>Инфекция</i>	7,6%
<i>Пациенты с серьезными осложнениями</i>	43,4%
<i>Ревизионные вмешательства</i>	18,9%

5.3.1 Неврологические осложнения

По данным литературы, частота развития неврологического дефицита при выполнении PSO может достигать 20,6% и чаще всего носит частичный характер [16, 24, 37, 41]. В большинстве случаев, неврологический дефицит носит непродолжительный характер и в течение нескольких недель неврологический статус как правило восстанавливается. В обеих группах даже у пациентов с выраженным неврологическим дефицитом наблюдались положительные функциональные результаты в отдаленном послеоперационном периоде.

Механизмы развития неврологических осложнений при выполнении педикулярной субтракционной остеотомии позвоночника достаточно многочисленны в связи с технической сложностью и травматичностью данных операций. Процесс коррекции деформации требует мобилизации и ретракции невральных структур, что может привести к их прямому повреждению или нарушению кровоснабжения. Наиболее ответственный момент операции – смыкание зоны остеотомии, так как при данной манипуляции существует риск гофрирования и ущемления дурального мешка и спинномозговых корешков, что, в свою очередь, может повлечь за собой развитие неврологических осложнений. В целях профилактики данных осложнений необходимо проводить максимально широкую декомпрессию невральных структур и тщательную ревизию позвоночного канала после завершения костной резекции, а в процессе коррекции визуально контролировать состояние дурального мешка и спинномозговых корешков. Также, в связи с дестабилизирующим характером PSO, существует достаточно высокий риск смещения оси позвоночника и подвывиха резецируемого позвонка, что может привести к катастрофическим осложнениям со стороны нервной системы. Как упоминалось ранее, для предотвращения смещения оси позвоночника в ходе остеотомии необходимо применение временных стабилизирующих стержней. Во избежание ишемических повреждений невральных структур, среднее артериальное давление должно поддерживаться на уровне не ниже 90 мм рт. ст. во время коррекции деформации.

По возможности, PSO необходимо выполнять на поясничном уровне, ниже конуса спинного мозга. В связи с тем, что более чем в половине случаев PSO выполнялась на уровне L3, неврологические нарушения наиболее часто были связаны именно с ним, однако наивысший риск осложнений сопровождается остеотомии нижнепоясничных позвонков.

Нейромониторинг или wake-up тест обязательно должны проводиться после этапа смыкания зоны остеотомии. При выявлении интраоперационных нарушений проводимости невральных структур или моторных нарушений при wake-up тесте, необходимо провести более широкую декомпрессию, что как правило, приводит к восстановлению нормальных показателей. Среди 53 пациентов, включенных в исследование, у 3 были выявлены интраоперационные изменения показателей вызванных потенциалов. Во всех случаях изменения возникали в процессе смыкания зоны остеотомии. Изменения данных нейромониторинга были сигналом для прекращения коррекции и выполнения ревизии позвоночного канала с более широкой декомпрессией, что привело к нормализации показателей нейромониторинга во всех случаях.

При развитии острого неврологического дефицита в раннем послеоперационном периоде, необходимо проведение экстренных диагностических мероприятий. В большинстве случаев причиной неврологических нарушений является образование эпидуральной гематомы, дренирование которой приводит к восстановлению неврологического статуса. Однако, при наличии данных о мальпозиции транспедикулярных винтов или ущемлении невральных структур в зоне остеотомии (по данным КТ), может потребоваться экстренное ревизионное вмешательство с целью дополнительной декомпрессии. Эффективность ранних ревизионных вмешательств в таких ситуациях достаточно высока.

5.3.2 Переломы стержней

Как уже упоминалось, частота переломов стержней при применении PSO значительно выше чем при коррекции деформаций без остеотомии или за

счет остеотомий задней колонны позвоночника. Коррекция деформации позвоночника подвергает компоненты металлоконструкции значительной механической нагрузке, а на уровне PSO данная нагрузка существенно возрастает за счет выраженной сегментарной коррекции. Как показал опыт применения четырехстержневой фиксации, которая проводилась всем пациентам в данной работе, методика позволяет избежать переломов стержней в зоне остеотомии и на смежных уровнях за счет распределения нагрузки и снижения угла деформации стержней. В то же время переломы другой локализации наблюдались в 5 случаях (в трех случаях в группе I и в двух в группе II). В трех из них перелом произошел на вершине фронтальной деформации и в двух – на уровне L5-S1. Во всех случаях пациентам было проведено ревизионное оперативное вмешательство.

5.3.3 Псевдоартроз

Операции с применением педикулярной субтракционной остеотомии также связаны с повышенным риском формирования псевдоартроза, особенно в зоне остеотомии. В наиболее крупном исследовании псевдоартроза при операциях по остеотомии позвоночника, Dickson и соавт. выявили его формирование в 10,5% случаев после проведения PSO. При этом в 61% случаев псевдоартроз наблюдался на уровне остеотомии. По данным исследования, основными факторами риска формирования псевдоартроза являлись предшествующая ламинэктомия, лучевая терапия, наличие неврологических расстройств и курение [20]. В данной диссертационной работе в послеоперационном периоде по данным КТ псевдоартроз был выявлен в 9 (17%) случаях. В 4 из 9 случаев псевдоартроз формировался в зоне остеотомии.

5.3.4 Кифоз проксимальной переходной зоны (РЖК)

Поскольку количество операций с протяженной сегментарной металлофиксацией позвоночника продолжает расти как в нашей стране, так и во всем мире, а коррекция сагиттального баланса выполняется все чаще, кифоз

проксимальной переходной зоны (РЖК) становится одной из главных проблем в вертебрологии, особенно при хирургическом лечении деформаций позвоночника у взрослых. С биомеханической точки зрения, по мнению большинства авторов, РЖК представляет собой послеоперационное изменение угла проксимального смежного сегмента более чем на 10° (Рисунок 5.37) [81].

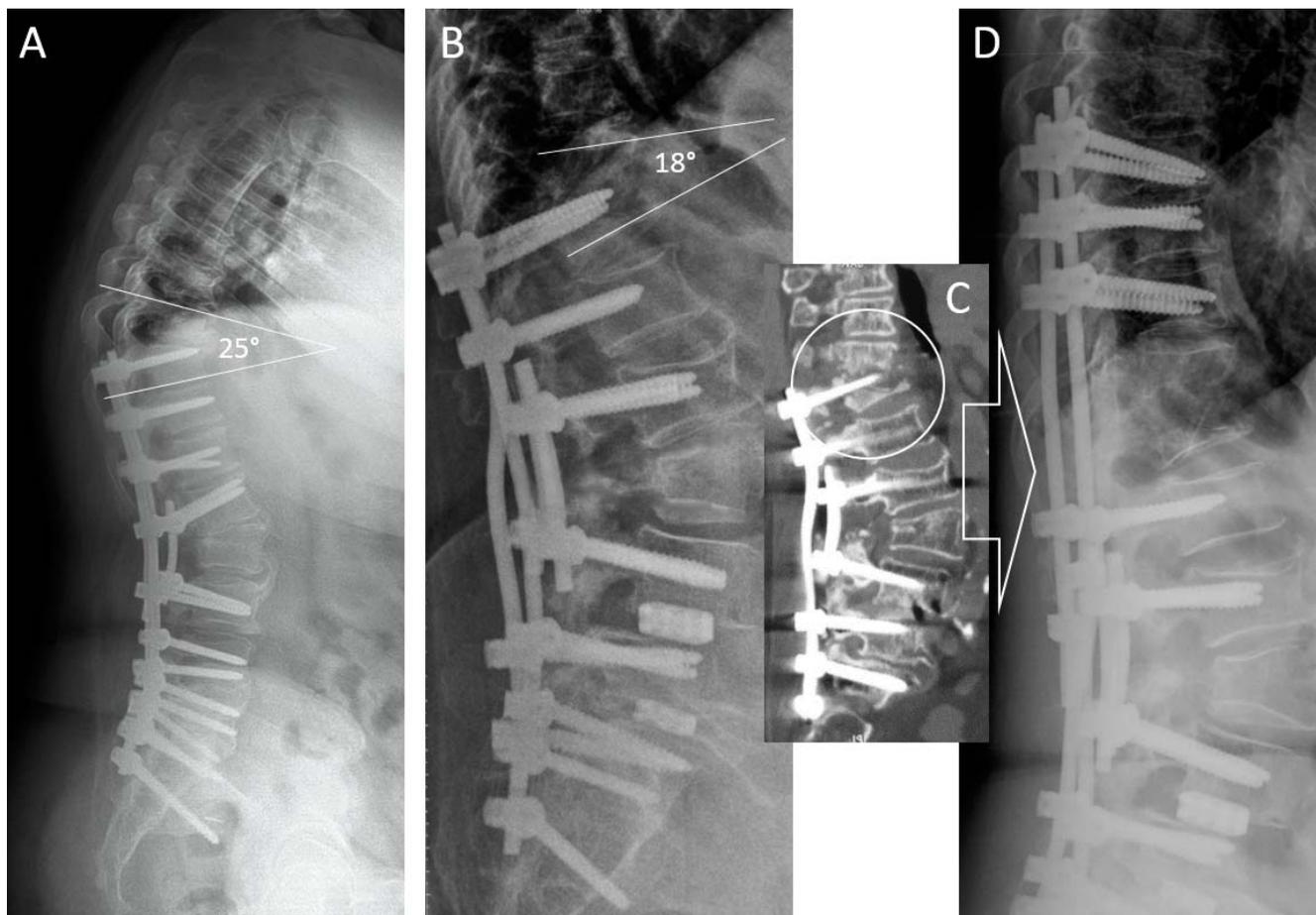


Рисунок 5.37 – Примеры РЖК в группах исследования. А – Пациентка 47 лет, Т-критерий -1,3, при контрольном осмотре через 6 месяцев выявлен асимптоматичный РЖК – пациентка не отмечала снижения качества жизни в отдаленном послеоперационном периоде, В – пациентка 62 лет, Т-критерий -2,3 через 2 месяца после операции пациентка отмечала выраженные боли в области верхнего полюса металлоконструкции, С – по данным КТ выявлен перелом верхнего фиксированного позвонка, стеноз позвоночного канала, D – в ходе ревизионного вмешательства пациентке выполнена декомпрессия невралгических структур, продление фиксации на 3 уровня выше.

Хотя данное осложнение не всегда проявляется клинически, сформировавшийся кифоз имеет склонность прогрессировать после операции и часто приводит к неблагоприятным результатам хирургического лечения, которые

также характеризуются термином недостаточность проксимальной переходной зоны (proximal junctional failure - PJF), что чаще всего требует ревизионного оперативного вмешательства. Частота формирования РЖК колеблется от 6% до 61,7%, по данным разных авторов [50, 87, 96]. За последнее десятилетие было предпринято множество попыток определить наиболее вероятные факторы риска развития РЖК, однако четких объяснений его патогенеза не было выдвинуто. В то же время, большинство авторов полагают, что резкое изменение жесткости сегментов на границе металлофиксации, высокий ИМТ, пониженная минеральная плотность костной ткани и нарушение целостности заднего связочного аппарата являются причинами большинства случаев РЖК [36, 77, 87, 91, 110]. При наличии вышеуказанных факторов риска, в данной диссертационной работе предпринимались меры профилактики РЖК: проксимальная фиксация крючками, вертебропластика верхнего фиксированного и смежного сегментов, минимально травматичное выделение задних элементов в зоне проксимального полюса фиксации с сохранением связочного аппарата (Рисунок 5.38). Общая частота развития РЖК в обеих группах пациентов составила 13,2%, что сопоставимо с данными литературы.

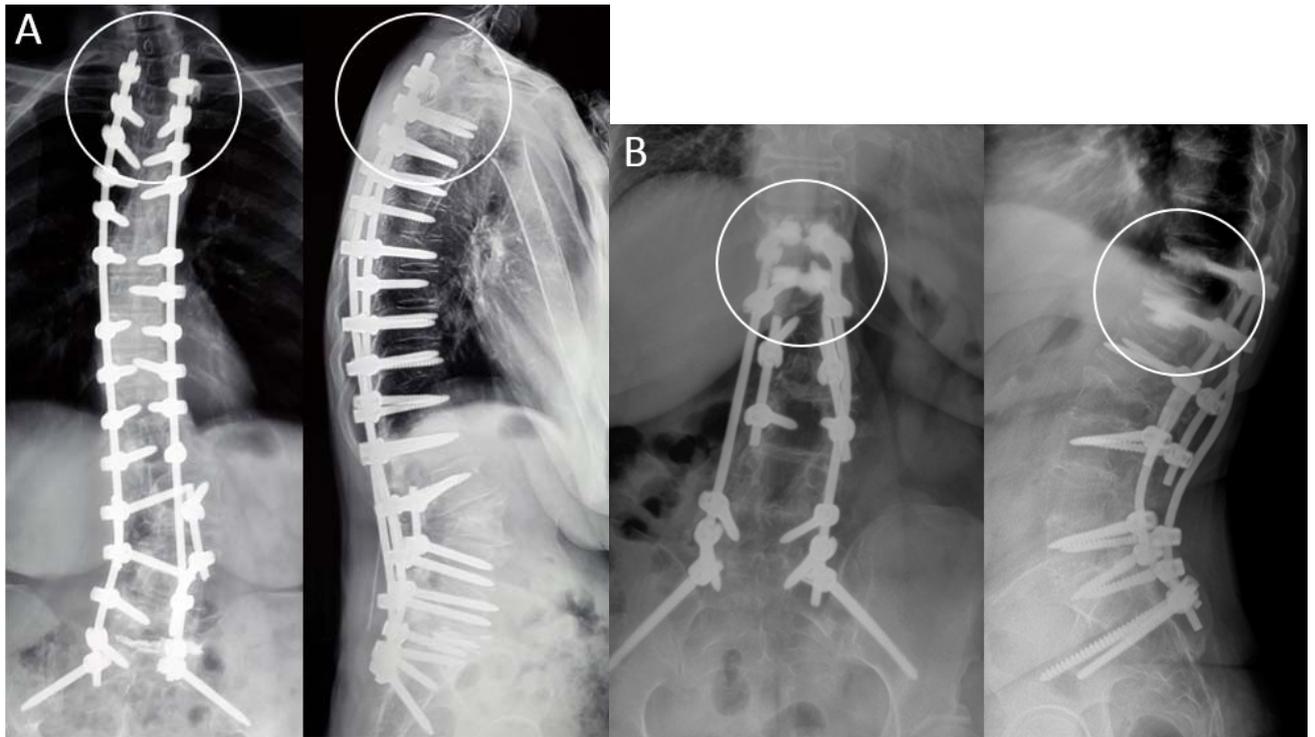


Рисунок 5.38 – Хирургические методы профилактики РЖК, примененные при выполнении PSO. А – фиксация проксимального полюса крючками, В – вертебропластика тел верхних фиксированных позвонков костным цементом. В приведенных случаях показаниями к применению данных методик являлась сниженная минеральная плотность костной ткани.

5.4 Сравнительный анализ результатов первичных и ревизионных хирургических вмешательств с применением PSO

Средний возраст пациентов составил $58,9 \pm 12,3$ лет (18-81 лет). Статистически значимых отличий по полу, возрасту, индексу массы тела, денситометрическим, рентгенологическим показателям между группами выявлено не было (Таблица 5.10). Наиболее частым уровнем проведения PSO был L3 в обеих группах (58,3% в группе I и 48,3% в группе II), вторым по распространенности уровнем остеотомии был L2 (29,1% и 26,1% соответственно). Также, в нескольких случаях, PSO выполнялась на уровне L2 и L1. Средняя протяженность фиксации составила $11,9 \pm 3,8$ уровней в группе ревизионных

вмешательств и $10,4 \pm 5,9$ уровней в группе с первичными вмешательствами ($p > 0,05$). Средний срок послеоперационного наблюдения составил 2,9 года.

Таблица 5.10

Сравнение предоперационных демографических показателей, интраоперационной кровопотери и продолжительности операции и предоперационных рентгенологических показателей в двух группах.

	Первичные(σ)	Ревизионные (σ)	P
Пол (%женщин)	75	69	-
Возраст (г)	$59,6 \pm 9,4$	$57,8 \pm 11,6$	0,519
ИМТ ($кг/м^2$)	$25,4 \pm 7,9$	$26,3 \pm 5,7$	0,822
МПК ($г/см^2$)	$0,824 \pm 0,123$	$0,789 \pm 0,107$	0,346
Объем кровопотери (мл)	1877 ± 1354	2581 ± 2086	0,011*
Длительность операции (мин)	412 ± 216	398 ± 197	0,373
Грудной кифоз ($^\circ$)	$35,9 \pm 10,7$	$30,8 \pm 11,3$	0,245
Поясничный лордоз ($^\circ$)	$25,1 \pm 12,3$	$21,7 \pm 14,9$	0,108
СВО (см)	$14,5 \pm 5,5$	$13,3 \pm 6,5$	0,254
РТ ($^\circ$)	$37,3 \pm 18,3$	$34,4 \pm 16,3$	0,678
PI-LL ($^\circ$)	$39,7 \pm 20,1$	$36,8 \pm 18,4$	0,203

σ – среднеквадратичное отклонение. Порог статистической значимости $P=0,05$ (* – статистически значимые значения).

Средняя продолжительность оперативного вмешательства статистически значимо не различалась между группами. В то же время, нужно отметить, что в среднем в группе с первичными вмешательствами среднее количество установленных винтов было значительно выше, так как при незначительной разнице в протяженности фиксации ($10,4$ уровней в группе I и $11,9$ уровней в группе II) после операции с применением PSO, на момент поступления у 20 из 29 пациентов с ревизионными операциями уже были фиксированы в среднем $6,1$ уровней. Таким образом, можно предположить, что основной этап операции занимал в среднем большее количество времени в группе II. Средний объем кровопотери составил 1877 ± 1354 мл в первой группе и 2581 ± 2086 мл во второй группе. При этом, между группами имелись статистически достоверные различия

($p < 0,05$). Большой диапазон показателей объема кровопотери в обеих группах отражает высокую травматичность операции и наличие высоких выпадающих значений. Более высокая кровопотеря в группе с ревизионными операциями вероятнее всего связана с рубцовыми изменениями тканей и более выраженными изменениями костной анатомии вследствие предшествующих операций.

Средний угол послеоперационной сегментарной коррекции (при последнем осмотре) за счет PSO составил $28,3 \pm 7,6^\circ$ в первой группе и $26,6 \pm 8,3^\circ$ во второй группе ($p > 0,05$), что соответствует теоретическим значениям коррекции, которой возможно достичь при помощи данной методики. Как было показано ранее, в обеих группах удалось добиться оптимальной коррекции сагиттального баланса ($PI-LL \pm 10^\circ$, $SVO < 50$ мм, $PT < 20-30^\circ$) у 76% пациентов в раннем и отдаленном послеоперационных периодах, что говорит о высокой эффективности педикулярной субтракционной остеотомии в качестве инструмента коррекции сагиттального баланса позвоночника за счет одного сегмента. При сравнении средних рентгенологических показателей позвоночно-тазовых параметров и параметров сагиттального баланса до операции, статистически значимых различий между двумя группами не наблюдалось (Таблица 5.10). При оценке изменений рентгенологических показателей сагиттального баланса в отдаленном послеоперационном периоде были получены результаты, отображенные в таблице 5.7. Средняя коррекция СВО составила $-9,9 \pm 5,8$ см в первой группе и $-7,1 \pm 5,9$ см во второй группе ($p > 0,05$). Сравнительный анализ показал, что различия средних значений близки к порогу статистической значимости, однако не превышают его. Средний угол коррекции поясничного лордоза составил $-31,3 \pm 21,1^\circ$ в первой группе и $-21,4 \pm 15,6^\circ$ во второй группе (U-критерий Манна-Уитни и критерий Колмогорова-Смирнова $P < 0,05$). Данные различия не только статистически значимы, но и носят достаточно выраженный характер (с точки зрения величины эффекта), что позволяет констатировать более выраженную коррекцию поясничного лордоза у пациентов проходящих первичное хирургическое лечение при помощи PSO. Средний угол изменения грудного кифоза составил $8,5 \pm 5,8^\circ$ в первой группе и $8,9 \pm 6,7^\circ$ во второй группе ($P > 0,05$). Среднее изменение наклона

таза составило $-11,7 \pm 6,2^\circ$ в первой группе и $-9,2 \pm 5,1^\circ$ во второй группе ($P > 0,05$). Различия в изменениях этих показателей не были статистически значимыми. Среднее уменьшение несоответствия PI-LL составило $-27,2 \pm 13,5^\circ$ в первой группе и $-19,8 \pm 11,3^\circ$ во второй группе (U-критерий Манна-Уитни и критерий Колмогорова-Смирнова $P < 0,05$). Динамика изменений рентгенологических показателей в обеих группах представлена на рисунках 5.39–5.43. Важно отметить, что достичь показателей $PI-LL \pm 10^\circ$, $CBO < 50$ мм, $PT < 20-30^\circ$ удалось у 87% пациентов в группе I и у 65% пациентов в группе II ($p < 0,05$).

Таблица 5.11

Сравнение степени изменения рентгенологических показателей в двух группах в отдаленном послеоперационном периоде.

Рентгенологические параметры	Первичные (σ)	Ревизионные (σ)	P
Сегментарная коррекция ($^\circ$)	$28,3 \pm 7,6$	$26,6 \pm 8,3$	0,568
Грудной кифоз ($^\circ$)	$8,5 \pm 5,8$	$8,9 \pm 6,7$	0,423
Поясничный лордоз ($^\circ$)	$31,3 \pm 21,1$	$21,4 \pm 15,6$	0,011*
CBO (см)	$9,9 \pm 4,7$	$6,1 \pm 3,4$	0,071
PT ($^\circ$)	$11,7 \pm 6,2$	$9,2 \pm 5,1$	0,295
PI-LL ($^\circ$)	$29,2 \pm 13,5$	$19,8 \pm 11,3$	0,006*

σ – среднеквадратичное отклонение. Порог статистической значимости $P = 0,05$ (* – статистически значимые значения).

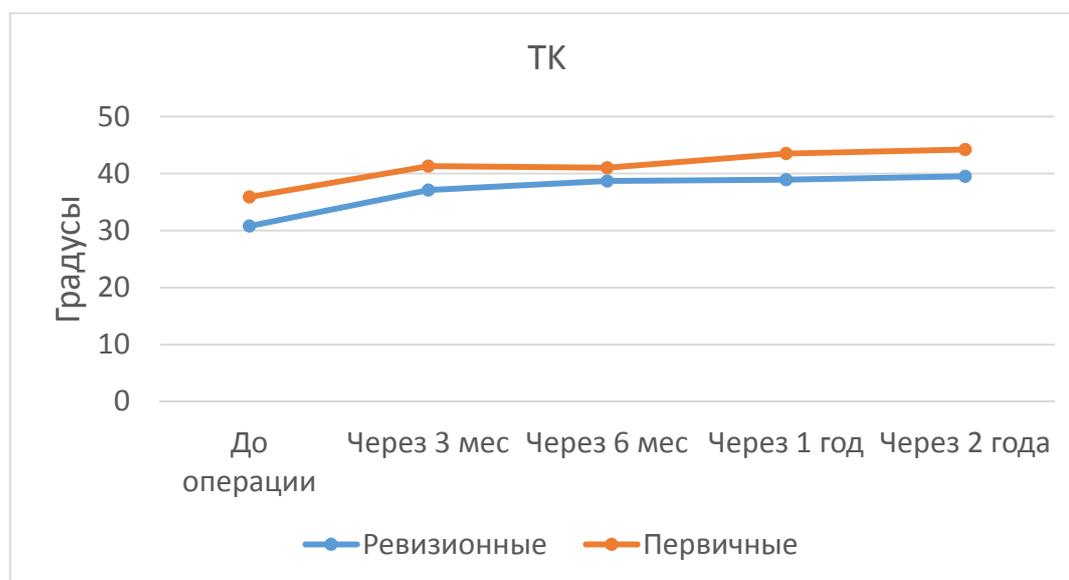


Рисунок 5.39 – Графическое отображение динамических изменений ТК в раннем и отдаленном послеоперационных периодах в двух группах исследования.

Данные демонстрируют сходную динамику и степень восстановления в градусах в обеих группах исследования.

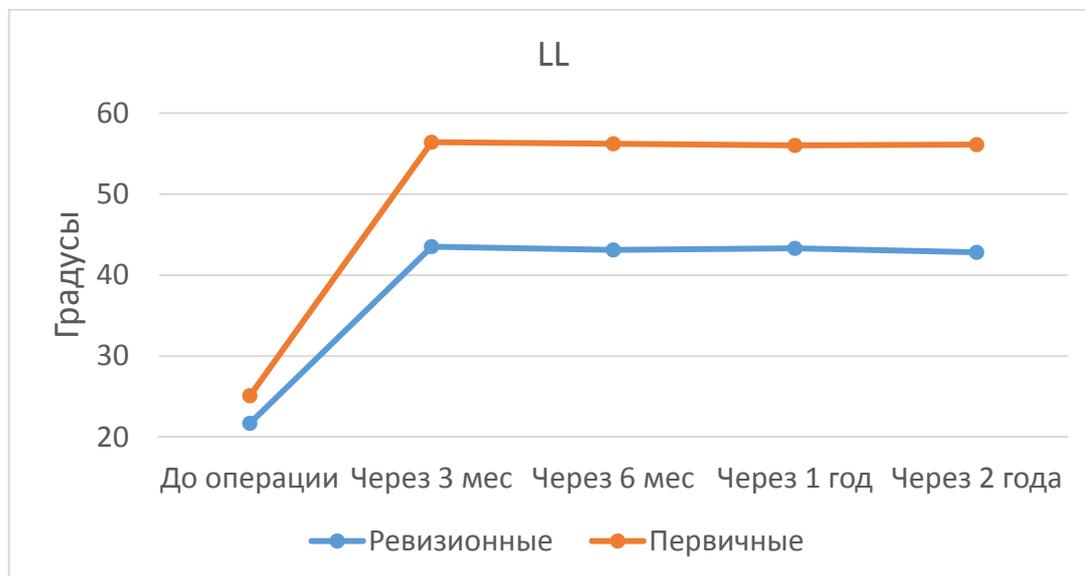


Рисунок 5.40 – Графическое отображение динамических изменений LL в раннем и отдаленном послеоперационных периодах в двух группах исследования. По результатам исследования отмечается более выраженная (на 9,9°, $p < 0,05$) коррекция средних показателей LL в первой группе. Существенной потери коррекции в течение периода последующего наблюдения в обеих группах не наблюдалось.

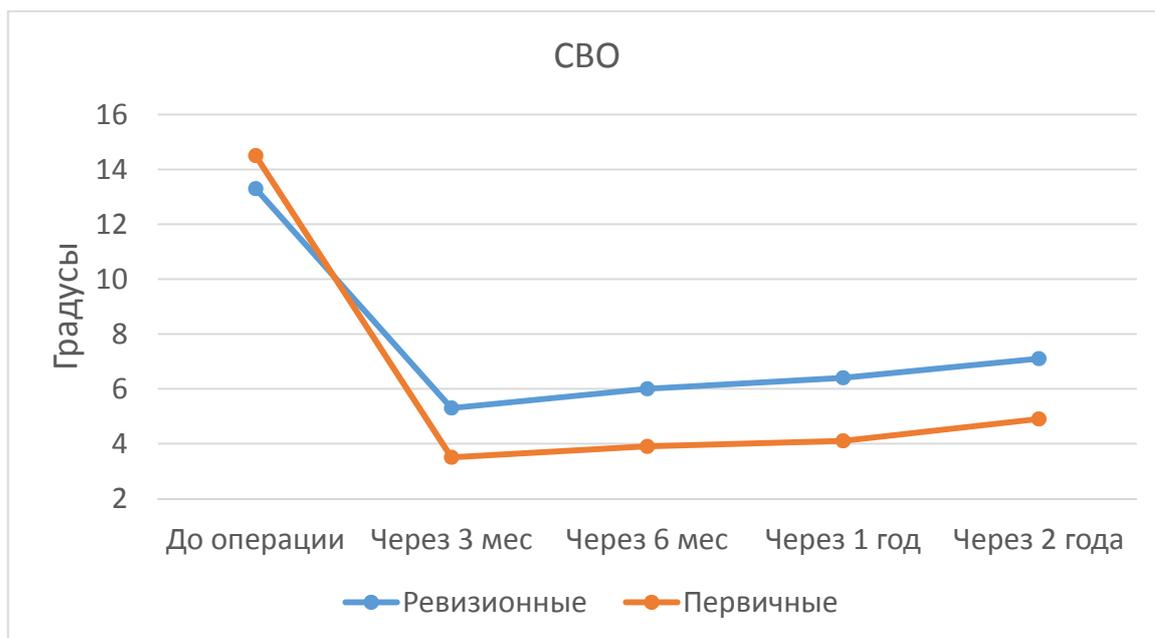


Рисунок 5.41 – Графическое отображение динамических изменений СВО в раннем и отдаленном послеоперационных периодах в двух группах исследования. По результатам исследования отмечается более выраженная (на 3,8 см) коррекция средних показателей СВО в первой группе, однако данные различия не превышали порог статистической значимости. Ко 2-му году наблюдения в обеих группах отмечалась потеря коррекции на 11,3% и 9,8% в группах I и II соответственно.

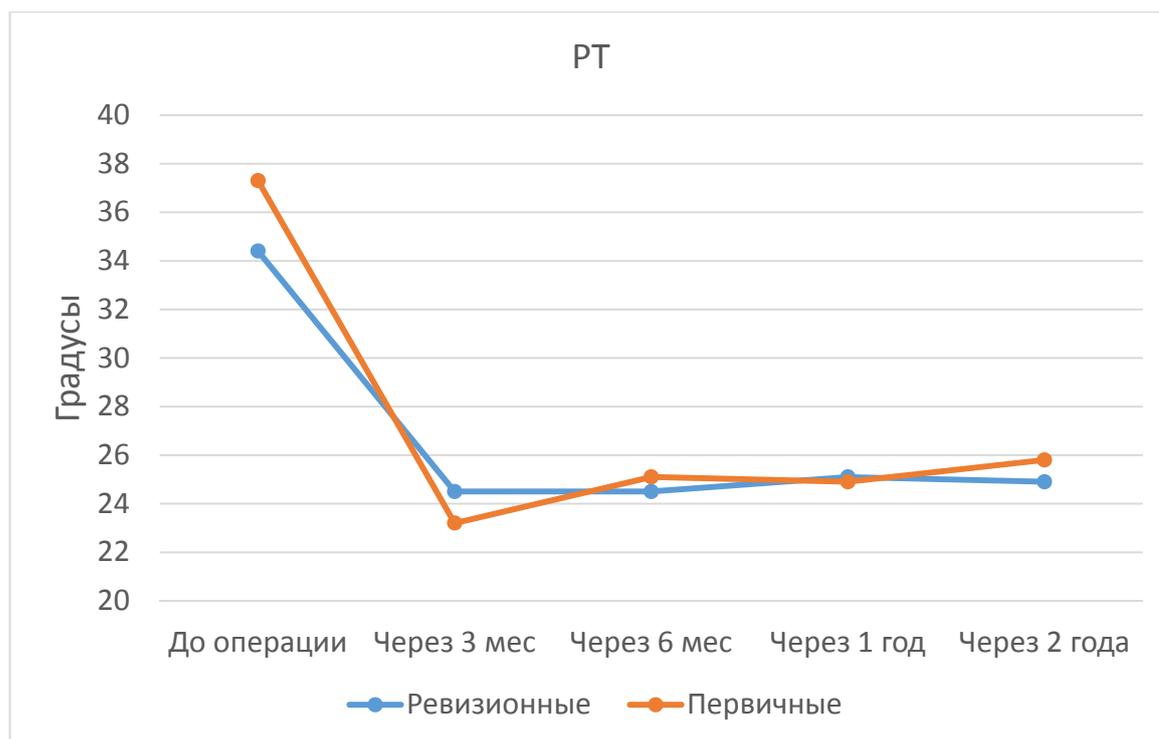


Рисунок 5.42 – Графическое отображение динамических изменений РТ в раннем и отдаленном послеоперационных периодах в двух группах исследования. Статистически значимых различий в степени коррекции и динамике изменения РТ между группами не отмечалось.

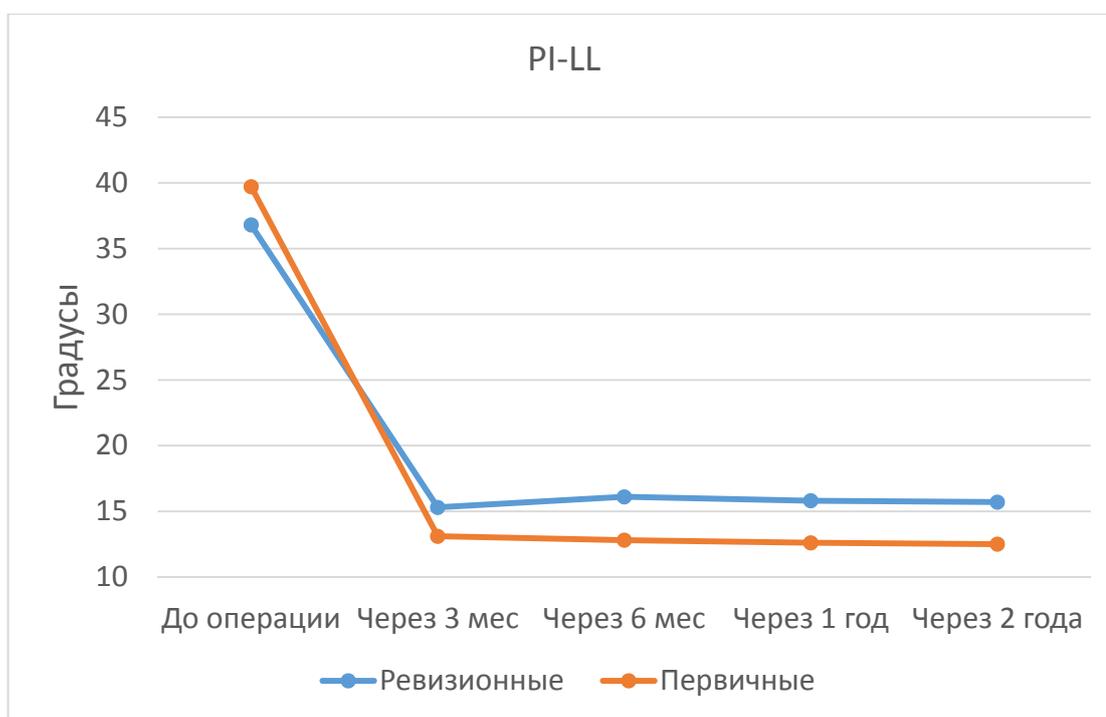


Рисунок 5.43 – Графическое отображение динамических изменений PI-LL в раннем и отдаленном послеоперационных периодах в двух группах исследования. По результатам исследования отмечается более выраженная (на $8,1^\circ$, $p < 0,05$) коррекция средних показателей несоответствия PI-LL в первой группе. За весь период последующего наблюдения значительной потери коррекции в обеих группах не наблюдалось.

Восстановление данного наиболее специфичного параметра позвоночно-тазовых взаимоотношений было существенно более выраженным в группе с первичными вмешательствами, что позволяет сделать заключение о больших возможностях коррекции сагиттального баланса за счет педикулярной субтракционной остеотомии у этой категории пациентов.

По результатам оценки качества жизни пациентов до операции и в отдаленном послеоперационном периоде также наблюдалось значительное улучшение по всем показателям в обеих группах. В то же время, нужно отметить, что в группе пациентов, которым выполнялись ревизионные вмешательства, показатели качества жизни были статистически значимо более низкими чем у пациентов с первичными вмешательствами при поступлении (SRS-22: $2,8 \pm 1,3$ в группе I и $2,1 \pm 1,1$ в группе II, ODI: $53,6 \pm 29\%$ и $60,9 \pm 34\%$, ВАШ: $5,7 \pm 2,9$ и $6,5 \pm 2,4$

баллов соответственно). При сравнительном анализе данных в обеих группах по степени улучшения качества жизни в отдаленном послеоперационном периоде, статистически значимые различия отмечались только между показателями Oswestry: на $47,2 \pm 26,1\%$ и $32,1 \pm 24,3\%$ лучше в группе I и II соответственно. Статистически значимых различий в степени улучшения показателей SRS-22 и ВАШ выявлено не было (Таблица 5.12).

Таблица 5.12

Сравнение показателей качества жизни в соответствии с опросниками ВАШ, ODI, SRS-22 (общий балл) до операции и степени их улучшения (в%) в отдаленном послеоперационном периоде.

	До операции			% улучшения		
	Первичные (σ)	Ревизионные (σ)	P	Первичные (σ)	Ревизионные (σ)	P
ВАШ	$5,7 \pm 2,9$	$6,5 \pm 2,3$	0,021*	55,8 (37,5)	53,4 (32,9)	0,624
ODI	53,6 $\pm 29\%$	60,9 $\pm 34\%$	0,003*	47,2 (26,1)	32,1 (24,3)	0,003*
SRS-22	$2,8 \pm 2,3$	$2,1 \pm 1,1$	0,015*	44,7 (31,6)	41,3 (36,2)	0,385

σ – среднеквадратичное отклонение. Порог статистической значимости $P=0,05$ (* – статистически значимые значения).

Общий процент пациентов с серьезными осложнениями в периоперационном и отдаленном послеоперационном периодах в группе II составил 55,2%, тогда как в группе I общий процент таких пациентов был ниже – 29,2% ($P < 0,05$). Серьезные осложнения в группе II включали повреждения дуральной оболочки с ликвореей (13,0%), неврологический дефицит (20,7%), инфекционные осложнения (6,9%), псевдоартроз (21,7%), переломы стержней (6,9%), РЖК (17,2%). В группе I повреждения дуральной оболочки с ликвореей наблюдались в 12,5% случаев, неврологический дефицит в 12,5%, инфекционные осложнения в 8,3%, псевдоартроз в 8,3%, переломы стержней в 12,5%, РЖК в 8,3% случаев. Ревизионные вмешательства понадобились в 24,1% случаев в группе с ревизионными вмешательствами и в 12,5% случаев в группе с первичными вмешательствами (Таблица 5.13).

Таблица 5.13

Сравнение частоты серьезных интраоперационных и послеоперационных осложнений в двух группах.

Осложнения	Первичные	Ревизионные	P
Дуральные повреждения/ликворея	12,5%	13,8%	0,828
Переломы стержней	12,5%	6,9%	0,229
Псевдоартроз	8,3%	24,1%	<0,001*
PJK/DJK	8,3%	17,2%	0,042*
Неврологический дефицит	12,5%	20,7%	0,137
Инфекция	8,3%	6,9%	0,764
Пациенты с серьезными осложнениями	29,2%	55,2%	0,017*
Ревизионные вмешательства	12,5%	24,1%	0,116

*- статистически значимые отличия

В группе с первичными хирургическими вмешательствами (Группа I), повреждения дуральной оболочки с ликвореей наблюдались у 3 пациентов (12,5%) и имели клинические последствия в двух случаях в виде головной боли в первые дни после операции. Пациентам с данным осложнением раневой дренаж удалялся на вторые сутки и назначался постельный режим с вертикализацией на третьи сутки. Неврологический дефицит наблюдался у 3 пациентов (12,5%) и имел сенсорный характер в одном случае и моторный характер у 2 пациентов. Во всех случаях дефицит регрессировал в отдаленном послеоперационном периоде. Инфекционные осложнения наблюдались у 2 пациентов (8,3%). В обоих случаях проводилась специфическая антибактериальная терапия и ревизионного оперативного вмешательства не требовалось. Псевдоартроз был выявлен по данным КТ у 2 пациентов (8,3%). В обоих случаях клинических проявлений псевдоартроза не наблюдалось. Переломы стержней вне зоны остеотомии были выявлены у 3 пациентов (12,5%): в одном случае на уровне вершины грудной

дуги деформации и в двух – на уровне L5-S1. В обоих случаях пациентам было выполнено ревизионное оперативное вмешательство и перемонтаж металлоконструкции. РЖК наблюдался у 2 пациентов (8,3%), через 3 месяца в одном случае и через год и 2 месяца в другом.

Серьезные осложнения при ревизионных вмешательствах (Группа II) включали повреждения дуральной оболочки с ликвореей у 4 пациентов (13,8%). Во всех случаях дефекты удалось успешно ушить и клинических проявлений в послеоперационном периоде не наблюдалось. Неврологический дефицит наблюдался у 6 пациентов (20,7%), в виде умеренного одностороннего дистального пареза в двух случаях, выраженного проксимального пареза в одном случае (потребовалась ревизионная операция) и сенсорных нарушений в 3 случаях. При этом в 5 из 6 случаев дефицит был временным и полностью регрессировал в отдаленном послеоперационном периоде. В одном случае, к моменту последнего осмотра (через 3 года) у пациентки сохранялось снижение моторной функции в левой нижней конечности до 3 баллов. Инфекционные осложнения имели место у 2 пациентов (6,9%). В одном случае в раневом отделяемом был выявлен рост *Staphylococcus aureus*, рана велась открыто на небольшом протяжении и зажила вторичным натяжением. Псевдоартроз по данным КТ был выявлен у 7 пациентов (24,1%). В трех случаях наблюдались клинические проявления в виде усиления болевого синдрома при ходьбе, однако ревизионное вмешательство проводилось только в одном случае. Необходимо отметить, что в группе с ревизионными вмешательствами формирование псевдоартроза наблюдалось в 3 раза чаще. Данное обстоятельство можно связать с более выраженными фиброзными изменениями костной и мягких тканей вследствие предшествующих операций, меньшими возможностями для коррекции позвоночно-тазовых параметров и более ограниченном выборе уровня для проведения PSO. Переломы стержней вне зоны остеотомии наблюдались у 2 пациентов (6,9%). РЖК был выявлен у 5 пациентов (17,2%). При этом, в группе с ревизионным хирургическим лечением, данное осложнение встречалось более

чем в 2 раза чаще, чем при первичных операциях, что можно связать с меньшими возможностями достижения оптимальных показателей сагиттального баланса позвоночника у данной категории пациентов.

В группе I ревизионные вмешательства потребовались 3 пациентам (12,5%): в 2 случаях в связи с переломами стержней вне зоны остеотомии и в одном случае в связи с РЖК, сопровождавшимся переломом стержня и неврологическими нарушениями. Ревизионные вмешательства в группе II потребовались 7 пациентам (24,1%): в 3 случаях в связи с симптоматическим РЖК, в 1 случае в связи с мальпозицией транспедикулярного винта и развившимся неврологическим дефицитом, в 2 случаях из-за переломов стержней и в одном случае – в связи с потерей коррекции. Длительность послеоперационного пребывания пациентов в стационаре статистически значимо не отличалась между группами и составила $12,6 \pm 5,8$ и $14,2 \pm 7,3$ суток в группе I и II соответственно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования был проведен ретроспективный анализ результатов хирургического лечения 53 последовательно поступивших пациентов с применением педикулярной субтракционной остеотомии в условиях отделения патологии позвоночника ФГБУ «НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова» в период с 2012 по 2017 гг.

При отборе пациентов применялись следующие критерии включения: завершённый костный рост, наличие ригидной деформации позвоночника с нарушением сагиттального баланса, наличие постуральных рентгенограмм и данных оценки качества жизни до операции и в отдаленном послеоперационном периоде. Также применялись следующие критерии исключения: активный инфекционный процесс, активный онкологический процесс, спондилит, острая травма. Основной этап хирургического вмешательства во всех случаях, был выполнен двумя хирургами в соответствии с описанной далее методикой. Расчет параметров сагиттального баланса и планирование коррекции производились при помощи программного обеспечения Surgimar. В исследование были включены пациенты с минимальным периодом наблюдения не менее 24 месяцев.

Учитывая вышеуказанные критерии, в исследование были включены пациенты в возрасте от 18 до 82 лет. Средний возраст пациентов составил $58,9 \pm 12,3$ лет (18-81 лет). Среди пациентов, включённых в исследование, было 15 мужчин (28,3%), и 38 женщин (71,7%). Статистически значимых различий по полу и возрасту между группами выявлено не было.

Пациенты, включенные в исследование, были разделены на две группы. В первой группе (Группа I) пациентам с нарушением сагиттального баланса и показаниями к выполнению корригирующей остеотомии проводилось первичное хирургическое лечение с применением PSO. Группа включала 24 пациента. Вторая группа (Группа II) включала 29 ранее оперированных пациентов (во всех случаях в анамнезе имела место транспедикулярная фиксация и/или декомпрессия невральных структур) с ригидными деформациями позвоночника и нарушением

сагиттального баланса, которым в ходе исследования проводились ревизионные операции с применением PSO. Во всех случаях из медицинской документации были выписаны и проанализированы данные о денситометрических показателях, интраоперационных осложнениях, объеме кровопотери, продолжительности операции, продолжительности послеоперационной госпитализации, повторных операциях, а также о характере оперативного вмешательства (протяженность фиксации, уровень остеотомии). В отдаленном послеоперационном периоде проводилась оценка серьезных осложнений (повлиявших на исход оперативного лечения), включая инфекционные и неврологические осложнения, нестабильность металлоконструкции, псевдоартроз, PJK/DJK (proximal/distal junctional kyphosis – кифоз проксимальной/дистальной переходных зон).

За счет сегментарной клиновидной резекции, педикулярная субтракционная остеотомия позволяет приближать позвоночно-тазовые параметры к норме, восстанавливая тем самым глобальный сагиттальный баланс позвоночника. Восстановление оптимального сагиттального баланса, в свою очередь, обеспечивает функционально выгодное положение всех отделов опорно-двигательного аппарата, снимает постоянную нагрузку на мышцы, и приводит к значительному снижению болевого синдрома. Однако, учитывая достаточно высокую травматичность методики, ее применение в условиях ревизионного оперативного вмешательства может быть сопряжено с техническими сложностями и повышенным риском интраоперационных осложнений. Основные неблагоприятные факторы применения PSO при ревизионных операциях включают необходимость удаления старых конструкций, выраженные рубцовые изменения мягких тканей, анкилоз костных структур, рубцово-спаечный процесс в позвоночном канале. В то же время, применение PSO при первичных операциях у пациентов с нарушением сагиттального баланса все еще не имеет широкого распространения, что, вероятно, связано с нежеланием спинальных хирургов прибегать к столь радикальной методике при «первой попытке» коррекции сагиттального дисбаланса.

В отечественной литературе нам не удалось найти данных по эффективности применения педикулярной субтракционной остеотомии в условиях ревизионных или первичных вмешательств, как и крупных исследований по применению методики в целом. Освещение данной проблемы в мировой литературе также очень ограничено, и анализ незначительного числа исследований, посвященных сравнению эффективности применения PSO при ревизионных и первичных операциях не приводит к однозначному заключению. По данным крупного мультицентрового исследования Gupta и соавт., проведенном в рамках International Spine Study Group, первичное применение PSO позволяет добиться более выраженной коррекции позвоночно-тазовых параметров, и связано со статистической тенденцией к меньшему числу осложнений [63]. С другой стороны, при сравнении эффективности трехколонных остеотомий при первичных и ревизионных операциях, Lau и соавт. не выявили статистически значимых различий как в частоте осложнений, так и в степени коррекции позвоночно-тазовых параметров [92]. При этом, при анализе клинических результатов хирургического лечения пациентов с дегенеративными деформациями в целом, по данным Fu и соавт. исходы первичных и ревизионных вмешательств значимо не различались [58]. В то же время, по данным Cho и соавт., первичные оперативные вмешательства сопровождались значительно меньшим числом осложнений и лучшими клиническими результатами хирургического лечения [46], что также подтверждается результатами исследования Diebo и соавт., которые показали, что частота осложнений при ревизионных вмешательствах на 30% выше [49].

В нашем исследовании между группами сравнения не наблюдалось различий с точки зрения демографических показателей, данных денситометрии. Всем пациентам выполнялась остеотомия на одном уровне, чаще всего на уровне L3 с последующей четырехстержневой фиксацией. По продолжительности оперативного вмешательства статистически значимых различий между группами выявлено не было, однако в группе с первичными операциями объем кровопотери был достоверно ниже в среднем на 27.3%, что связано с характерным для

ревизионных операций снижением эффективности гемостатических мероприятий за счет рубцовых изменений мягких тканей. Средний угол сегментарной коррекции за счет остеотомии статистически значимо не различался и составил $28,3^\circ$ и $26,6^\circ$ в первой и второй группах, что соответствует показателям, описанным в литературе [35, 38, 45, 130]. Позвоночно-тазовые параметры и показатели глобального сагиттального баланса, которые измерялись на постуральных рентгенограммах, также не имели существенных различий между группами в предоперационном периоде. Важно отметить, что в отдаленном послеоперационном периоде достичь показателей $PI-LL \pm 10^\circ$, $SVO < 50$ мм, $PT < 20-30^\circ$ удалось у 83% пациентов в группе I и у 65% пациентов в группе II ($p < 0,05$). В группе с первичными вмешательствами наблюдалась статистическая тенденция к более выраженной коррекции показателей SVO , однако данные различия не превышали установленного порога статистической значимости. Основное внимание на себя обращает тот факт, что различия в средней степени коррекции поясничного лордоза и степени коррекции несоответствия $PI-LL$ были существенными и статистически значимыми. Данные показатели были соответственно на 31,6% и 28,7% выше в группе пациентов, которым проводились первичные операции, что указывает на менее удовлетворительные результаты коррекции позвоночно-тазовых параметров при ревизионных вмешательствах. Эти данные перекликаются с результатами, полученным Gupta и соавт., которые показали, что адекватных значений несоответствия $PI-LL$ в группе с первичными вмешательствами удалось добиться на 26% чаще, чем при ревизионных вмешательствах [63]. Эти различия, вероятно, можно объяснить более выраженным анкилозом поясничного отдела позвоночника, наличием межтелового спондилодеза и межтеловых имплантов у значительной части оперированных ранее пациентов, что ограничивает степень возможной коррекции пояснично-крестцового отдела позвоночника. В то же время, приближающиеся к статистически значимым различия в степени коррекции SVO , а соответственно – глобального сагиттального баланса, с более низкими показателями в группе ревизионных вмешательств, могут отражать наличие кифотических изменений

смежных с зоной металлофиксации уровней позвоночного столба, что особенно характерно для оперированных пациентов со сниженной минеральной плотностью костной ткани.

Средние показатели качества жизни пациентов значительно улучшились в обеих группах в отдаленном послеоперационном периоде по данным анкетирования. У ранее оперированных пациентов исходные данные опросников ВАШ, SRS-22 и ODI были статистически значимо ниже, чем при первичных вмешательствах, однако, за исключением показателей ODI (в группе I степень улучшения показателей трудоспособности по ODI была на 15.1% выше), степень улучшения качества жизни в отдаленном периоде существенно не различалась.

Общий процент пациентов с серьезными осложнениями в группе с первичными и ревизионными вмешательствами составил соответственно 29% и 55%, что сопоставимо с данными литературы [37, 41, 48]. Существенных различий в частоте неврологических, инфекционных осложнений, переломов компонентов металлоконструкции, проксимального и дистального кифоза переходных зон не наблюдалось, однако в процентном соотношении, среди всех осложнений, в группе с ревизионными вмешательствами почти в два раза чаще наблюдался неврологический дефицит, в три раза чаще наблюдался псевдоартроз и в два раза чаще РЖК. Данные различия можно связать с вовлечением у ревизионных пациентов в рубцово-спаечный процесс нервных структур, ограничением их мобильности относительно костных структур, что может повышать риск осложнений особенно в момент смыкания дефекта зоны остеотомии [41, 129, 131]. Более высокая частота формирования псевдоартроза в группе пациентов, которым проводились ревизионные операции может отражать нарушение трофики костной ткани и окружающих мягких тканей, эффект экранирования нагрузок на костную ткань в зоне предшествующей металлофиксации. Большая частота формирования кифотических изменений проксимальной переходной зоны в группе с ревизионными вмешательствами, вероятно связана с более частыми случаями недостаточной коррекции. По данным литературы, ревизионные операции у пациентов с деформациями

позвоночника также связаны с бóльшим риском инфекционных осложнений, что обусловлено в среднем большей кровопотерей, большей продолжительностью оперативного вмешательства, нарушением трофики тканей [85]. Однако в данном исследовании различий в частоте инфекционных осложнений между группами не наблюдалось. Частота ревизионных вмешательств также была ниже в группе с первично оперированными пациентами (12,5% к 24,1% случаев).

В то же время, более чем шестилетний период применения педикулярной субтракционной остеотомии в условиях отделения патологии позвоночника НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова показал, что, при выполнении методики двумя хирургами с достаточным опытом, четырехстержневой фиксации зоны остеотомии, применении интраоперационного нейромониторинга, соблюдении мер профилактики хирургических осложнений и, что самое главное, тщательного предоперационного планирования и правильного расчета показателей сагиттального баланса, возможно существенно ограничить осложнения PSO.

Литературные сведения о применении методик, направленных на увеличение прочности фиксации зоны остеотомии при выполнении PSO крайне ограничены. Применение дополнительных стержней для стабилизации позвоночника при выполнении грудных и поясничных трехколонных остеотомий ранее было описано Nuun и соавт [76]. В отличие от методики, предложенной в настоящем исследовании, в их исследовании дополнительные стержни крепились не к транспедикулярным винтам, установленным непосредственно в смежные с зоной остеотомии тела позвонков, а фиксировались к основным стержням при помощи поперечных коннекторов. Хотя данный подход также обеспечивает распределение нагрузки между бóльшим количеством стержней, он не позволяет уменьшить угол изгиба основных стержней на уровне остеотомии, что, вероятно, сохраняет их бóльшую подверженность усталостным переломам. Тем не менее, авторы также отметили значительное снижение частоты формирования псевдоартроза и переломов стержней в зоне остеотомии, по сравнению с традиционной двухстержневой фиксацией. Gupta и соавт. провели сходное с представленным нами ретроспективное исследование, в котором сравнивались

результаты хирургического лечения пациентов, которым выполнялась педикулярная субтракционная остеотомия с четырехстержневой (29 пациентов) и двухстержневой (20 пациентов) фиксацией [65]. По их данным, в группе с четырехстержневой фиксацией в отдаленном послеоперационном периоде также не наблюдалось переломов стержней, тогда как в группе со стандартной двухстержневой фиксацией переломы наблюдались в 25% случаев. Также, в контрольной группе почти в 7,5 раз чаще наблюдался псевдоартроз. Основываясь на полученных результатах, обе группы авторов рекомендует применение дополнительных стержней для более надежной стабилизации трехколонных остеотомий позвоночника.

Педикулярная субтракционная остеотомия позволяет эффективно корректировать сагиттальный баланс, что является одной из первостепенных задач успешного хирургического лечения деформаций позвоночника, особенно у пациентов старшей возрастной группы. Данная методика может применяться как при ревизионных вмешательствах, так и у первично оперированных пациентов, обеспечивая адекватную коррекцию позвоночно-тазовых параметров, снижение болевого синдрома и повышение качества жизни больных. В настоящее время, в отечественной спинальной хирургии, PSO применяется достаточно редко, и методике в основном отводится роль «крайней меры» коррекции сагиттального дисбаланса при ревизионных оперативных вмешательствах.

Результаты представленного исследования продемонстрировали, что применение педикулярной субтракционной остеотомии при первичных оперативных вмешательствах позволяет дает возможность более эффективной коррекции глобального сагиттального баланса позвоночника за счет пояснично-крестцового отдела. В то же время, применение методики при ревизионных вмешательствах сопряжено с более значительными объемами интраоперационной кровопотери, рисками формирования псевдоартроза и развития неврологических осложнений. Учитывая стремительное старение населения в мире и в нашей стране в частности, и все большую готовность пациентов с деформациями позвоночника обращаться за помощью к хирургам-вертебрологам, крайне важно

правильно оценивать параметры сагиттального баланса, что возможно только при помощи постуральной рентгенографии. Своевременная коррекция сагиттального баланса позвоночника у данной категории пациентов может существенно снизить частоту хирургических осложнений и повторных вмешательств, а также улучшить качество жизни больных в отдаленном периоде.

ВЫВОДЫ

1. Выполнение постуральных рентгенограмм позволяет с высокой достоверностью оценивать параметры сагиттального баланса позвоночника, в связи с чем, метод исследования можно рекомендовать как скрининговый при отборе пациентов для хирургической коррекции деформаций позвоночника. В то же время данные постуральной рентгенографии позволяют рассчитывать степень необходимой коррекции, что делает их незаменимым инструментом в лечении пациентов с нарушением сагиттального баланса.
2. Разработанный алгоритм выбора рациональной хирургической тактики в лечении пациентов с ригидными деформациями позвоночника и нарушением сагиттального баланса, включающий выполнение постуральной рентгенографии и применение четырехстержневой фиксации зоны PSO, позволил добиться эффективной коррекции деформаций у 76% пациентов.
3. Применение четырехстержневой фиксации зоны педикулярной субтракционной остеотомии вместо стандартной двухстержневой, описанной в литературе в несколько раз снижает риски переломов стержней и развития псевдоартроза в зоне остеотомии.
4. Применение педикулярной субтракционной остеотомии у пациентов с ригидными деформациями позвоночника позволяет добиться оптимальной коррекции сагиттального баланса ($PI-LL \pm 10^\circ$, $SVO < 50 \text{ мм}$, $PT < 20-30^\circ$) при первичном обращении в 87% случаев, что больше, чем при ревизионном хирургическом вмешательстве, на 22% ($p < 0,05$).
5. По данным исследования, первичное применение педикулярной субтракционной остеотомии для коррекции сагиттального баланса позвоночника позволяет добиться на 31% и 32% более эффективной коррекции LL и PI-LL, сопровождается меньшей в среднем на 27,3% кровопотерей, меньшей продолжительностью операции, и почти в два раза реже приводит к развитию тяжелых осложнений и повторным операциям.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

- ❖ При подозрении на нарушение сагиттального баланса позвоночника в комплекс обследования необходимо включить постуральную рентгенографию, при выполнении которой пациент должен минимизировать компенсаторное сгибание в суставах нижних конечностей;
- ❖ Педикулярная субтракционная остеотомия показана только при подтвержденной в ходе обследования ригидности деформации в сагиттальной плоскости; в случаях сохраненной мобильности позвоночника эффективная коррекция возможна за счет менее травматичных остеотомий задней колонны;
- ❖ При выполнении педикулярной субтракционной остеотомии следует:
 - предусмотреть участие в операции двух опытных хирургов, что более эффективно, сокращает время операции и снижает риск развития осложнений;
 - использовать нейромониторинг или проведение wake-up теста;
 - применять четырехстержневую фиксацию, что снижает риски переломов металлоконструкций и развития псевдартроза.
- ❖ При расчете необходимой степени коррекции деформаций позвоночника следует учитывать:
 - несоответствие PI-LL, являющееся наиболее специфичным и надежным рентгенографическим показателем сагиттального дисбаланса;
 - индивидуальные особенности пациента ввиду существования различных вариантов нормы, а также его возраст.
- ❖ Первичное применение педикулярной субтракционной остеотомии имеет преимущество перед ревизионными операциями, позволяя снизить риски осложнений и необходимости повторных вмешательств.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

- ВАШ – Визуальная Аналоговая Шкала
ВОЗ – Всемирная Организация Здравоохранения
ЛФК – Лечебная Физкультура
МРТ – Магнитно-Резонансная Томография
МСКТ(КТ) – Мультиспиральная Компьютерная Томография
НПВС – Нестероидные Противовоспалительные Средства
ОЦК – Объем Циркулирующей Крови
ПДС – Позвоночно-Двигательный Сегмент
ПО – Программное Обеспечение
СБ – Сагиттальный Баланс
СВО – Сагиттальная Вертикальная Ось
ТПФ – Транспедикулярная фиксация
ЭОП – Электронно-Оптический Преобразователь
ДЖК – Кифоз Дистальной Переходной Зоны (Distal Junctional Kyphosis)
LL – Поясничный Лордоз (Lumbar Lordosis)
ODI – Индекс Нетрудоспособности Освестри (Oswestry Disability Index)
PI – Тазовый Индекс (Pelvic Incidence)
PJF – Недостаточность Проксимальной Переходной зоны (Proximal Junctional Failure)
РЖК – Кифоз Проксимальной Переходной Зоны (Proximal Junctional Kyphosis)
РО – Остеотомия по Ponte (Ponte Osteotomy)
PSO – Педикулярная Субтракционная Остеотомия (Pedicule Subtraction Osteotomy)
РТ – Наклон Таза (Pelvic Tilt)
SF36 – Short Form 36
SPO – Остеотомия по Smith Petersen (Smith Petersen Osteotomy)
SRS – Общество Изучения Сколиоза (Scoliosis Research Society)
SS – Наклон Таза (Sacral Slope)
ТК – Грудной Кифоз (Thoracic Kyphosis)
ТРА – Th1/Тазовый Угол (T1/Pelvic Angle)
VCR – Резекция Позвоночного Столба (Vertebral Column Resection)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бурцев АВ, Рябых СО, Котельников АО, Губин АВ (2017) Клинические аспекты сагиттального баланса у взрослых. Гений Ортопедии 23:228–235. doi: 10.18019/1028-4427-2017-23-2-228-235
2. Ветрилэ СТ, Кулешов АА, Ветрилэ МС, Челпаченко ОБ (2009) Оперативное лечение тяжелых протяженных кифотических деформаций грудного и поясничного отделов позвоночника. Хирургия позвоночника 20–29
3. Ветрилэ СТ, Кулешов АА, Кисель АА, Прохоров АН, Еналдиева РВ (2005) Дорсальная хирургическая коррекция сколиоза инструментарием Cotrel – Dubousset с предварительной галопельвиктракцией и без нее. Хирургия позвоночника 32–39
4. Ветрилэ СТ, Кулешов АА, Швец ВВ, Кисель АА, Ветрилэ МС, Гусейнов ВГ (2009) Концепция оперативного лечения различных форм сколиоза с использованием современных технологий. Хирургия позвоночника 21–30
5. Губин АВ, Прудникова ОГ, Камышева ВВ, Коваленко ПИ, Нестерова ИН (2017) Клиническая апробация русскоязычной версии анкеты SRS-22 для взрослых пациентов со сколиозом. Хирургия позвоночника 14:31–40
6. Дюбуссе Ж (2017) Достижение гармонии в 3D-коррекции деформаций позвоночника. Хирургия позвоночника 14:102–109
7. Колесов СВ (2014) Хирургия деформаций позвоночника. Под ред. акад. РАН С.П. Миронова. М:Авторская Академия
8. Михайлов ДАА, Пташников ДАА, Масевнин СВВ, Смекаленков ОАА, Заборовский НСС, Лапаева ОАА, Мураби З (2017) Результаты лечения пациентов пожилого и старческого возраста с дегенеративными деформациями и нестабильностью позвоночника. Травматология и ортопедия России 23:15–26. doi: 10.21823/2311-2905-2017-23-2-15-26.
9. Михайловский МВ, Новиков ВВ, Васюра АС, Удалова ИГ (2015) Хирургическая коррекция врожденных кифозов у больных старше 10 лет. Сибирский научный медицинский журнал 35:78–83
10. Михайловский МВ, Суздалов ВА (2016) Хирургическое лечение пациентов со сколиозами 1-й декады жизни : обзор литературы. Хирургия позвоночника 13:36–44
11. Попов ИВ, Захарин ВР, Шаров ВА, Кузьминова АД (2018) Анализ сагиттального баланса у пациентов травматолого-ортопедического профиля. Смоленский медицинский альманах 2:16–21. doi: 10.1017/СВО9781107415324.004
12. Рябых СО, Савин ДМ (2013) Возможности оперативного лечения кифозов III типа методом «Pedicel subtraction osteotomy». Гений Ортопедии 1:120–123

13. Рябых СО, Филатов ЕЮ, Савин ДМ (2017) Трехколонные вертебротомии вне апикальной зоны как способ коррекции деформаций шейно-грудного перехода : анализ клинической серии и данных литературы. Хирургия позвоночника 14:15–22
14. Смекаленков ОА, Пташников ДА, Божкова СА, Масевнин СВ, Заборовский НС, Михайлов ДА (2017) Анализ ранних инфекционных осложнений у пациентов после хирургических вмешательств на позвоночнике. Хирургия позвоночника 14:82–87
15. Снетков АА, Колесов СВ, Сажнев МЛ, Шаболдин АН (2016) Хирургическое лечение тяжелых форм врожденных сколиозов. Вестник травматологии и ортопедии им НН Приорова 2:18–24
16. Удалова ИГ, Михайловский МВ (2013) Неврологические осложнения в хирургии сколиоза. Хирургия позвоночника 38–43
17. Черепанов ЕА (2011) Русская версия опросника Освестри: валидность и надежность теста. Вестник травматологии и ортопедии им НН Приорова 1:73–79
18. Черепанов ЕА (2009) Русская Версия Опросника Освестри: Культурная Адаптация И Валидность. Хирургия Позвоночника 93–98. doi: 10.14531/ss2009.3.93-98
19. Ailon T, Shaffrey CI, Lenke LG, Harrop JS, Smith JS (2015) Progressive spinal kyphosis in the aging population. Neurosurgery 77:S164–S172. doi: 10.1227/NEU.0000000000000944
20. Ames CP, Barry JJ, Keshavarzi S, Dede O, Weber MH, Deviren V (2013) Perioperative Outcomes and Complications of Pedicle Subtraction Osteotomy in Cases With Single Versus Two Attending Surgeons. Spine Deform 1:51–58. doi: 10.1016/j.jspd.2012.10.004
21. Ames CP, Smith JS, Scheer JK, Bess S, Bederman SS, Deviren V, Lafage V, Schwab FJ, Shaffrey CI (2012) Impact of spinopelvic alignment on decision making in deformity surgery in adults: A review. J Neurosurg Spine 16:547–564. doi: 10.3171/2012.2.SPINE11320
22. Annis P, Dheerendra S, Daubs M, Brodke D (2016) Perioperative complications of pedicle subtraction osteotomy. Glob spine J 16:S67. doi: 10.1016/j.spinee.2016.01.159
23. Asher M, Lai SM, Burton D, Manna B (2003) The Reliability and Concurrent Validity of the Scoliosis Research Society-22 Patient Questionnaire for Idiopathic Scoliosis. Spine (Phila Pa 1976) 28:63–69. doi: 10.1097/00007632-200301010-00015
24. Auerbach JD, Lenke LG, Bridwell KH, Sehn JK, Milby AH, Bumpass D, Crawford CH, O’Shaughnessy B a, Buchowski JM, Chang MS, Zebala LP, Sides

- B a (2012) Major complications and comparison between 3-column osteotomy techniques in 105 consecutive spinal deformity procedures. *Spine (Phila Pa 1976)* 37:1198–1210. doi: 10.1097/BRS.0b013e31824fffde
25. Bao H, Lafage R, Liabaud B, Elysée J, Diebo BG, Poorman G, Jalai C, Passias P, Buckland A, Bess S, Errico T, Lenke LG, Gupta M, Kim HJ, Schwab F, Lafage V (2018) Three types of sagittal alignment regarding compensation in asymptomatic adults: the contribution of the spine and lower limbs. *Eur Spine J* 27:397–405. doi: 10.1007/s00586-017-5159-7
 26. Barrey C, Perrin G, Michel F, Vital JM, Obeid I (2014) Pedicle subtraction osteotomy in the lumbar spine: Indications, technical aspects, results and complications. *Eur J Orthop Surg Traumatol* 24. doi: 10.1007/s00590-014-1470-8
 27. Barrey C, Roussouly P, Perrin G, Le Huec JC (2011) Sagittal balance disorders in severe degenerative spine. Can we identify the compensatory mechanisms? *Eur Spine J* 20:1–8. doi: 10.1007/s00586-011-1930-3
 28. Berjano P, Aebi M (2014) Pedicle subtraction osteotomies (PSO) in the lumbar spine for sagittal deformities. *Eur Spine J* 24:49–57. doi: 10.1007/s00586-014-3670-7
 29. Berjano P, Pejrona M, Damilano M, Cecchinato R, Aguirre MFI, Lamartina C (2014) Corner osteotomy: a modified pedicle subtraction osteotomy for increased sagittal correction in the lumbar spine. *Eur Spine J* 24:58–65. doi: 10.1007/s00586-014-3618-y
 30. Berthonnaud E, Dimnet J, Roussouly P, Labelle H (2005) Analysis of the Sagittal Balance of the Spine and Pelvis Using Shape and Orientation Parameters. *J spi* 18:40–47
 31. Bess S, Schwab F, Lafage V, Shaffrey CI, Ames CP (2013) Classifications for Adult Spinal Deformity and Use of the Scoliosis Research Society-Schwab Adult Spinal Deformity Classification. *Neurosurg Clin N Am* 24:185–193. doi: 10.1016/j.nec.2012.12.008
 32. Bianco K, Schwab FJ, Norton RP, Smith JS, Obeid I, Mundis GM, Kebaish KM, Hostin RA, Hart RA, Burton DC, Ames CP, Boachie-Adjei O, Protosaltis TS, Lafage V (2013) Complications and Intercenter Variability of Three-Column Osteotomies for Spinal Deformity Surgery: A Retrospective Review of 423 Patients. *Spine J* 13:S60–S61. doi: 10.1016/j.spinee.2013.07.172
 33. Boody BS, Rosenthal BD, Jenkins TJ, Patel AA, Savage JW, Hsu WK (2017) Iatrogenic Flatback and Flatback Syndrome. *Clin Spine Surg* 30:142–149
 34. Boulay C, Tardieu C, Hecquet J, Benaim C, Mouilleseaux B, Marty C, Prat-Pradal D, Legaye J, Duval-Beaupere G, Pelissier J (2006) Sagittal alignment of spine and pelvis regulated by pelvic incidence : standard values and prediction of lordosis. *Eur Spine J* 15:415–422. doi: 10.1007/s00586-005-0984-5

35. Bridwell KH (2006) Decision making regarding Smith-Petersen vs. pedicle subtraction osteotomy vs. vertebral column resection for spinal deformity. *Spine (Phila Pa 1976)* 31:S171--8. doi: 10.1097/01.brs.0000231963.72810.38
36. Bridwell KH, Lenke LG, Cho SK, Pahys JM, Zebala LP, Dorward IG, Cho W, Baldus C, Hill BW, Kang MM (2013) Proximal junctional kyphosis in primary adult deformity surgery: Evaluation of 20 degrees as a critical angle. *Neurosurgery* 72:899–906. doi: 10.1227/NEU.0b013e31828bacd8
37. Bridwell KH, Lewis SJ, Edwards C, Lenke LG, Iffrig TM, Berra A, Baldus C, Blanke K (2003) Complications and outcomes of pedicle subtraction osteotomies for fixed sagittal imbalance. *Spine (Phila Pa 1976)* 28:2093–2101. doi: 10.1097/01.brs.0000090891.60232.70
38. Bridwell KH, Lewis SJ, Lenke LG, Baldus C, Blanke KM (2003) Pedicle subtraction osteotomy for the treatment of fixed sagittal imbalance. *J bone Jt Surg* 85–A:454–463
39. Bridwell KH, Lewis SJ, Rinella A, Lenke LG, Baldus C, Blanke KM (2004) Pedicle Subtraction Osteotomy for the Treatment of Fixed Sagittal Imbalance. *J bone Jt Surg* 85–A:454–463
40. Briggs H, Keats S, Schlesinger PT (1947) Wedge osteotomy of the spine with bilateral intervertebral foraminotomy; correction of flexion deformity in five cases of ankylosing arthritis of the spine. *J Bone Jt Surg AmAm* 29:1075–82
41. Buchowski JM, Bridwell KH, Lenke LG, Kuhns CA, Lehman RA, Kim YJ, Stewart D, Baldus C (2007) Neurologic complications of lumbar pedicle subtraction osteotomy: A 10-year assessment. *Spine (Phila Pa 1976)* 32:2245–2252. doi: 10.1097/BRS.0b013e31814b2d52
42. Cecchinato R, Berjano P, Aguirre MFI, Lamartina C (2014) Asymmetrical pedicle subtraction osteotomy in the lumbar spine in combined coronal and sagittal imbalance. *Eur Spine J* 24:66–71. doi: 10.1007/s00586-014-3669-0
43. Chang D-G, Ha K-Y, Kim Y-H, Lee E-W (2014) Spinopelvic Alignment by Different Surgical Methods in the Treatment of Degenerative Sagittal Imbalance of the Lumbar Spine
44. Chang K-W, Cheng C-W, Chen H-C, Chang K-I, Chen T-C (2008) Closing-Opening Wedge Osteotomy for the Treatment of Sagittal Imbalance. *Spine (Phila Pa 1976)* 33:1470–1477. doi: 10.1097/BRS.0b013e3181753bcd
45. Cho KJ, Bridwell KH, Lenke LG, Berra A, Baldus C (2005) Comparison of Smith-Petersen versus pedicle subtraction osteotomy for the correction of fixed sagittal imbalance. *Spine (Phila Pa 1976)* 30:2030–2037. doi: 10.1097/01.brs.0000179085.92998.ee
46. Cho SK, Bridwell KH, Lenke LG, Cho W, Zebala LP, Pahys JM, Kang MM, Yi J, Baldus CR (2012) Comparative analysis of clinical outcome and complications in

- primary versus revision adult scoliosis surgery. *Spine (Phila Pa 1976)* 37:393–401. doi: 10.1097/BRS.0b013e31821f0126
47. Denis F (1983) The three column spine and its significance in the classification of acute thoracolumbar spinal injuries. *Spine (Phila Pa 1976)* 8:817–830
 48. Dickson DD, Lenke LG, Bridwell KH, Koester LA (2014) Risk factors for and assessment of symptomatic pseudarthrosis after lumbar pedicle subtraction osteotomy in adult spinal deformity. *Spine (Phila Pa 1976)* 39:1190–5. doi: 10.1097/BRS.0000000000000380
 49. Diebo BG, Passias PG, Marascalchi BJ, Jalai CM, Worley NJ, Errico TJ, Lafage V (2015) Primary versus revision surgery in the setting of adult spinal deformity: a nationwide study on 10,912 patients. *Spine (Phila Pa 1976)* 40:1674–1680. doi: 10.1097/BRS.0000000000001114
 50. Diebo BG, Shah NV, Stroud SG, Paulino CB, Schwab FJ, Lafage V (2018) Realignment surgery in adult spinal deformity: Prevalence and risk factors for proximal junctional kyphosis. *Orthopade*. doi: 10.1007/s00132-018-3536-5
 51. Dorward IG, Lenke LG (2010) Osteotomies in the posterior-only treatment of complex adult spinal deformity: a comparative review. *Neurosurg Focus* 28:E4. doi: 10.3171/2009.12.FOCUS09259
 52. Duval-Beaupere C, Schmidt C, Cosson P (1992) Duval-Beaupere G, Schmidt C and Cosson P: A Barycentremetic Study of the Sagittal Shape of Spine and Pelvis: The Conditions Required for an Economic Standing Position. *Ann Biomed Eng* 20:451–462
 53. Enercan M, Ozturk C, Kahraman S, Sarier M, Hamzaoglu A, Alanay A (2013) Osteotomies/spinal column resections in adult deformity. *Eur Spine J* 22:254–264. doi: 10.1007/s00586-012-2313-0
 54. Fairbank JC, Couper J, Davies J, O'Brien J (1980) The Oswestry low back pain disability questionnaire. *Physiotherapy* 66:271–3
 55. Fairbank JC, Pynsent PB (2000) The Oswestry Disability Index. *Spine (Phila Pa 1976)* 15:2940–52
 56. Faundez A, Byrne F, Sylvestre C, Lafage V, Cogniet A, Le Huec JC (2014) Pedicle subtraction osteotomy in the thoracic spine and thoracolumbar junction: a retrospective series of 28 cases. *Eur Spine J* 24:42–48. doi: 10.1007/s00586-014-3658-3
 57. Ferrero E, Liabaud B, Henry JK, Ames CP, Kebaish K, Mundis GM, Hostin R, Gupta MC, Boachie-Adjei O, Smith JS, Hart RA, Obeid I, Diebo BG, Schwab FJ, Lafage V (2017) Sagittal alignment and complications following lumbar 3-column osteotomy: does the level of resection matter? *J Neurosurg Spine* 27:560–569. doi: 10.3171/2017.3.SPINE16357

58. Fu L, Chang MS, Crandall DG, Revella J (2014) Comparative analysis of clinical outcomes and complications in patients with degenerative scoliosis undergoing primary versus revision surgery. *Spine (Phila Pa 1976)* 39:805–811. doi: 10.1097/BRS.0000000000000283
59. Gangnet N, Dumas R, Pomero V, Mitulescu A, Skalli W, Vital J (2006) Three-Dimensional Spinal and Pelvic Alignment in an Asymptomatic Population. *Spine (Phila Pa 1976)* 31:E507–E512
60. Gill JB, Levin A, Burd T, Longley M (2008) Corrective osteotomies in spine surgery. *J Bone Joint Surg Am* 90:2509–2520. doi: 10.2106/JBJS.H.00081
61. Glattes RC, Burton DC, Lai SM, Frasier E, Asher MA (2007) The reliability and concurrent validity of the Scoliosis Research Society-22r patient questionnaire compared with the Child Health Questionnaire-CF87 patient questionnaire for adolescent spinal deformity. *Spine (Phila Pa 1976)* 32:1778–1784. doi: 10.1097/BRS.0b013e3180dc9bb2
62. Goh TS, Shin JK, Youn MS, Lee HS, Kim TH, Lee JS (2017) Surgical versus nonsurgical treatment of lumbar degenerative kyphosis. *Eur Spine J*. doi: 10.1007/s00586-017-5008-8
63. Gupta MC, Ferrero E, Mundis G, Smith JS, Shaffrey, Christopher I, Schwab F, Kim HJ, Boachie-Adjei, Oheneba Lafage V, Bess S, Hostin R, Burt E, Group ISS (2015) Pedicle subtraction osteotomy in the revision versus primary adult spinal deformity patient: is there a difference in correction and complications? *Spine (Phila Pa 1976)* 40:E1169–E1175. doi: 10.1097/BRS.0000000000001107
64. Gupta MC, Kebaish K, Blondel B, Klineberg E (2013) Spinal Osteotomies for Rigid Deformities. *Neurosurg Clin N Am* 24:203–211. doi: 10.1016/j.nec.2012.12.001
65. Gupta S, Eksi MS, Ames CP, Deviren V, Durbin-Johnson B, Smith JS, Gupta MC (2017) A Novel 4-Rod Technique Offers Potential to Reduce Rod Breakage and Pseudarthrosis in Pedicle Subtraction Osteotomies for Adult Spinal Deformity Correction. *Oper Neurosurg* 0:1–8. doi: 10.1093/ons/opx151
66. Hamilton DK, Buza JA, Passias P, Jalai C, Kim HJ, Ailon T, Gupta M, Sciubba D, Jain A, Ames CP, Deviren V, Daniels A, Lafage V, Bess S, Klineberg E, Shaffrey CI, Smith JS, Hart R, Passias PG, Kim HJ, Hart RA, Gupta MC, Sciubba DM, Ames CP, Deviren V, Daniels A, Virginie V, Bess S, Klineberg EO, Shaffrey CI, Smith JS (2017) The Fate of Patients with Adult Spinal Deformity Incurring Rod Fracture After Thoracolumbar Fusion. *World Neurosurg* 106:905–911. doi: 10.1016/j.wneu.2017.07.061
67. Hasegawa K, Okamoto M, Hatsushikano S (2016) Normative values of spino-pelvic sagittal alignment, balance, age, and health-related quality of life in a cohort of healthy adult subjects. *Eur Spine J* 2–5. doi: 10.1007/s00586-016-4702-2

68. Hedlund R (2012) Pedicle subtraction osteotomy in degenerative scoliosis. *Eur Spine J* 21:566–568. doi: 10.1007/s00586-012-2195-1
69. Hehne HJ, Zielke K, Bohm H (1990) Polysegmental lumbar osteotomies and transpedicled fixation for correction of long-curved kyphotic deformities in ankylosing spondylitis: report on 177 cases. *Clin Orthop* 258:49–55
70. Heinig CA (1984) Eggshell procedure. In: Luque ER (ed) *Segmental Spinal Instrumentation*. Thorofare, NJ, pp 221–230
71. Hey HWD, Tan KLM, Moorthy V, Lau ET-C, Lau L-L, Liu G, Wong H-K (2018) Normal variation in sagittal spinal alignment parameters in adult patients : an EOS study using serial imaging. *Eur Spine J* 27:578–584. doi: 10.1007/s00586-017-5459-y
72. Le Huec JC, Aunoble S (2012) Pedicle subtraction osteotomy for sagittal imbalance. *Eur Spine J* 21:1896–1897. doi: 10.1007/s00586-012-2474-x
73. Le Huec JC, Cogniet A, Demezou H, Rigal J, Saddiki R, Aunoble S (2014) Insufficient restoration of lumbar lordosis and FBI index following pedicle subtraction osteotomy is an indicator of likely mechanical complication. *Eur Spine J* 24:112–120. doi: 10.1007/s00586-014-3659-2
74. Le Huec JC, Faundez A, Dominguez D, Hoffmeyer P, Aunoble S (2014) Evidence showing the relationship between sagittal balance and clinical outcomes in surgical treatment of degenerative spinal diseases: a literature review. *Int Orthop* 39:87–95. doi: 10.1007/s00264-014-2516-6
75. Le Huec JC, Saddiki R, Franke J, Rigal J, Aunoble S (2011) Equilibrium of the human body and the gravity line: the basics. *Eur spine J* 20:S558–S563. doi: 10.1007/s00586-011-1939-7
76. Hyun S-J, Lenke LG, Kim Y-C, Koester LA, Blanke KM (2014) Comparison of standard 2-rod constructs to multiple-rod constructs for fixation across 3-column spinal osteotomies. *Spine (Phila Pa 1976)* 39:1899–904. doi: 10.1097/BRS.0000000000000556
77. Hyun SJ, Kim YJ, Rhim SC (2016) Patients with proximal junctional kyphosis after stopping at thoracolumbar junction have lower muscularity, fatty degeneration at the thoracolumbar area. *Spine J* 16:1095–1101. doi: 10.1016/j.spinee.2016.05.008
78. Iyer S, Lenke L, Nemani V, Albert TJ, Sides BA, Metz LN, Cunningham ME, Kim HJ (2016) Variations in Sagittal Alignment Parameters based on Age : A Prospective Study of Asymptomatic Volunteers using Full-Body Radiographs. *Spine (Phila Pa 1976)* 41:1826–1836
79. Kavadi N, Tallarico RA, Lavelle WF (2017) Analysis of instrumentation failures after three column osteotomies of the spine. *Scoliosis Spinal Disord* 12:19. doi: 10.1186/s13013-017-0127-x

80. Kelly MP, Lenke LG, Shaffrey CI, Ames CP, Carreon LY, Lafage V, Smith JS, Shimer AL (2014) Evaluation of complications and neurological deficits with three-column spine reconstructions for complex spinal deformity: a retrospective Scolio-RISK-1 study. *Neurosurg Focus* 36:E17. doi: 10.3171/2014.2.FOCUS1419
81. Kim DK, Kim JY, Kim DY, Rhim SC, Yoon SH (2017) Risk factors of proximal junctional kyphosis after multilevel fusion surgery: More than 2 years follow-up data. *J Korean Neurosurg Soc* 60:174–180. doi: 10.3340/jkns.2016.0707.014
82. Kim JS, Kim SM (2016) Surgical outcomes of post-fusion lumbar flatback deformity with sagittal imbalance. *J Korean Neurosurg Soc* 59:615–621. doi: 10.3340/jkns.2016.59.6.615
83. Kim YJ, Bridwell KH, Lenke LG, Cheh G, Baldus C (2007) Results of Lumbar Pedicle Subtraction Osteotomies for Fixed Sagittal Imbalance. *Spine (Phila Pa 1976)* 32:2189–2197. doi: 10.1097/BRS.0b013e31814b8371
84. Kose KC, Bozduman O, Yenigul AE, Igrek S (2017) Spinal osteotomies: indications, limits and pitfalls. *EFORT Open Rev* 2:73–82. doi: 10.1302/2058-5241.2.160069
85. Kurtz SM, Lau E, Ong K, Carreon L, Watson H, Albert T, Glassman S (2012) Infection risk for primary and revision instrumented lumbar spine fusion in the Medicare population. *J Neurosurg Spine* 17:342–347
86. Lafage R, Schwab F, Challier V, Henry JK, Gum J, Smith J, Hostin R, Shaffrey C, Kim HJ, Ames C, Scheer J, Klineberg E, Bess S, Burton D, Lafage V, International Spine Study Group (2016) Defining Spino-Pelvic Alignment Thresholds. Should Operative Goals in Adult Spinal Deformity Surgery Account for Age? *Spine (Phila Pa 1976)* 41:62–68. doi: 10.1097/BRS.0000000000001171
87. Lafage R, Schwab F, Glassman S, Bess S, Harris B, Sheer J, Hart R, Line B, Henry J, Burton D, Kim H, Klineberg E, Ames C, Lafage V (2017) Age-Adjusted Alignment Goals Have the Potential to Reduce PJK. *Spine (Phila Pa 1976)* 42:1275–1282. doi: 10.1097/BRS.0000000000002146
88. Lafage V, Schwab F, Patel A, Hawkinson N, Farcy JP (2009) Pelvic tilt and truncal inclination: Two key radiographic parameters in the setting of adults with spinal deformity. *Spine (Phila Pa 1976)* 34:599–606. doi: 10.1097/BRS.0b013e3181aad219
89. Lafage V, Schwab F, Skalli W, Hawkinson N, Gagey P-M, Ondra S, Farcy J-P (2008) Standing Balance and Sagittal Plane Spinal Deformity. *Spine (Phila Pa 1976)* 33:1572–1578. doi: 10.1097/BRS.0b013e31817886a2
90. Lagrone MO, Bradford DS, Moe J (1988) Treatment of symptomatic flatback after spinal fusion. *J BoneJoint Surg Am* 70:569–80
91. Laouissat F, Sebaaly A, Gehrchen M, Roussouly P (2018) Classification of normal sagittal spine alignment: refounding the Roussouly classification. *Eur*

Spine J 27:2002–2011. doi: 10.1007/s00586-017-5111-x

92. Lau D, Chan AK, Deverin V, Ames CP (2017) Does prior spine surgery or instrumentation affect surgical outcomes following 3-column osteotomy for correction of thoracolumbar deformities? *Neurosurg Focus* 43:E8. doi: 10.3171/2017.8.FOCUS17460
93. Leatherman KD (1973) The management of rigid spinal curves. *CLin Orthop Relat Res* 93:215–24
94. Leatherman KD, Dickson RA (1979) Two-stage corrective surgery for congenital deformities of the spine. *J Bone Jt Surg Br* 61–B:324–8
95. Lee C-H, Chung CK, Jang J-S, Kim S-M, Chin D-K, Lee J-K, Yoon SH, Hong JT, Ha Y, Kim CH, Hyun S-J (2017) Effectiveness of deformity-correction surgery for primary degenerative sagittal imbalance: a meta-analysis. *J Neurosurg Spine* 27:540–551. doi: 10.3171/2017.3.SPINE161134
96. Lee JH, Kim JU, Jang JS, Lee SH (2014) 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. *Br J Neurosurg* 28:252–258. doi: 10.3109/02688697.2013.835369
97. Legaye J, Duval-Beaupere G, Hecquet J, Marty C (1998) Pelvic incidence : a fundamental pelvic parameter for three-dimensional regulation of spinal sagittal curves. *Eur Spine J* 7:99–103
98. Lenke LG, Betz RR, Harms J, Bridwell KH, Clements DH, Lowe TG, Blanke K (2001) Adolescent idiopathic scoliosis: a new classification to determine extent of spinal arthrodesis. *J Bone Jt Surg Am* Aug:1169–81
99. Lenke LG, Newton PO, Sucato DJ, Shufflebarger HL, Emans JB, Sponseller PD, Shah SA, Sides BA, Blanke KM (2013) Complications after 147 consecutive vertebral column resections for severe pediatric spinal deformity: A multicenter analysis. *Spine (Phila Pa 1976)* 38:119–132. doi: 10.1097/BRS.0b013e318269fab1
100. Lu DC, Chou D (2007) Flatback Syndrome. *Neurosurg Clin NA* 18:289–294. doi: 10.1016/j.nec.2007.01.007
101. Macagno AE, O’Brien MF (2006) Thoracic and thoracolumbar kyphosis in adults. *Spine (Phila Pa 1976)* 31:161–170. doi: 10.1097/01.brs.0000236909.26123.f8
102. MacLennan A (1922) Scoliosis. *Br Med J* 2:865–6
103. Makhni MC, Shillingford JN, Laratta JL, Hyun SJ, Kim YJ (2018) Restoration of sagittal balance in spinal deformity surgery. *J Korean Neurosurg Soc* 61:167–179. doi: 10.3340/jkns.2017.0404.013
104. Mangione P, Gomez D, Senegas J (1997) Study of the course of the incidence angle during growth. *Eur Spine J* 6:163–167. doi: 10.1007/BF01301430

105. Marks DS, Orth F, Qaimkhani SA, Orth F (2009) The Natural History of Congenital Scoliosis and Kyphosis. *Spine* 34:1751–1755
106. Merrill RK, Kim JS, Leven DM, Kim JH, Cho SK (2017) Beyond Pelvic Incidence–Lumbar Lordosis Mismatch: The Importance of Assessing the Entire Spine to Achieve Global Sagittal Alignment. *Glob Spine J* 7:536–542. doi: 10.1177/2192568217699405
107. Moon JW, Shinn JK, Ryu D, Oh S-Y, Shim YS, Yoon SH (2017) Pelvic Incidence Can Be Changed not only by Age and Sex, but also by Posture Used during Imaging. *Korean J Spine* 14:77–83. doi: 10.14245/kjs.2017.14.3.77
108. Mummaneni P V., Dhall SS, Ondra SL, Mummaneni VP, Berven S (2008) Pedicle subtraction osteotomy. *Neurosurgery* 63:171–176. doi: 10.1227/01.NEU.0000325680.32776.82
109. Ohrt-Nissen S, Bari T, Dahl B, Gehrchen M (2018) Sagittal Alignment After Surgical Treatment of Adolescent Idiopathic Scoliosis—Application of the Roussouly Classification. *Spine Deform* 6:537–544. doi: 10.1016/j.jspd.2018.02.001
110. Park Y-S, Hyun S-J, Choi HY, Kim K-J, Jahng T-A (2017) Association between bicortical screw fixation at upper instrumented vertebra and risk for upper instrumented vertebra fracture. *J Neurosurg Spine* 26:638–644. doi: 10.3171/2016.10.SPINE16535
111. Patel R, Khan S, McMains C, Gupta M (2015) Technique for Lumbar Pedicle Subtraction Osteotomy for Sagittal Plane Deformity in Revision. *Am J Orthop* June:261–264
112. Pfirrmann C, Metzdorf A, Zanetti M, Hodler J, Boos N (2001) Magnetic Resonance Classification of Lumbar Intervertebral Disc Degeneration. *Spine (Phila Pa 1976)* 26:1873–1878. doi: 10.1017/aae.2017.7
113. Plachta SM, Israel H, Brechbuhler J, Hayes A, Huebner S, Place HM (2018) Inter/Intraobserver Reliability of T1 Pelvic Angle (TPA), a Novel Radiographic Measure for Global Sagittal Deformity. *Spine (Phila Pa 1976)* 43:E1290–E1296. doi: 10.1097/BRS.0000000000002689
114. Ponte A, Orlando G, Siccardi GL (2018) The True Ponte Osteotomy: By the One Who Developed It. *Spine Deform* 6:2–11. doi: 10.1016/j.jspd.2017.06.006
115. Pratali RR, Nasreddine MA, Diebo IB, Carlos II, Oliveira EAS, Iii IVL (2018) Normal values for sagittal spinal alignment : a study of Brazilian subjects. *Clinics* 73:1–6. doi: 10.6061/clinics/2018/e647
116. Prizones J, Martin M, Perez-Gruesco F, Ylgor C, Vila-Casademunt A, Serra-Burriel M, Obeid I, Alanay A, Acaroglu E, Pellise F, European Spine Study Group (ESSG) (2018) Impact of adult scoliosis on Roussouly’s sagittal shape classification. *Spine (Phila Pa 1976)* July 16. doi:

10.1097/BRS.0000000000002800

117. Protopsaltis T, Schwab F, Bronsard N, Smith JS, Klineberg E, Mundis G, Ryan DJ, Hostin R, Hart R, Burton D, Ames C, Shaffrey C, Bess S, Errico T, Lafage V (2014) The T1 pelvic angle, a novel radiographic measure of global sagittal deformity, accounts for both spinal inclination and pelvic tilt and correlates with health-related quality of life. *J Bone Jt Surg - Am Vol* 96:1631–1640. doi: 10.2106/JBJS.M.01459
118. Rajasekaran S, Rajoli SR, Aiyer SN, Kanna R, Shetty AP (2018) A Classification for Kyphosis Based on Column Deficiency, Curve Magnitude, and Osteotomy Requirement. *J Bone Jt Surg Am* 100:1147–1156
119. Rothenfluh DA, Mueller DA, Rothenfluh E, Min K (2015) Pelvic incidence-lumbar lordosis mismatch predisposes to adjacent segment disease after lumbar spinal fusion. *Eur Spine J* 24:1251–1258. doi: 10.1007/s00586-014-3454-0
120. Roussouly P, Gollogly S, Berthonnaud E, Dimnet J (2005) Classification of the Normal Variation in the Sagittal Alignment of the Human Lumbar Spine and Pelvis in the Standing Position. *Spine (Phila Pa 1976)* 30:346–353
121. S.D. G, K. B, J.R. D, W. H, S. B, F. S (2005) The impact of positive sagittal balance in adult spinal deformity. *Spine (Phila Pa 1976)* 30:2024–2029. doi: 10.1097/01.brs.0000179086.30449.96
122. Savage JW, Patel AA (2014) Fixed sagittal plane imbalance. *Glob spine J* 4:287–96. doi: 10.1055/s-0034-1394126
123. Scheer JK, Lafage V, Smith JS, Deviren V, Hostin R, McCarthy IM, Mundis GM, Burton DC, Klineberg E, Gupta MC, Kebaish KM, Shaffrey CI, Bess S, Schwab FJ, Ames CP (2014) Impact of age on the likelihood of reaching a minimum clinically important difference in 374 three-column spinal osteotomies: clinical article. *J Neurosurg Spine* 20:306–12. doi: 10.3171/2013.12.SPINE13680
124. Scholten PJM, Veldhuizen AG (1987) Analysis of Cobb angle measurements in scoliosis. *Clin Biomech* 2:7–13. doi: 10.1016/0268-0033(87)90039-8
125. Schwab F, Blondel B, Chay E, Demakakos J, Lenke LG, Tropiano P, Ames C, Smith JS, Shaffrey CI, Glassman S, Farcy J-P, Lafage V (2014) The Comprehensive Anatomical Spinal Osteotomy Classification. *Neurosurgery* 74:112–120. doi: 10.1227/NEU.0000000000000182o
126. Schwab F, Lafage V, Boyce R, Skalli W, Farcy J (2006) Gravity Line Analysis in Adult Volunteers Age-Related Correlation With Spinal Parameters , Pelvic Parameters , and Foot Position. *Spine (Phila Pa 1976)* 31:959–967
127. Schwab F, Patel A, Ungar B, Farcy JP, Lafage V (2010) Adult spinal deformity-postoperative standing imbalance: How much can you tolerate? An overview of key parameters in assessing alignment and planning corrective surgery. *Spine (Phila Pa 1976)* 35:2224–2231. doi: 10.1097/BRS.0b013e3181ee6bd4

128. Schwab F, Ungar B, Blondel B, Buchowski J, Coe J, Deinlein D, Dewald C, Mehdian H, Shaffrey CI, Tribus C, Lafage V (2012) Scoliosis Research Society — Schwab Adult Spinal Deformity Classification. A Validation Study. *Spine (Phila Pa 1976)* 37:1077–1082. doi: 10.1097/BRS.0b013e31823e15e2
129. Schwab FJ, Hawkinson N, Lafage V, Smith JS, Hart R, Mundis G, Burton DC, Line B, Akbarnia B, Boachie-Adjei O, Hostin R, Shaffrey CI, Arlet V, Wood K, Gupta M, Bess S, Mummaneni P V. (2012) Risk factors for major peri-operative complications in adult spinal deformity surgery: A multi-center review of 953 consecutive patients. *Eur Spine J* 21:2603–2610. doi: 10.1007/s00586-012-2370-4
130. Schwab FJ, Patel A, Shaffrey CI, Smith JS, Farcy J-P, Boachie-Adjei O, Hostin RA, Hart RA, Akbarnia BA, Burton DC, Bess S, Lafage V (2012) Sagittal realignment failures following pedicle subtraction osteotomy surgery: are we doing enough?: Clinical article. *J Neurosurg Spine* 16:539–46. doi: 10.3171/2012.2.SPINE11120
131. Schwender JD, Casnellie MT, Perra JH, Transfeldt EE, Pinto MR, Denis F, Garvey TA, Polly DW, Mehdod AA, Dykes DC, Winter RB, Wroblewski JM (2009) Perioperative Complications in Revision Anterior Lumbar Spine Surgery. *Spine (Phila Pa 1976)* 34:87–90. doi: 10.1097/BRS.0b013e3181918ad0
132. Scudese VA, Calabro JJ (1963) Vertebral wedge osteotomy. Correction of rheumatoid (ankylosing) spondylitis. *JAMA* 186:627–31
133. Smith-Petersen MN, Larson CB, Aufranc OE (1945) Osteotomy of the spine for correction of flexion deformity in rheumatoid arthritis. *J Bone Jt Surg Am* 27:1–11
134. Smith J, Singh M, Klineberg E, Shaffrey CI, Lafage V, Schwab FJ, Protopsaltis TS, Ibrahim D, Scheer JK, Mundis GM, Gupta MC, Hostin RA, Deviren V, Kebaish K, Hart R, Burton DC, Bess S, Ames CP (2014) Surgical treatment of pathological loss of lumbar lordosis (flatback) in patients with normal sagittal vertical axis achieves similar clinical improvement as surgical treatment of elevated sagittal vertical axis. *J Neurosurg Spine* 21:160–170
135. Smith JS, Gupta MC, Klineberg EO, Shaffrey CI, Schwab FJ, Lafage V, Liabaud B, Kim HJ, Hart RA, Hostin RA, Burton DC, Deviren V, Bess S, Ames CP (2017) Complication Rates Associated with 3-Column Osteotomy in 82 Adult Spinal Deformity Patients: Retrospective Review of a Prospectively Collected Multicenter Consecutive Series with Minimum Two-Year Follow-Up. *J Neurosurg Spine* 16:1–14. doi: 10.1016/j.spinee.2016.07.313
136. Smith JS, Klineberg E, Schwab F, Shaffrey CI, Moal B, Ames CP, Hostin R, Fu K-MG, Burton D, Akbarnia B, Gupta M, Hart R, Bess S, Lafage V, International Spine Study Group (2013) Change in Classification Grade by the SRS-Schwab Adult Spinal Deformity Classification Predicts Impact on Health-Related Quality of Life Measures. *Spine (Phila Pa 1976)* 38:1663–1671. doi:

10.1097/BRS.0b013e31829ec563

137. Smith JS, Sansur CA, Donaldson WF, Perra JH, Mudiyan R, Choma TJ, Zeller RD, Knapp DR, Noordeen HH, Berven SH, Goytan MJ, Boachie-Adjei O, Shaffrey CI (2011) Short-term morbidity and mortality associated with correction of thoracolumbar fixed sagittal plane deformity: A report from the scoliosis research society morbidity and mortality committee. *Spine (Phila Pa 1976)* 36:958–964. doi: 10.1097/BRS.0b013e3181eabb26
138. Smith JS, Shaffrey CI, Ames CP, Demakakos J, Fu KMG, Keshavarzi S, Carol CM, Deviren V, Schwab FJ, Lafage V, Bess S (2012) Assessment of symptomatic rod fracture after posterior instrumented fusion for adult spinal deformity. *Neurosurgery* 71:862–867. doi: 10.1227/NEU.0b013e3182672aab
139. Smith JS, Shaffrey E, Klineberg E, Shaffrey CI, Lafage V, Schwab FJ, Protopsaltis T, Scheer JK, Mundis GM, Fu K-MG, Gupta MC, Hostin R, Deviren V, Kebaish K, Hart R, Burton DC, Line B, Bess S, Ames CP (2014) Prospective multicenter assessment of risk factors for rod fracture following surgery for adult spinal deformity. *J Neurosurg Spine* 21:994–1003. doi: 10.3171/2014.9.SPINE131176
140. Spine E, Centre D, Margaret P, Orthopaedic R (1932) Natural History of Congenital Kyphosis and Kyphoscoliosis. *J Bone Jt Surg* 1367–1383
141. Tang JA, Leasure JM, Smith JS, Buckley JM, Kondrashov D, Ames CP (2013) Effect of severity of rod contour on posterior rod failure in the setting of lumbar pedicle subtraction osteotomy (PSO): a biomechanical study. *Neurosurgery* 72:276–282. doi: 10.1227/NEU.0b013e3182797952
142. Terran J, Schwab F, Shaffrey CI, Smith JS, Devos P, Ames CP, Fu KMG, Burton D, Hostin R, Klineberg E, Gupta M, Deviren V, Mundis G, Hart R, Bess S, Lafage V (2013) The SRS-Schwab adult spinal deformity classification: Assessment and clinical correlations based on a prospective operative and nonoperative cohort. *Neurosurgery* 73:559–568. doi: 10.1227/NEU.0000000000000012
143. Thiranont N, Netrawichien P (1993) Transpedicular decancellation closed wedge vertebral osteotomy for treatment of fixed flexion deformity of spine in ankylosing spondylitis. *Spine (Phila Pa 1976)* 18:2517–2522
144. Thomasen E (1985) Vertebral Osteotomy for Correction of Kyphosis in Ankylosing Spondylitis. *Clin Orthop Relat Res* 142–152
145. Toyone T, Shibo R, Ozawa T, Inada K, Shirahata T, Kamikawa K, Watanabe A, Matsuki K, Ochiai S, Kaiho T, Morikawa Y, Sota K, Yasuchika A, Gen I, Sumihisa O, Ohtori S, Takahashi K, Wada Y (2012) Asymmetrical pedicle subtraction osteotomy for rigid degenerative lumbar kyphoscoliosis. *Spine (Phila Pa 1976)* 37:1847–1852. doi: 10.1097/BRS.0b013e31825bf644
146. Vialle R, Levassor N, Rillardon L, Templier A, Skalli W, Guigui P (2005)

Radiographic Analysis of the Sagittal Alignment and Balance of the Spine in Asymptomatic Subjects. *J Bone Jt Surg* 87:260–267

147. Voos K, Boachie-Adjei O, Rawlins BA (2001) Multiple vertebral osteotomies in the treatment of rigid adult spine deformities. *Spine (Phila Pa 1976)* 26:526–533. doi: 10.1097/00007632-200103010-00016
148. Wang MY, Berven SH (2007) Lumbar pedicle subtraction osteotomy. *Neurosurgery* 60:140–146. doi: 10.1227/01.NEU.0000249240.35731.8F
149. Wilson MJ, Turkell JH (1949) Multiple spinal wedge osteotomy. Its use in a case of Marie Strümpell spondylitis. *Am J Surg* 77:777–82
150. Xia L, Li N, Wang D, Liu M, Li J, Bao D, Li P (2014) One-stage Posterior Spinal Osteotomy in Severe Spinal Deformities. *J Spinal Disord Tech* 1. doi: 10.1097/BSD.0000000000000227