Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени Н. Н. Приорова» Министерства здравоохранения Российской Федерации

*На правах рукописи*

**ЗАХАРИН Виталий Романович**

# КЛИНИКО-БИОМЕХАНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЛЕЧЕНИЯ СПОНДИЛОЛИСТЕЗА У ДЕТЕЙ

3.1.8. Травматология и ортопедия.

Диссертация
на соискание ученой степени
кандидата медицинских наук

Научный руководитель:
**Кулешов Александр Алексеевич**,
доктор медицинских наук

Москва – 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

**ВВЕДЕНИЕ ..... 3**

**Глава 1. ОСОБЕННОСТИ САГИТТАЛЬНОГО БАЛАНСА У ДЕТЕЙ СО СПОНДИЛОЛИСТЕЗОМ (ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР) ..... 9**

1.1. Основные параметры сагиттального баланса ..... 10

1.2. Сагиттальный баланс и морфология таза при спондилолистезе ..... 15

1.3. Классификации спондилолистеза, применимые к пациентам детского возраста ..... 20

1.4. Риск прогрессирования спондилолистеза у детей ..... 24

**Глава 2. МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ..... 31**

2.1. Характеристика пациентов со спондилолистезом ..... 31

2.2. Методы исследования ..... 32

2.3. Показания к оперативному лечению спондилолистеза ..... 36

2.4. Использованные методы оперативного лечения спондилолистеза у детей 37

2.5. Методы статистической обработки данных ..... 40

**Глава 3. ПАРАМЕТРЫ САГИТТАЛЬНОГО БАЛАНСА У ДЕТЕЙ В НОРМЕ И ПРИ СПОНДИЛОЛИСТЕЗЕ РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНИ ТЯЖЕСТИ ..... 42**

3.1. Параметры сагиттального баланса у детей без ортопедической патологии 42

**Глава 4. БЛИЖАЙШИЕ И ОТДАЛЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЕРАТИВНОГО ЛЕЧЕНИЯ СПОНДИЛОЛИСТЕЗА У ДЕТЕЙ ..... 47**

4.1. Результаты оперативного лечения спондилолистеза у детей по данным лучевой диагностики ..... 47

4.2. Клинические результаты оперативного лечения спондилолистеза у детей 49

4.3. Результаты оперативного лечения спондилолиза у детей ..... 51

4.4. Результаты оперативного лечения спондилолистеза «low grade» у детей .. 60

4.5. Результаты оперативного лечения спондилолистеза «high grade» у детей . 65

4.6. Результаты оперативного лечения спондилолистеза в сочетании с синдромом пояснично-бедренной ригидности у детей ..... 75

4.7. Осложнения оперативного лечения спондилолистеза у детей ..... 81

4.8. Алгоритм оперативного лечения спондилолистеза различной степени тяжести у детей и подростков ..... 83

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ..... 86**

Выводы ..... 97

Практические рекомендации ..... 98

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ ..... 100**

# ВВЕДЕНИЕ

## Актуальность и степень разработанности темы исследования

Спондилолистез – переднее смещение (трансляция) тела вышележащего позвонка относительно тела нижележащего позвонка. Частота спондилолистеза в популяции составляет 2–4%, а среди больных с пояснично-крестцовыми болями, обусловленными спондилолистезом, достигает 7–10% [9].

Около 20–22% пациентов находятся в возрасте от 7 до 20 лет [7]. По данным литературы, спондилолистез у детей чаще всего является диспластическим. В 90% случаев у пациентов детского возраста спондилолистез локализуется на уровне L5 позвонка [32].

Спондилолистез, особенно тяжелые степени, часто приводит к выраженному болевому синдрому, развитию неврологической симптоматики и сагиттальному дисбалансу, что требует оперативного лечения [64]. В настоящее время большое внимание уделяется параметрам сагиттального баланса, однако, данные параметры у детей изучены недостаточно. На сегодняшний день нет единого понимания к каким значениям позвоночно-тазовых параметров следует стремиться в каждом конкретном случае. Остаются открытыми вопросы о необходимости редукции позвонка при спондилолистезе, а также об оптимальной тактике оперативного лечения в целом.

Наиболее частой причиной спондилолистеза у детей является спондилолиз – дефект межсуставной части дуги позвонка [80]. По разным данным в 85–95% случаев спондилолиз локализуется на уровне L5 позвонка. В 15% – на уровне L4 [32]. Данный дефект может быть односторонним и двусторонним. У большинства пациентов вышеуказанный анатомический дефект без спондилолистеза не вызывает болевого синдрома [24].

Частота встречаемости спондилолиза у мальчиков и девочек составляет 2:1, но тяжелые степени смещения L5 позвонка в четыре раза чаще встречаются у девочек. Однако в 30–50% наблюдений спондилолиз не приводит к спондилолистезу [46].

В исследованиях доказано, что спондилолиз отсутствует при рождении и как правило развивается в раннем детском возрасте. Fredrickson с соавторами провели проспективное исследование 500 первоклассников и выяснили, что распространенность спондилолиза у детей 6 лет составляет 4,4%. Данный процент увеличивается до 6% у подростков старшей возрастной категории [18].

Wynne-Davies с соавторами провели генетическое исследование пациентов со спондилолизом. Вероятность спондилолиза у их близких родственников составила 19%, что говорит о наличии генетического компонента в этиологии данного заболевания [83].

В основе патогенеза спондилолиза лежит регулярно повторяющая чрезмерная нагрузка на межсуставную часть дуги позвонка, особенно при гиперэкстензии [8]. Следовательно, развитию спондилолиза наиболее подвержены дети, профессионально занимающиеся гимнастикой, футболом, хоккеем, тяжелой атлетикой и т.д. [24].

Основной целью оперативного лечения детей-спортсменов с билатеральным спондилолизом является достижение контракции в зоне спондилолиза для возможности сращения дефекта без потери подвижности в сегменте. Оперативное лечение также должно быть малотравматичным и позволять вернуться к профессиональным тренировкам в кратчайшие сроки. Серийные металлоконструкции не во всех случаях отвечают данным требованиям, ведь зачастую пациенты с билатеральным спондилолизом имеют «нестандартную» анатомию за счет наличия диспластических изменений, следовательно, при оперативном лечении этой группы пациентов предпочтительнее использовать аддитивные технологии.

Тяжелые степени спондилолистеза у детей в большинстве случаев характеризуются высокими показателями PI, что может являться этиологическим фактором данного заболевания. Одной из задач оперативного лечения спондилолистеза является восстановление сагиттальных параметров или максимальное их приближение к нормальным значениям, но тяжелые степени спондилолистеза также характеризуются наличием пояснично-крестцового кифоза, который после оперативного лечения должен быть устранен. На сегодняшний день существует большое

количество методов оперативного лечения спондилолистеза у детей, но вопрос об оптимальной тактике лечения данной группы пациентов остается открытым.

**Цель исследования:** улучшить результаты оперативного лечения спондилолистеза у детей.

**Задачи исследования**

1. Изучить параметры сагиттального баланса у детей и взрослых без ортопедической патологии; сравнить параметры сагиттального баланса у здоровых детей и аналогичные параметры у детей со спондилолистезом различной степени тяжести.

2. Оценить результаты лечения спондилолистеза различной степени тяжести у детей с помощью данных лучевой диагностики с оценкой параметров сагиттального баланса и данных опросников.

3. Изучить роль локального пояснично-крестцового кифоза при оперативном лечении спондилолистеза у детей.

4. Разработать алгоритм оперативного лечения детей со спондилолистезом L5 позвонка для определения показаний к конкретному виду оперативного вмешательства у детей со спондилолистезом в зависимости от клинических проявлений и степени смещения L5 позвонка.

**Научная новизна исследования**

**О**пределены нормальные значения сагиттального баланса у детей и подростков без ортопедической патологии (PI = 40,7° [34,40°; 45,15°]; PT = 5,2° [1,75°; 10,25°]; SS = 35,8° [30,75°; 39,30°]; LL = 50,2° [44,15°; 57,45°]; TK = 33,5° [26,50°; 40,45°]).

Доказана роль синдрома пояснично-бедренной ригидности и локального пояснично-крестцового кифоза в развитии выраженного сагиттального дисбаланса у детей со спондилолистезом.

Доказана невозможность применения существующих формул расчета сагиттального баланса у детей с тяжелыми степенями спондилолистеза и высокими показателями PI, как это принято у взрослых.

Разработан алгоритм оперативного лечения детей со спондилолистезом в зависимости от клинических проявлений и тяжести смещения.

**Практическая значимость**

У детей со спондилолистезом при высоких показателях PI (< 70°) не следует рассчитывать должные (теоретические) позвоночно-тазовые параметры.

Ключевым моментом в оперативном лечении детей со спондилолистезом «high grade» является устранение локального пояснично-крестцового кифоза.

Для успешного разрешения синдрома пояснично-бедренной ригидности необходимо выполнить качественную ревизию и декомпрессию невральных структур на уровне спондилолистеза.

При спондилолистезе «low grade» без выраженных признаков дисплазии L5 и S1 позвонков спондилодез 360° целесообразно выполнять в один этап (дорсальный доступ); при спондилолистезе «high grade» – в два этапа (дорсальный и передний внебрюшинный доступы).

Разработаны кастомизированные имплантаты для оперативного лечения билатерального спондилолиза L5 позвонка у детей.

**Положения, выносимые на защиту**

1. Параметры сагиттального баланса у детей без патологии опорно-двигательного аппарата отличаются от аналогичных параметров у взрослых.

2. Тяжелые степени спондилолистеза L5 позвонка у детей характеризуются высокими значениями тазового индекса (PI), что является одним из этиопатогенетических факторов данного заболевания и делает невозможным расчет теоретических сагиттальных параметров с использованием существующих формул.

3. Основной задачей оперативного лечения тяжелых степеней спондилолистеза L5 позвонка у детей является устранение локального пояснично-крестцового кифоза, в то время как сагиттальные параметры могут быть восстановлены не в полной мере.

**Публикация результатов исследования**

По теме диссертации опубликованы 9 печатных работ, из них 3 статьи в журналах, включенных в перечень изданий Высшей аттестационной комиссии Российской Федерации. Получен патент РФ на изобретение.

**Апробация работы**

Основные положения диссертации доложены на следующих конференциях:

– Цивьяновские чтения 03–04 декабря 2021 г, г. Новосибирск;

– X Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Неотложная детская хирургия и травматология». г. Москва, 16–19 февраля 2022 года (победа в конкурсе молодых ученых);

– Научно-практическая конференция «Актуальные вопросы, достижения и нерешённые проблемы современной травматологии и ортопедии», посвященная 10-летнему юбилею ФГБУ «ФЦТОЭ» Минздрава России (г. Смоленск), 8–9 сентября 2022 г.;

– XII Всероссийский Съезд травматологов-ортопедов, г. Москва, 1–3 декабря 2022 г. (победа в конкурсе молодых ученых).

**Внедрение результатов исследования**

Результаты исследования внедрены:

– в обособленном структурном подразделении «Российская детская клиническая больница федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н. И. Пирогова» Министерства здравоохранения Российской Федерации;

– в Государственном бюджетном учреждении здравоохранения города Москвы «Детская городская клиническая больница имени Н. Ф. Филатова» Департамента здравоохранения города Москвы.

**Структура и объём диссертации**

Диссертация изложена на 109 страницах, состоит из введения, обзора литературы, четырех глав собственных исследований, заключения, выводов, практических рекомендаций и списка литературы, состоящего из 9 работ отечественных и 77– зарубежных авторов.

**Личное участие автора**

Автору принадлежит ведущая роль в выполнении всех этапов исследования: анализ литературы и степени разработанности проблемы, формулировка цели и задач исследования, разработка дизайна и выбор методов исследования, определение критериев включения и исключения пациентов, внедрение разработанных инструментов в практику работы многопрофильного стационара, статистическая обработка и анализ результатов, формулирование основных положений и выводов диссертационного исследования, подготовка публикаций по теме диссертации.

Также проведено клиническое обследование всех пациентов с последующим наблюдением в ближайшие и отдаленные сроки, оперативное лечение проведено с личным участием автора у более 80% больных. Автором разработаны клинико-диагностические алгоритмы и предложен оптимальный метод оперативного лечения детей и подростков со спондилолистезом L5 позвонка в зависимости от степеней тяжести.

# Глава 1. ОСОБЕННОСТИ САГИТТАЛЬНОГО БАЛАНСА У ДЕТЕЙ СО СПОНДИЛОЛИСТЕЗОМ (ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР)

История изучения сагиттального баланса позвоночника берет свое начало в работах Jean Dubousset, в которых автор обозначил актуальность проблемы, а также привел ряд основополагающих определений.

Согласно J. Dubousset, сагиттальный баланс – это взаимоотношение физиологических изгибов позвоночника (кифоза и лордоза), при котором в пространстве при действии гравитационной нагрузки расходуется минимальное количество энергии для поддержания вертикальной позы. При этом взор сохраняется горизонтальным. Соблюдение двух этих условий возможно лишь в том случае, если тело находится в так называемом «конусе экономии» [2].

Также, несомненно, большой вклад в изучение сагиттального баланса позвоночника внесла G. Duval-Beaupere, которая в своих работах (1992–1998) продемонстрировала важность морфологии таза в сохранении сагиттального баланса у здоровых взрослых [23, 43].

Расчет сагиттальных параметров является неотъемлемой частью предоперационного планирования, а также широко используется для оценки результатов хирургического лечения [21, 44].

Известно, что при спондилолистезе (особенно при его высоких степенях) сагиттальные параметры позвоночника отличаются от таковых у здоровых людей. Также доказано различие позвоночно-тазовых параметров у детей и взрослых без ортопедической патологии.

Одной из задач оперативного лечения спондилолистеза является восстановление сагиттального баланса или максимальное его приближение к нормальным значениям.

Однако на сегодняшний день нет единой принятой нормы сагиттальных параметров для детей, следовательно, и вопрос об оптимальной тактике хирургического лечения спондилолистеза у детей с позиции коррекции сагиттального профиля остается открытым.

## 1.1. Основные параметры сагиттального баланса

*Сагиттальная вертикальная ось (SVA)*

B. J. Van Royen с соавторами (1998) обозначил важность сагиттального баланса для оценки степени деформации позвоночника и назвал сагиттальную вертикальную ось (SVA) ведущим параметром, определяющим сагиттальный баланс позвоночника. SVA, по сути, определяется величиной отклонения вертикальной линии, проведенной от центра С7 позвонка вниз к заднему краю верхней замыкательной пластины S1. Баланс является положительным, в случае если линия отвеса смещена кпереди, и отрицательным если кзади [12].

*Грудной кифоз (ТК) и поясничный лордоз (LL)*

Грудной кифоз – это угол, образованный линией, проведенной по нижней замыкательной пластине Th12 и верхней замыкательной пластине Th5 позвонков. Поясничный лордоз определяется как угол между линией, проведенной по верхней замыкательной пластине S1 и верхней замыкательной пластине L1 позвонков.

В работе M. Bernhardt с соавторами (1989) проанализировали рентгенограммы 102 бессимптомных добровольцев. По методу Cobb были рассчитаны параметры грудного кифоза (Th5 – Th12), грудопоясничного перехода (T10 – T12 и T12 – L2), а также поясничного лордоза (L1 – S1). Количественные показатели ТК и LL у исследованных пациентов имели достаточно большой диапазон, тем не менее, за норму были приняты следующие значения: среднее значение ТК составляет 49,3°±9,2° и колеблется в пределах 33–71°; Среднее значение LL составляет 63,5°±10,9° и находится в интервале 45–87° [48].

*Тазовые параметры*

Ключевым параметром является тазовый индекс (PI). Данный параметр используется для расчета всех остальных параметров сагиттального баланса. PI – это угол, образованный линией, проведенной через центр головок бедренных костей к середине замыкательной пластины S1, и линией, перпендикулярной этой замыкательной пластине.

Наклон таза (PT) – это угол между вертикальной линией и линией, проведенной через центр головок бедренных костей к середине замыкательной пластины S1.

Наклон крестца (SS) – угол между замыкательной пластиной S1 и горизонтальной линией.

При расчёте параметров сагиттального баланса позвоночника, необходимо также учитывать положение таза, именно по – этому в своей работе F. Schwab с соавторами (2009) уделили особое значение наклону таза (PT). В то время как тазовый индекс (PI) определяет параметры поясничного лордоза и является статическим параметром (– 55°±10,6°), наклон таза (PT) – динамический параметр, который отражает компенсацию деформации позвоночника (– 13°±6°). Наклон крестца (SS) также является компенсаторным параметром (– 41°±8°) (Рисунок 1).



**Рисунок 1** – Основные позвоночно-тазовые параметры.
Геометрическое доказательство PI = PT+SS

В данном исследовании были проанализированы полноростовые рентгенограммы 125 пациентов с деформациями позвоночника. В результате анализа была выявлена четкая корреляция отклонения параметров PT и SS с инвалидностью по причине деформации позвоночника, что доказало их компенсаторный характер [38]. В работах P. Roussouly с соавт. (2002), проанализировав полноростовые рентгенограммы 100 здоровых молодых добровольцев, выявили корреляцию между тазовыми и позвоночными параметрами в сагиттальной плоскости, а также установили, что данные параметры влияют на включение компенсаторных механизмов [77].

*Глобальный баланс.* В работе P. Roussouly с соавт. (2005) обозначили понятие глобального баланса, который учитывал сагиттальные параметры на всех анатомических уровнях. В результате проведенного исследования была выявлена взаимосвязь между сагиттальными параметрами смежных, а также отдельно взятых областей позвоночника, что позволило рассматривать таз и позвоночник как единую

цепь, где параметры каждого анатомического сегмента тесно связаны и оказывают влияние друг на друга, а также на качество жизни (на основе клинических опросников: ODI, SF–36, SRS, HRQOL). Наиболее значимым является оценка соотношения PI–LL ≤ 9°, тогда как PT не показывает существенной корреляции с изменением качества жизни. Таким образом, изменение сагиттальных параметров на одном уровне ведет к изменениям в соседнем сегменте [14].

*Линия гравитации.* Это линия, проходящая через головки бедренных костей и центр тяжести тела; параллельна линии отвеса. В работе F. Schwab с соавт. (2005) провели анализ гравитационных линий у здоровых молодых людей и у пациентов со сколиозом. Полученные данные сопоставили с линией отвеса, опущенной вниз от C7, рассчитанной при помощи полноростовых рентгенограмм. Данная работа показала, что всеми известная и общепринятая линия гравитации не коррелирует с сагиттальными параметрами, рассчитанными путем рентгенологического исследования и может быть использована только в качестве дополнительного метода исследования [13]. В работе P. Roussouly с соавт. (2006) провели исследование 153 здоровых молодых людей с целью подтвердить гипотезу F. Schwab (2005) об отсутствии корреляции между линией гравитации и линией отвеса, опущенной вниз от C7 позвонка. В результате исследования авторы пришли к выводу, что рентгенологически смоделированная линия отвеса, опущенная от C7 позвонка, и линия гравитации находятся в разных точках. Также авторами была выявлена взаимосвязь между центром T1 позвонка и замыкательной пластинкой крестца. Данная взаимосвязь может быть анатомической константой и маркером глобального баланса позвоночника у бессимптомных пациентов, или же наоборот, быть рентгенологическим показателем деформации [69]. В продолжение дискуссий о линии гравитации F. Schwab с соавт. (2006) провели исследование 75 здоровых молодых добровольцев с целью определить изменения направления гравитационной линии и положение ног по отношению к позвоночнику в зависимости от возраста пациента и изменения сагиттальных параметров глобального баланса. В результате исследования был выявлен ряд закономерностей. С возрастом линия отвеса C7 смещалась кпереди, а линия гравитации оставалась неизменной, в то время как таз подвергался

ретроверсии. Данное исследование продемонстрировало возрастные изменения позвоночно – тазовых взаимоотношений и подтвердила концепцию «конуса экономии», предложенную Dubousset [70].

*Поясничный лордоз минус грудной кифоз (LL-TK).* В своей работе C. Yang с соавт. (2016) представили общественному вниманию новый параметр (LL-TK), определяющий сагиттальный баланс у пожилых людей и продемонстрировали эффективность его применения. Авторы проанализировали полноростовые рентгенограммы 129 пациентов, для которых были рассчитаны следующие параметры: TK; LL; LL-TK; PI-LL; SS; PT; PI. Целью данного исследования было провести корреляционный анализ между параметрами SVA и LL-TK. Пациенты были разделены на две группы: А – хорошо сбалансированные (SVA ≤ 50mm) и группа Б – плохо сбалансированные (SVA > 50mm). В результате исследования было выявлено, что пациенты из группы Б также имеют отклонения в параметрах LL-TK (≥ 0º), что свидетельствует о корреляции между SVA и LL-TK [85].

*Позвоночно-крестцовый угол (SSA).* Определяется как угол между замыкательной пластиной S1 и линией, соединяющей центр C7 с серединой замыкательной пластины S1. Было произведено множество исследований сагиттальных параметров у бессимптомных пациентов, но к данному моменту времени все еще существовала потребность в большой базе данных, которая бы учитывала изменения сагиттальных параметров в зависимости от пола и возраста. P. Roussouly с соавторами (2010) проанализировали полноростовые рентгенограммы 709 бессимптомных добровольцев (354 мужчины и 355 женщин). Были проанализированы следующие параметры: позвоночно – крестцовый угол (SSA); наклон позвоночника (ST); линия отвеса C7 к крестцу и к головкам бедренных костей. В ходе исследования значимых корреляций между вышеуказанными параметрами, возрастом и полом отмечено не было. Тем не менее удалось выяснить, что у 95% исследуемых значение SSA составило от 110º до 150º, а ST от 85º до 100º. Данные параметры принято считать нормой [56].

*T1-pelvic angle (TPA)*. Это угол между линией, соединяющей центр T1 с головками бедренных костей, и линией, проходящей через замыкательную пластину

S1. Данный угол коррелирует с PT и SVA, но не учитывает значение тазового индекса, параметров шейного отдела позвоночника и положение головы в пространстве. Нормой принято считать значение < 14° [66].

*FBI (Full Balance Index).* Данный индекс позволяет рассчитать степень коррекции, которая должна быть получена у конкретного пациента с нарушением сагиттального баланса позвоночника после операции. Расчёт параметров FBI дает представление об общем балансе позвоночника, включая положение нижних конечностей. Данный индекс рассчитывается следующим образом: первым этапом определяют значение угла сдвига C7 – C7 translation angle (C7TA); затем определяют угол бедренного отклонения – Femoral Obliqueness Angle (FOA) (Рисунок 2).

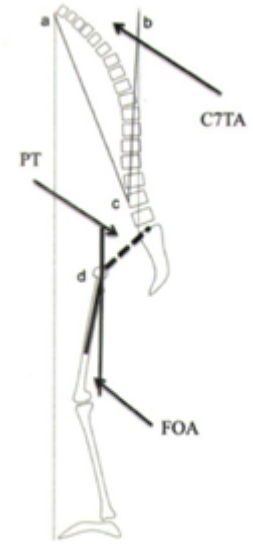



**Рисунок 2** – Схема расчета FBI (Full Balance Index)

В норме линия, опущенная вниз от головок бедренных костей, является вертикальной. При нарушении баланса включается компенсаторный механизм в виде сгибания нижних конечностей в коленных суставах, следовательно, происходит отклонение бедренных костей от вертикальной линии. Третьим этапом проводят расчет угла тазовой компенсации pelvic compensation angle (PTCA). Данный угол соответствует разнице между теоретическим PT, рассчитанным по формуле: (PT теор. = 0,44 PI – 11,4°), и фактическим, полученным с помощью измерения на рентгенограмме [40].

Измерение трех этих углов дает представление о степени коррекции, необходимой для восстановления сагиттального баланса у конкретного пациента. В норме значение этого индекса < 5°, а также может быть отрицательным [41].

## 1.2. Сагиттальный баланс и морфология таза при спондилолистезе

Доказано, что позвоночно-тазовые параметры влияют на патогенез спондилолистеза [20, 54, 60, 68, 81].

Тазовый индекс (PI), наклон таза (PT) и наклон крестца (SS) характеризуют морфологию и положение таза в пространстве, тем самым влияя на распределение нагрузки в пояснично-крестцовом отделе позвоночника [64]. PI является статическим (анатомическим) параметром, значение которого строго индивидуально для каждого человека, в отличие от SS и PT, которые, в свою очередь, являются динамическими (компенсаторными). Данные параметры определяют поясничный лордоз (Рисунок 3) [52].

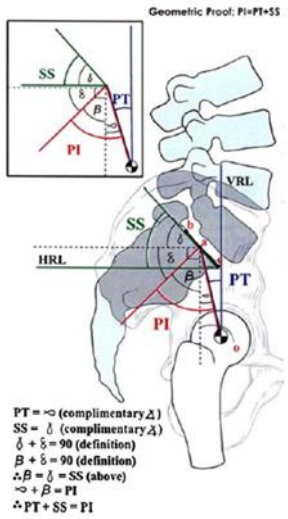



**Рисунок 3** – Основные позвоночно-тазовые параметры с геометрическим доказательством формулы PI = PT+SS

В работах D. Hanson, H. Labelle, E. Berthonnaud с соавт. доказано, что сагиттальные параметры таза отличаются у здоровых людей и пациентов со спондилолистезом. Чем тяжелее степень спондилолистеза, тем сильнее отклонения параметров [30, 37, 68, 81].

Важно отметить, что у детей с тяжелыми степенями спондилолистеза в некоторых случаях имеют место диспластические изменения верхней замыкательной пластины S1 (куполообразный крестец), а также нижней замыкательной пластины L5 [3]. Данные особенности делают затруднительным расчет сагиттальных параметров, однако, группой по изучению деформаций позвоночника «Spinal Deformity Study Group» (SDSG), предложен метод расчета теоретической линии верхней замыкательной пластины S1 позвонка у пациентов с диспластическими изменениями (Рисунок 4) [53].

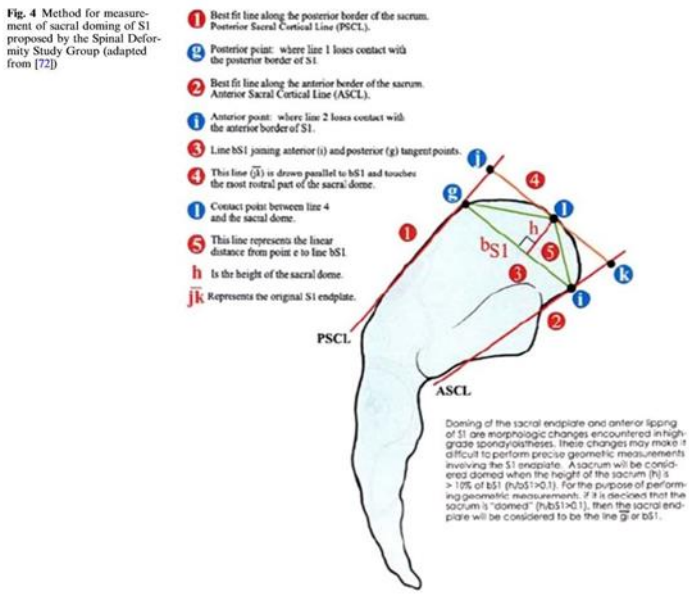



**Рисунок 4** – Расчет теоретической линии верхней замыкательной пластины S1 позвонка у пациентов с диспластическими изменениями при спондилолистезе

В свою очередь, коллективом китайских авторов предложена методика расчета PI по замыкательной пластине S2 позвонка – модифицированный PI (mPI). В своей работе они доказали возможность применения данной методики расчета (Рисунок 5) [49].

Пациенты с отклонением позвоночно – тазовых параметров имеют больший риск развития спондилолистеза в связи с увеличением нагрузки на поясничный отдел позвоночника [26].

Высокие показатели PI при спондилолистезе часто связаны с увеличением поясничного лордоза [37].

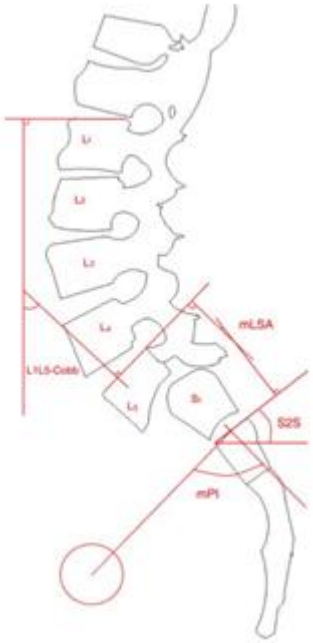



**Рисунок** 5 – Расчет параметра PI по верхней замыкательной пластине S2 позвонка (mPI).

Roussouly с соавторами доказали, что при спондилолизе и небольших степенях спондилолистеза (0–2 по Meyerding) высокие показатели PI в комбинации с высокими показателями SS (SS > 40º) увеличивают риск так называемого напряжения сдвига (shear stress), оказываемого на межпозвонковый диск L5-S1 и вызывают давление на суставные отростки L5. В свою очередь у пациентов с низким PI и SS (SS<40º) междужковый дефект L5 позвонка является результатом постоянного механического воздействия нижних суставных отростков L4 позвонка во время разгибания. Данный механизм получил название «щелкунчик» (nutcracker) (Рисунок 6) [68].

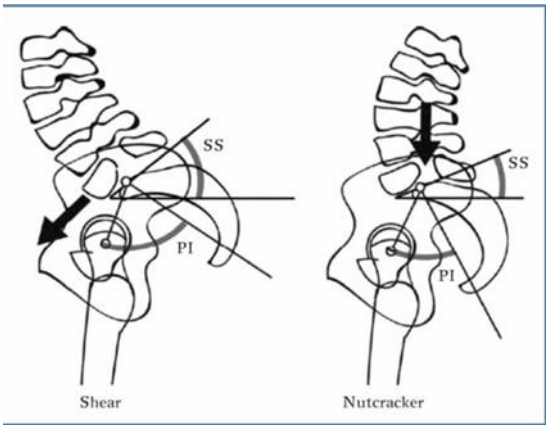



**Рисунок 6** – Механизмы «напряжения сдвига» и «щелкунчика»

Пациентов с высокими степенями спондилолистеза (3-4 по Meyerding) Hresko с соавторами также разделили на две группы: относительно сбалансированные (высокие показатели SS/ низкие показатели PT) и несбалансированные, характеризующиеся ретроверсией таза (низкие показатели SS / высокие показатели PT). Данное исследование показало, что у пациентов с разными параметрами сагиттального баланса отличается биомеханика спондилолистеза. (Рисунок 7) [31].

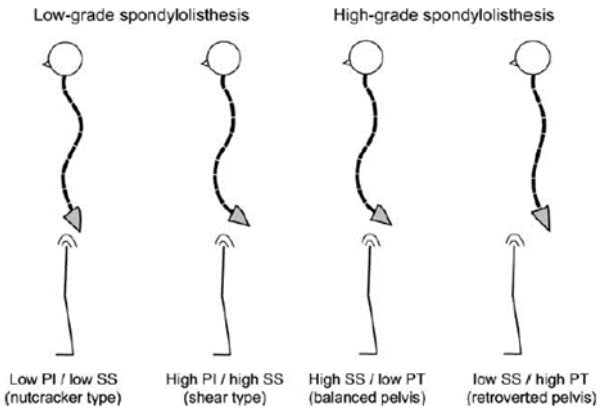



**Рисунок 7** – Типы баланса по Hresko

Описанные выше патологические процессы на уровне L5-S1, также как пространственное положение и морфология таза влияют на глобальный сагиттальный баланс [16, 52].

У пациентов со спондилолистезом происходит изменение позвоночно-тазовых параметров с целью компенсации сагиттального дисбаланса.

Первым компенсаторным механизмом является увеличение поясничного лордоза (LL) для сохранения центра тяжести над головками бедер и поддержания вертикальной позы [51]. Однако для каждого человека существует предел увеличения показателей LL, который обусловлен силой мышц, механическими свойствами межпозвонковых дисков, связок позвоночника, а также анатомией позвоночника и грудной клетки [10].

После достижения максимального поясничного лордоза, для поддержания вертикальной позы, включается второй компенсаторный механизм – ретроверсия таза, который достигается путем сгибания в тазобедренных суставах.

Данные компенсаторные механизмы были также описаны в работе Hresko с соавторами [31].

Поскольку PI является статическим (анатомическим) параметром, наряду с ретроверсией таза уменьшаются показатели SS. В результате, положение крестца становится вертикальным.

Когда исчерпан лимит двух вышеописанных компенсаторных механизмов, у пациента развивается сагиттальный дисбаланс, который проявляется наклоном туловища кпереди и сгибанием в коленных суставах.

Таким образом, восстановление позвоночно – тазовых взаимоотношений играет ключевую роль в хирургическом лечении спондилолистеза и определяет успешность операции [53].

Тяжелые степени спондилолистеза у детей в большинстве случаев характеризуются высокими показателями PI, что может являться этиологическим фактором данного заболевания и приводить к развитию сагиттального дисбаланса. Одной из задач оперативного лечения спондилолистеза является восстановление сагиттальных параметров или максимальное их приближение к нормальным значениям. Однако, на сегодняшний день, в мировой литературе существует крайне малое количество работ, посвященных нормам сагиттальных параметров у детей, что обусловлено этическими нормами [19, 27, 29, 42, 53, 55, 86].

Причиной сагиттального дисбаланса не во всех случаях является нарушение позвоночно-тазовых взаимоотношений вследствие высоких степеней спондилолистеза. В ряде случаев, у детей с низкими степенями спондилолистеза (low grade), нарушение сагиттального баланса развивается при наличии неврологических расстройств, болевого синдрома, синдрома пояснично-бедренной ригидности [35]. У данной группы пациентов вертикальное положение туловища восстанавливается после выполнения декомпрессии позвоночного канала и не требует максимальной редукции сместившегося позвонка [72].

Важную роль в развитии болевого синдрома и нарушения вертикального положения туловища у детей играет локальный пояснично-крестцовый кифоз [11, 54, 64].

## 1.3. Классификации спондилолистеза, применимые к пациентам детского возраста

По **этиологии** общепринятыми классификациями спондилолистеза являются:

**1.** ***Классификация L. Wiltse*** (1976) [82]. Автор предложил разделить спондилолистез на 5 видов в зависимости от этиологического фактора:

1) I тип – диспластический спондилолистез, развивающийся в результате врожденной дисплазии верхней части крестца и (или) дуги L5 позвонка с ее удлинением или спондилолизом;

2) II тип – истмический спондилолистез, который связан со стрессовым повреждением межсуставной части дуги (IIA) или спондилолизом, постепенно формирующегося в удлиненной межсуставной части дуги (IIB), спондилолиза как остро возникающего дефекта межсуставной части дуги (IIC);

3) III тип – дегенеративный спондилолистез, связанный с дегенеративным остеоартрозом (без дефекта межсуставной части дуги);

4) IV тип – травматический спондилолистез, связанный с острым переломом задних элементов позвонков, кроме межсуставной части дуги, и разрывом диска;

5) V тип – патологический спондилолистез, связанный с деструкцией задних элементов позвонков из-за локальных или системных костных заболеваний (воспаление, опухоли и др.).

Недостатком данной классификации является отсутствие взаимного исключения типов и классов, что часто приводит к неверной трактовке (один и тот же клинический случай одни ортопеды относят диспластическому типу, а другие – к истмическому).

**2.** В 1978 г. ***Митбрейт И. М.*** [6] создал классификацию, в которой выделил следующие виды спондилолистеза:

– острый диспластический (характеризуется смещением, достигающим до созревания скелета III–V степени;

– спондилолизный (вялотекущая форма спондилолистеза у детей, подростков и у взрослых, смещение у детей и подростков не превышает I степени, а у взрослых – II степени);

– инволютивный (тождественен дегенеративному спондилолистезу без дефекта межсуставной части дуги;

– острый травматический.

Особенностью данной классификации является выделение стабильных и нестабильных вариантов, которые влияют на выбор лечебной стратегии и тактики.

**3. *Классификация P. G. Marchetti и P. Bartolozzi*.** В 1986 г. итальянские ученые P.G. Marchetti и P. Bartolozzi [58] предложили разделить спондилолистез на два вида: развивающийся (developmental) и приобретенный (acquired). Англоязычный термин «developmental» обозначает в данном контексте формирование деформации в период роста и развития, то есть незавершенного созревания скелета.

*Приобретенный* спондилолистез формируется под влиянием дегенеративных, травматических и других патологических процессов у лиц с завершенным созреванием скелета и соответствует III–V типам по классификации L.Wiltse.

*Развивающийся* спондилолистез, в зависимости от тяжести дисплазии и вероятности прогрессирования, делится на высокодиспластический и низкодиспластический.

*Высокодиспластический* спондилолистез характеризуется пояснично-крестцовым кифозом, трапециевидной формой тела L5 позвонка, дисплазией задних элементов пояснично-крестцового отдела и аномалией верхней замыкательной пластины S1 позвонка.

*Низкодиспластический* спондилолистез характеризуется относительно нормальным профилем пояснично-крестцового отдела, сохранением прямоугольной формы тела L5 позвонка и верхней замыкательной пластины S1 позвонка, отсутствием поясничного гиперлордоза.

Основной смысл данной классификации состоит в том, что высокодиспластический спондилолистез обладает большой тенденцией к прогрессированию.

Низкодиспластический спондилолистез не прогрессирует больше чем до I–II степени, поэтому его можно лечить консервативно или с помощью менее агрессивных хирургических методов.

Помимо этиологических, существуют и **клинические классификации** спондилолистеза:

**1. *Классификация Meyerding*** (Рисунок 8) [61]. Верхняя замыкательная пластинка нижележащего позвонка делится на 4 секции. Каждая секция составляет 25% от всей поверхности замыкательной пластинки. В соответствии с этими секциями выделяется 4 степени спондилолистеза (I степень: 0–25%; II степень: 25–50%; III степень: 50–75%; IV степень: 75–100%). Также выделяют V степень – спондилоптоз.

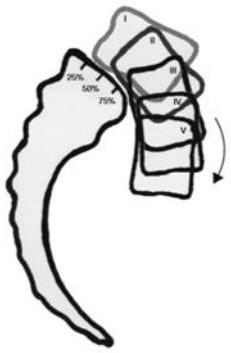



**Рисунок 8** – Степени смещения L5 позвонка по классификации Meyerding

Данная классификация является рентгенологической и позволяет объективно оценить степень смещения, однако она не учитывает позвоночно тазовые взаимоотношения.

**2. Классификация SDSG** (spinal deformity study group). В данной классификации выделяют 6 типов (Рисунок 9) [36]. *Первые три типа* относят к спондилолистезу легкой степени – low grade (Meyerding I, II):

1) тип 1 – низкие значения PI (менее 45°);

2) тип 2 – средние значения PI (45 – 60°);

3) тип 3 – высокие значения PI (более 60°).

*Вторые три типа* относят к спондилолистезу тяжелой степени – high grade (Meyerding III, IV):

Тип 4 – сбалансированный таз (без включения компенсаторных механизмов);

Тип 5 – включение компенсаторного механизма в виде ретроверсии таза, но без сагиттального дисбаланса;

Тип 6 – сагиттальный дисбаланс.

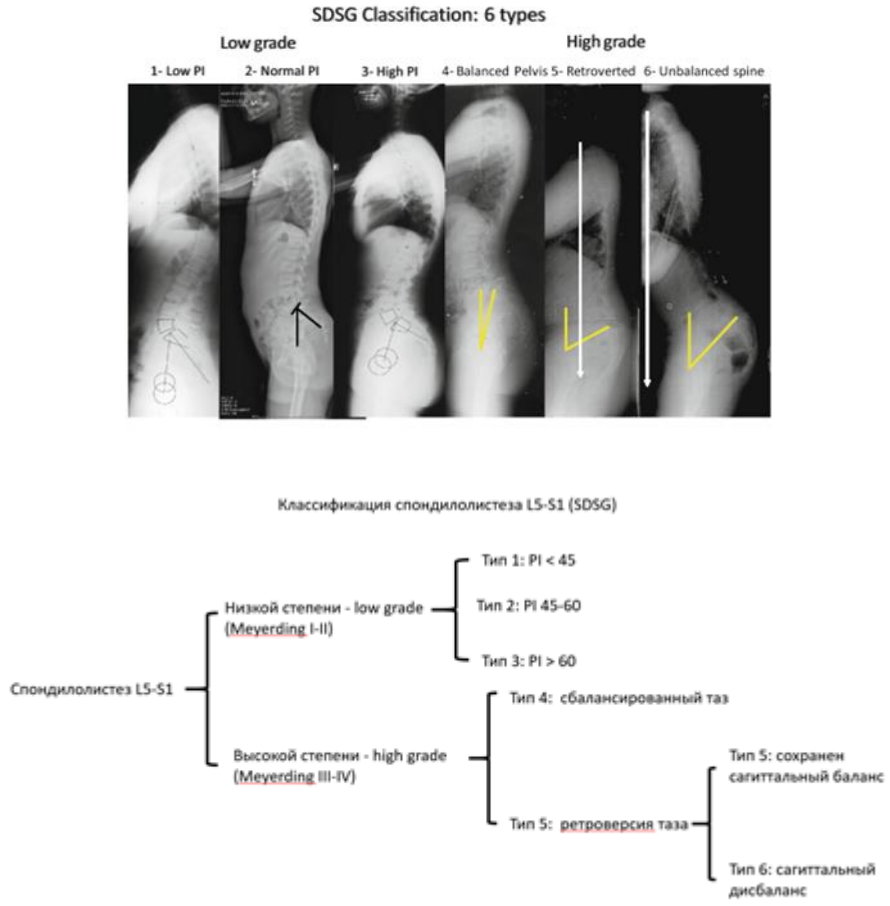



**Рисунок 9** – Типы спондилолистеза по классификации SDSG

Особенностью данной классификации является возможность оценить не только степень смещения позвонка, но и параметры сагиттального баланса. В зависимости от типа спондилолистеза по классификации SDSG определяется тактика оперативного вмешательства: (фиксация «in situ» или выполнение редукции L5 позвонка с восстановлением позвоночно-тазовых взаимоотношений), а также риск прогрессирования спондилолистеза. Важно отметить, что данная классификация применима только при диспластическом или истмическом (I и II типы по Wiltse) спондилолистезе.

Данная классификация является основной для детей со спондилолистезом, так как у пациентов детского возраста в большинстве случаев встречаются I и II типы спондилолистеза по Wiltse. Также вышеописанная классификация учитывает положение таза в пространстве и вертикальное положение туловища, что является одним из критериев оценки успешности оперативного лечения.

### 1.4. Риск прогрессирования спондилолистеза у детей

Факторы, ассоциированные с риском развития спондилолистеза у детей, включают в себя женский пол, выявление патологии в раннем возрасте, высокую степень спондилолистеза (3,4 по Meyerding), а также высокую степень дисплазии (Marchetti and Bartolozzi выделяют низко- и высокодиспластичные формы развивающегося спондилолистеза) [20].

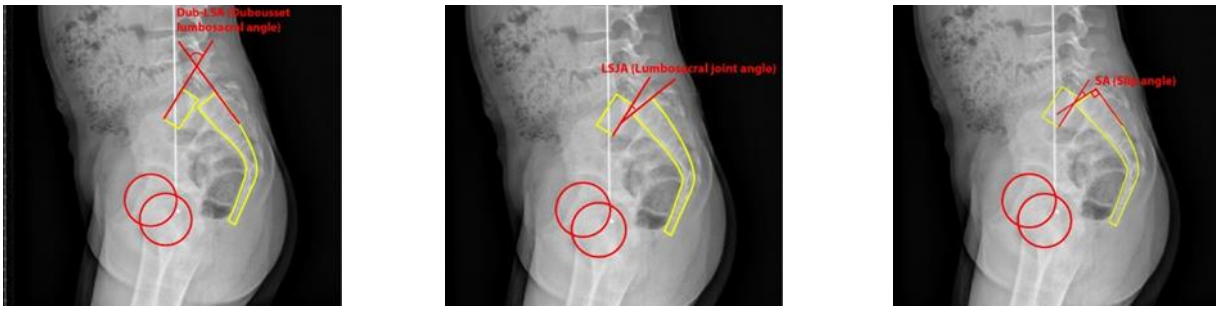
В основе деформации при спондилолистезе лежат два компонента: трансляционный и угловой. Трансляционный компонент выражается в степенях (классификация Meyerding [61]), либо в процентах, как описано в работе Boxall [17], а также в работе И. М. Митбрейта [6]. Угловой компонент заключается в измерении углов смещения и выражается в градусах. Описано множество вариантов измерения угла смещения при спондилолистезе [28]. Все они характеризуют локальный пояснично-крестцовый кифоз.

В норме уровень L5-S1 характеризуется наличием лордоза, однако, при прогрессировании степени спондилолистеза, на данном уровне формируется кифотическая деформация. Некоторые авторы считают, что наличие локального кифоза на уровне L5-S1 является фактором риска прогрессирования спондилолистеза [74]. Другие авторы предполагают, что устранение локального пояснично-крестцового кифоза, то есть углового компонента деформации, является более важным аспектом, чем устранение трансляционного компонента. В результате устранения пояснично-крестцового кифоза восстанавливается глобальный сагиттальный баланс позвоночника [47]. Также в работе Labelle и соавторов доказана корреляция локального пояснично-крестцового кифоза с качеством жизни пациентов [76].

*Пояснично-крестцовый угол Dubousset (Dubousset lumbo-sacral angle, Dub-LSA)* (Рисунок 10А). У пациентов с незавершенным скелетным ростом, пояснично-крестцовый угол является достоверным показателем возможности дальнейшего прогрессирования. Пояснично-крестцовый угол – это угол между линией, проведенной горизонтально по верхней замыкательной пластинке L5 позвонка и линией, опущенной по задней поверхности тела S1. В своей работе Dubousset доказал, что показатель пояснично-крестцового угла меньше 90º (в норме 90º–110º) неизбежно приводит к прогрессированию степени спондилолистеза [22, 78].

*Угол скольжения (Slip angle, SA)*. Это угол, образованный линией, проведенной по нижней замыкательной пластинке L5 и перпендикуляром, опущенным от линии, проведенной по задней поверхности тела S1 позвонка. Угол скольжения, превышающий 55º (в норме: от минус 10º до 0º) также коррелирует с вероятностью прогрессирования (Рисунок 10В) [80].

*Угол пояснично-крестцового сочленения (Lumbosacral joint angle, LSJA).* Это угол между нижней замыкательной пластиной L5 и верхней замыкательной S1. В случае нормального пояснично-крестцового лордоза данный угол равен 0 градусам, либо имеет отрицательное значение (Рисунок 10Б) [76].




**А** **Б** **В**

**Рисунок 10 –** Углы – маркеры прогрессирования спондилолистеза. **А** – пояснично – крестцовый угол Dubousset (Dubousset lumbo-sacral angle, Dub-LSA); **Б –** угол пояснично-крестцового сочленения (Lumbo-sacral joint angle, LSJA); **В** – угол скольжения (Slip angle, SA)

*Угол Митбрейта – Беленького.* Степень смещения позвонка определяют на рентгенограмме по углу между вертикальной осью и линией, соединяющей центры сползающего и нижерасположенного позвонков. Смещение L5 позвонка на 46–60°

соответствует I степени смещения, на 61–75° – II степени, 76–90° – III степени, 91–105° – IV степени, 106–120° и более – V степени смещения (Рисунок 11) [6].

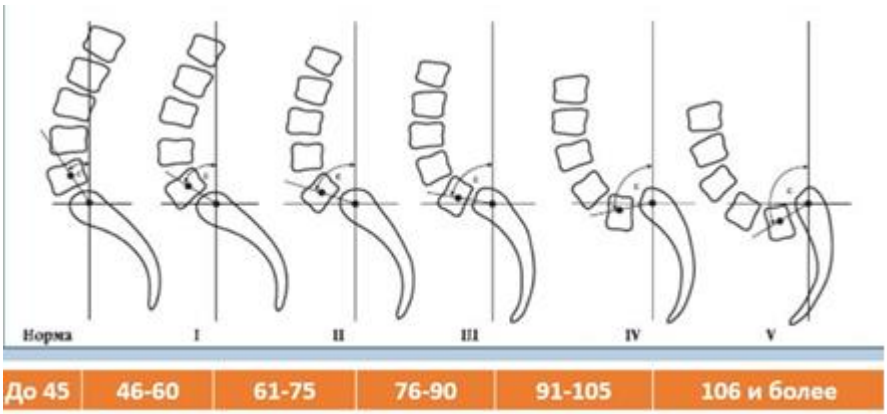



**Рисунок 11** – Угол Митбрейта –Беленького

### 1.5. Методы оперативного лечения спондилолистеза у детей

**Дорсальная фиксация «in situ».** Хирургическое лечение спондилолистеза начиналось именно с этой методики. В настоящее время она также используется, но уже с применением дорсальных транспедикулярных систем [5, 33]. Фиксацию «in situ» возможно использовать у пациентов со спондилолистезом 3-4-й степени по Meyerding, ведущим симптомом у которых является локальный болевой синдром в поясничном отделе позвоночника и отсутствуют корешковая симптоматика, неврологический дефицит, а также выраженный косметический дефект [76]. Пациент, подходящий для фиксации «in situ» не должен иметь фораминального стеноза, а также сагиттального дисбаланса [36].

**Декомпрессия, дорсальная редукция и заднебоковой спондилодез**. В настоящий момент существует большое количество работ, доказывающих эффективность и безопасность выполнения дорсальной редукции, декомпрессии и заднебокового спондилодеза. В своей работе Hu с соавторами [32] использовали аутотрансплантат из гребня подвздошной кости, а также из малоберцовой кости для выполнения переднего спондилодеза после частичной редукции L5 позвонка. Однако, в связи с тяжестью смещения при тяжелых степенях спондилолистеза, передняя колонна испытывает чрезмерную для костного трансплантата нагрузку. В та-

ких случаях целесообразно выполнять передний спондилодез L5-S1 с использованием кейджа [33]. Современные транспедикулярные системы и инструментарий позволяют выполнить дорсальную фиксацию даже при высоких степенях смещения L5 позвонка, но в случаях, когда тяжело добиться хорошей редукции L5, предпочтительнее провести винты транссакрально, через S1 в L5, добившись тем самым трикортикальной фиксации. Еще одним вариантом в случае невозможности редукции L5 является проведение аутотрансплантата или цилиндрического кейджа с аутокостью из S1 в L5 через просверленный канал.

**Декомпрессия, дорсальная редукция и спондилодез 360°.** Выполнение спондилодеза 360° обеспечивает бóльшую стабильность пояснично-крестцового отдела, а также способствует увеличению скорости формирования костно-металлического блока L5-S1 [79]. Существует ряд исследований, доказывающих высокий риск развития псевдоартроза и прогрессирования смещения после выполнения только заднего спондилодеза [22, 63]. В таких случаях псевдоартроз возникает в связи с высокой нагрузкой на фиксированный сегмент L5-S1. Передний спондилодез можно выполнить отдельно из переднего доступа (ALIF), а также из заднего доступа (PLIF, TLIF). Molinari с соавторами [57] в своей работе доложили о более высокой частоте сращения L5-S1 при выполнении заднего и переднего спондилодеза, по сравнению с группой пациентов, которым выполнялась только дорсальная фиксация. На сегодняшний день спондилодез 360° является «золотым стандартом» оперативного лечения спондилолистеза. Данная методика позволяет сохранить биомеханические взаимоотношения и сформировать качественный костно-металлический блок. Особенно актуально выполнение спондилодеза 360° у пациентов с высокими значениями PI, так как они больше всего подвержены так называемому напряжению сдвига (shear stress). Также, у пациентов с тяжелыми степенями спондилолистеза имеют место диспластические изменения замыкательных пластин S1, что уменьшает площадь их поверхности и способствует более частому развитию псевдоартроза по сравнению с низкими степенями спондилолистеза [65].

**Стабилизация L5-S1 из переднего внебрюшинного мини-доступа.** В. В. Доценко разработал методику вентральной декомпрессии на поясничном

уровне из внебрюшинного открытого мини-доступа, при выполнении которой была использована микрохирургическая техника. Предложенный кольцевой имплантат с высокой резьбой, дополненный индивидуальными титановыми конструкциями, устанавливается с резекцией замыкательных пластин L5 и S1 позвонков [4].

Расширение межпозвонковых отверстий производится за счет резекции задневерхнего края нижерасположенного позвонка и заднененижнего края вышерасположенного. В этом суть нейрохирургической декомпрессии. По данной методике авторами было прооперировано 64 больных за период с 1996 по 2002 гг. Случаев миграции имплантов зафиксировано не было. Проведенные исследования убедительно доказали, что данная технология приводит к образованию костного сращения. Авторы отмечают, что не прибегали к ревизии по поводу несостоятельности межтелового спондилодеза ни в одном случае [4]. На сегодняшний день данная методика также активно применяется при оперативном лечении спондилолистеза во многих клиниках России.

**Транскорпоральный вентросакральный микроэндоскопический спондилодез L5-S1**. Суть операции заключается в выполнении вентросакрального операционного доступа к передней поверхности S1 позвонка и фиксации пояснично-крестцового отдела транскорпоральным введением одного или двух титановых винтов через тело S1 и L5 позвонков, межпозвонковый диск L5-S1 в аксиальном направлении [1]. Хорошие результаты получены у всех пациентов. Разработанный авторами способ минимально инвазивного микроэндоскопического транскорпорального остеосинтеза пояснично-крестцового отдела позвоночника с помощью вентросакрального доступа, в отличие от известных передних или задних хирургических методик лечения спондилолистеза, позволяет через разрез кожи 2,5 см выполнить полный объем оперативного вмешательства на патологическом очаге, создать первично-стабильный спондилодез, исключает травматизацию фасций и паравертебральной мускулатуры, брюшного отдела аорты и нижней полой вены, необходимость манипуляций с органами брюшной полости, снижает возможность поражения корешков спинного мозга, устраняет необходимость резекции тел позвонков, фиброзного кольца межпозвонкового диска, связок и суставов [1].

**Транссакральный спондилодез аутокостью с заднебоковым межтеловым спондилодезом (без выполнения редукции)**. Для достижения спондилодеза 360° могут быть использованы передний и задний доступы (последовательно); задний или трансфораминальный доступ и транссакральный доступ. В случаях, когда межтеловой спондилодез невозможен из-за тяжести смещения L5 позвонка, может использоваться траннсакральный доступ, описанный Bohlman и Cook [50], для выполнения переднего спондилодеза. Из-за выраженного смещения L5 при спондилолистезе высокой степени, дискэктомия L5-S1 из переднего доступа может быть затруднительна и требовать остеотомии переднего нижнего угла тела L5. Также, в связи с маленькой площадью контакта замыкательных пластин L5 и S1, межтеловой спондилодез может не состояться. В таких случаях оптимально использовать другие способы переднего спондилодеза, такие как транссакральный спондилодез кейджем или винтами [39, 50]. Данная методика не подразумевает выполнение редукции, тем не менее некоторыми авторами описано ее частичное выполнение с последующим транссакральным спондилодезом и остеотомией верхней замыкательной пластины S1, если имеется необходимость в исправлении локального поясничнo-крестцового кифоза [15, 73]. Однако, следует принять во внимание тот факт, что выполнение остеотомии крестца связано с повышенным риском неврологических осложнений [34].

**Спондилэктомия L5 при спондилоптозе.** Gaines с соавторами в 1985 г. впервые предложили методику резекции L5 позвонка при спондилоптозе, а затем доложили о результатах проведения 30 подобных вмешательств, выполненных в течение 25 лет [25, 67]. При спондилоптозе тело L5 не имеет контакта с верхней замыкательной пластиной S1, делая редукцию невозможной. В таком случае оптимальным вариантом хирургической тактики является резекция тела L5 из переднего внебрюшинного доступа с последующей редукцией тела L4 позвонка и фиксацией непосредственно над S1 с помощью транспедикулярной системы из дорсального доступа. В результатах данного исследования авторы докладывают о поломке винтов дорсальной металлоконструкции у двух пациентов. В одном случае

имело место повреждение нижней полой вены. Неврологических осложнений авторами не наблюдалось [25, 67].

**Резюме**

По данным литературы имеются различия нормальных значений сагиттального баланса у здоровых взрослых и детей. Однако, работы по нормам сагиттального баланса у детей являются единичными. В отечественной литературе подобных работ вовсе не встречается.

Известно, что при спондилолистезе (особенно при его высоких степенях) происходят изменения позвоночно-тазовых параметров. Одной из задач оперативного лечения спондилолистеза является восстановление сагиттального баланса или максимальное его приближение к нормальным значениям, но остается открытым вопрос, каковы целевые значения для детей?

В мировой литературе описано множество методик оперативного лечения спондилолистеза. Все они имеют свои плюсы и минусы. Тем не менее, на сегодняшний день нет единой принятой тактики оперативного лечения спондилолистеза у детей в зависимости от степени смещения, наличия диспластических изменений, клинических проявлений, неврологической симптоматики.

# Глава 2. МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

## 2.1. Характеристика пациентов со спондилолистезом

Было произведено ретроспективное исследование 98 пациентов в возрасте от 8 до 17 лет включительно.

***Группа 1*** – 43 пациента без патологии опорно-двигательного аппарата. В данную группу вошли пациенты, обратившиеся на амбулаторный прием в ФГБУ «ФЦТОЭ» Минздрава России (г. Смоленск) с жалобами на боли в спине и/или нарушение осанки. С целью исключения патологии опорно-двигательного аппарата данным пациентам были выполнены постуральные рентгенограммы. Пациенты данной группы были разделены по возрасту на две подгруппы: подгруппа А (8–12 лет, n = 25); подгруппа Б (13–17 лет, n = 18).

Критериями включения в группу 1 являлись:

– возраст до 17 лет включительно;

– отсутствие деформаций позвоночника (сколиотических, кифотических, посттравматических, спондилолистеза) и другой ортопедической патологии.

Критериями невключения являлись:

– возраст более 17 лет;

– наличие деформаций позвоночника (сколиотических, кифотических, посттравматических, спондилолистеза) и другой ортопедической патологии.

Критериями исключения являлись:

– отсутствие постуральных рентгенограмм позвоночника.

***Группа 2*** – 55 пациентов, поступивших в ФГБУ «НМИЦ ТО им. Н. Н. Приорова» Минздрава России с диагнозом «спондилолистез L5 позвонка» для оперативного лечения в период с 2012 по 2021 гг. Пациенты данной группы также были разделены по возрасту на две подгруппы: подгруппа А (8–12 лет, n = 23); подгруппа Б (13–17 лет, n = 32).

Критериями включения в группу 2 являлись:

– возраст до 17 лет включительно;

– наличие спондилолистеза пятого поясничного позвонка и отсутствие другой ортопедической патологии.

Критериями невключения являлись:

– возраст более 17 лет;

– наличие любой ортопедической патологии, помимо спондилолистеза L5 позвонка.

Критериями исключения являлись:

– отсутствие постуральных рентгенограмм позвоночника до и после оперативного лечения.

Учитывая, что по данным литературы статистически значимых различий сагиттальных параметров между девочками и мальчиками нет, [55] деление по полу не производилось.

Пациенты группы 2 были разделены на подгруппы, в зависимости от тактики предполагаемого оперативного лечения:

– дети с билатеральным спондилолизом L5 позвонка;

– дети со спондилолистезом «low grade» L5 позвонка;

– дети со спондилолистезом «high grade» L5 позвонка;

– дети со спондилолистезом L5 позвонка в сочетании с синдромом поясничено-бедренной ригидности.

## 2.2. Методы исследования

Диагностический комплекс включал в себя оценку клинической картины, неврологическое обследование, рентгенологический метод исследования (постуральная рентгенография с расчетом сагиттальных параметров позвоночника, интраоперационная флюороскопия), КТ, МРТ, анкетирование, статистические методы.

**Оценка клинических проявлений**

Всем пациентам проводилась оценка ортопедического и неврологического статуса. При осмотре со спины оценивался сагиттальный и фронтальный профиль. Оценивали наличие анталгической установки туловища, нарушение походки у пациентов с выраженным болевым синдромом и синдромом пояснично-бедренной

ригидности. При пальпации обращали внимание на наличие «ступеньки» в проекции остистых отростков пояснично-крестцового отдела позвоночника. Производили пальпацию паравертебральных точек, оценивали напряжение паравертебральных мышц. Оценивали болезненность при выполнении активных движений в позвоночнике (при сгибании и разгибании). Оценивали наличие симптомов натяжения, силу мышц сгибателей и разгибателей стоп, нарушение чувствительности.

**Лучевые методы исследований**

Рентгенологическая диагностика включала постуральную рентгенографию позвоночника, интраоперационную флюорографию.

По данным постуральной рентгенографии в боковой проекции всем пациентам группы 1 проводили рентгенометрические расчёты следующих параметров (Рисунок 12): наклон таза (pelvic tilt, PT); тазовый индекс (pelvic incidence, PI); наклон крестца (sacral slope, SS); поясничный лордоз (lumbar lordosis, LL); разница между значениями показателей тазового индекса и поясничного лордоза (PI-LL); грудной кифоз (thoracic kyphosis, TK).

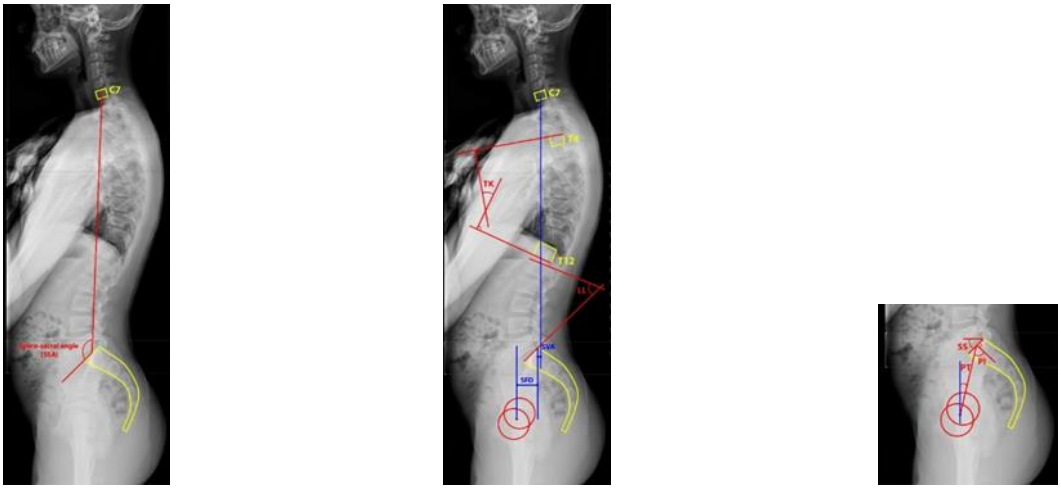


**Рисунок 12** – Пример расчета основных позвоночно-тазовых параметров у детей без ортопедической патологии

Для пациентов группы 2, помимо основных параметров, были также рассчитаны параметры, характеризующие пояснично-крестцовый кифоз (Рисунок 13): угол соскальзывания (SA – Slip angle); пояснично-крестцовый угол Dubousset (Dub-LSA – Dubousset lumbosacral angle); угол пояснично-крестцового сочленения (LSJA – Lumbosacral joint angle);

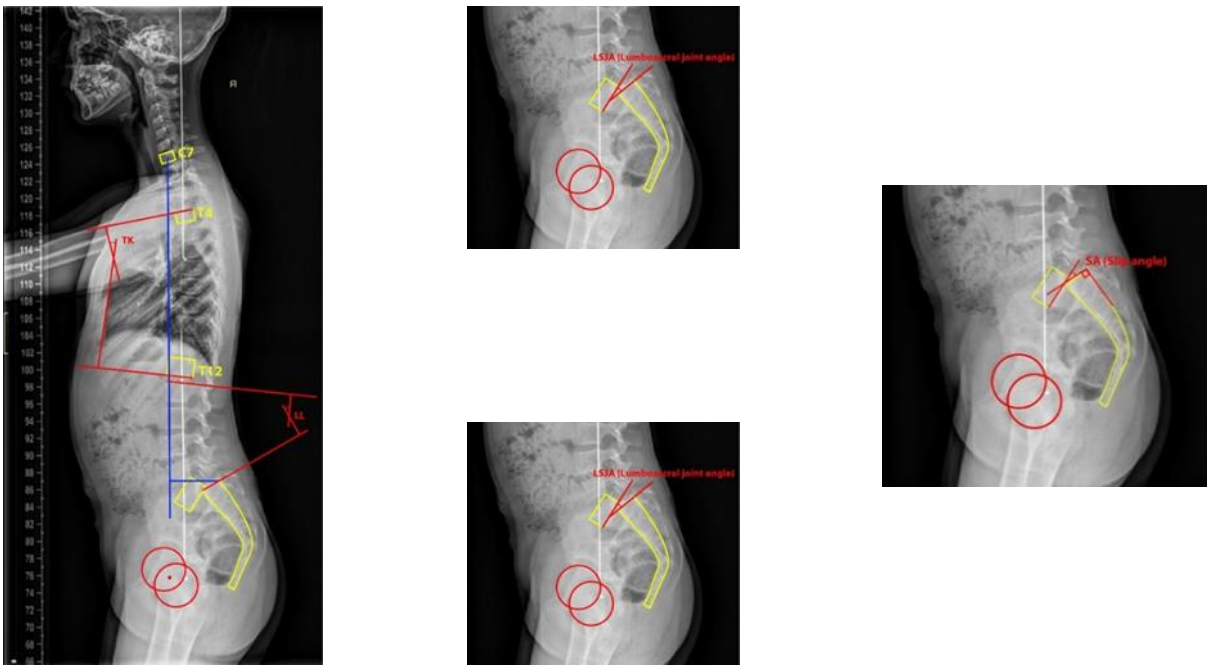



**Рисунок 13** – Пример расчета основных позвоночно-тазовых параметров и параметров, характеризующих пояснично-крестцовый кифоз у детей со спондилолистезом

Для минимизации изменения в сагиттальном контуре позвоночника и предотвращения компенсаторного изменения осанки исследование проводилось по стандарту, предложенному группой по изучению деформаций позвоночника «Spinal Deformity Study Group» (SDSG) [36]: пациент находится в положении стоя, коленные и тазобедренные суставы в нейтральном, удобном для пациента положении. Руки согнуты в плечевых и локтевых суставах с расположением пальцев в области ключиц. Если имеется укорочение нижней конечности более 2 см, рентгеновский снимок выполняют с компенсацией для выравнивания таза.

Степень спондилолистеза оценивали по следующим классификациям:

1) классификация Meyerding;

2) классификация SDSG (spinal deformity study group);

3) классификация Митбрейта – Беленького.

По данным МРТ оценивали наличие стеноза позвоночного канала на уровне спондилолистеза.

По данным КТ определяли наличие спондилолиза, исключая тем самым травматический характер повреждения. Определи размер зоны спондилолиза, а также его сторонность. Оценивали наличие изменений формы замыкательной пластинки S1 позвонка.

Интраоперационная флюорография позволяла на этапах оперативного лечения оценить положение транспедикулярных винтов, межтеловых имплантов, индивидуальных передних пластин, а также степень редукции L5 позвонка.

**Методы оценки результатов лечения**

Для оценки результатов хирургического лечения применяли опросники, характеризующие качество жизни и интенсивность болевого синдрома до операции, в раннем послеоперационном периоде и в позднем послеоперационном периоде.

Для оценки интенсивности болевого синдрома применялась визуальная аналоговая шкала (ВАШ), где «0» – отсутствие болевого синдрома, а «10» – нестерпимая боль.

Для оценки качества жизни детей и подростков применяли опросник Pediatrics Quality of Life Scale (PedsQL 4.0 Generic Core Scales), в котором проводится изучение физического, эмоционального, социального и ролевого функционирования. Опросник состоит из 23 вопросов, которые объединены в следующие шкалы:

– физическое функционирование – 8 вопросов;

– эмоциональное функционирование – 5 вопросов;

– социальное функционирование – 5 вопросов;

– ролевое функционирование – школьное функционирование – 5 вопросов.

Опросник разделен на блоки по возрастам – 8–12 и 13–18 лет, которые имеют формы для заполнения детьми и родителями. Общее количество баллов для всех модулей рассчитывается по 100-балльной шкале после процедуры шкалирования: чем выше итоговая величина, тем лучше качество жизни ребенка.

Для оценки качества жизни детей старшей возрастной категории (13-17 лет) применяли опросник Освестри (ODI – Osvestry Disability Index). Значения индекса от 0 до 20% означают минимальные нарушения, от 21 до 40% – умеренные, от 41 до 60% – тяжёлые, от 61 до 80% – инвалидизирующие, а значения ODI от 81 до 100% свидетельствуют о нарушениях, приковывающих к постели, или о преувеличении жалоб.

Оценку результатов лечения проводили следующим образом:

– отличный результат: пациент полностью возвращался к прежнему уровню качества жизни (как до начала болезни);

– хороший результат: полное возвращение к прежнему уровню социальной и бытовой активности, но с неким ограничением физических нагрузок;

– удовлетворительный результат: бытовая и социальная активность восстановлены не полностью, возможны только небольшие физические нагрузки;

– неудовлетворительный результат: отсутствие эффекта от операции или, рецидив болевого синдрома.

## 2.3. Показания к оперативному лечению спондилолистеза

Самым распространенным типом спондилолистеза у детей и подростков является спондилолизный. Ведущую роль в формировании клинической картины данной категории пациентов играет наличие обширной, чаще двусторонней зоны спондилолиза, что в свою очередь приводит к смещению тела L5 позвонка и развитию интенсивного болевого синдрома в поясничном отделе позвоночника и/или компрессионным корешковым синдромам.

В ряде наблюдений, у пациентов со спондилолизом L5 позвонка, триггерным фактором развития спондилолистеза с выраженными клиническими проявлениями являются профессиональные занятия следующими видами спорта: гимнастика, танцы, единоборства, футбол, хоккей.

У ряда пациентов из группы 2 (n = 7 (3,8%)) спондилолистез сочетался с синдромом пояснично-бедренной ригидности, что приводило к нарушению походки, анталгической установке туловища с наклоном кпереди и сагиттальным дисбалансом.

Исходя из вышесказанного, можно обозначить следующие показания к хирургическому вмешательству:

1) выраженный локальный болевой синдром, не позволяющий справляться с элементарными бытовыми задачами;

2) моно- или полирадикулярный корешковый синдром;

3) синдром пояснично-бедренной ригидности;

4) любые клинические проявления у спортсменов, препятствующие дальнейшему занятию спортом.

Важно отметить, что данные показания актуальны только при отсутствии стойкой положительной динамики после прохождения курса консервативной терапии. Клиническая картина, в свою очередь, должна быть сопоставлена с данными КТ, МРТ и рентгенографии.

## 2.4. Использованные методы оперативного лечения спондилолистеза у детей

Всем пациентам выполняли дорсальную фиксацию транспедикулярной системой с редукцией позвонка, а также межтеловой спондилодез кейджем. Ревизию и декомпрессию невральных структур на уровне спондилолистеза выполняли при наличии неврологической симптоматики у пациентов с тяжелыми степенями спондилолистеза или при синдроме пояснично-бедренной ригидности. В некоторых случаях для переднего спондилодеза использовали индивидуальную вентральную пластину.

В зависимости от степени спондилолистеза и анатомических особенностей, оперативное лечение осуществляли в один либо в два этапа.

**При одноэтапном оперативном лечении**

Пациент располагался лежа на животе. После обработки операционного поля растворами антисептиков, в проекции предполагаемого уровня, паравертебрально устанавливали иглу. Осуществляли контроль уровня с помощью ЭОП. В проекции остистых отростков пояснично-крестцового отдела выполняли разрез кожи и подкожно-жировой клетчатки. Протяженность доступа зависит от количества уровней, требующих оперативного лечения. Осуществляли доступ к задним элементам позвонков. Под ЭОП-контролем производили установку транспедикулярных винтов через корни дуг позвонков. Затем, с помощью ламинотомов, дискотомов и костных ложек резецировали межпозвонковый диск L5-S1. Зачищали замыкательные пластинки L5 и S1 позвонков. Далее на винты укладывали заранее смоделированный титановый стержень. Стержень прижимали к винтам и фиксировали гайками. За

счет чего происходила редукция L5 позвонка. На винтах L5-S1 давали умеренную контракцию с целью дополнительной редукции. Между телами L5-S1 трансфораминально устанавливали кейдж, предварительно заполненный аутокостью из резецированных суставных отростков и частей дужек позвонков.

Проводили ЭОП-контроль положения кейджа, а также степени редукции L5 позвонка. Производили окончательную фиксацию стержней гайками. Послойно ушивали рану.

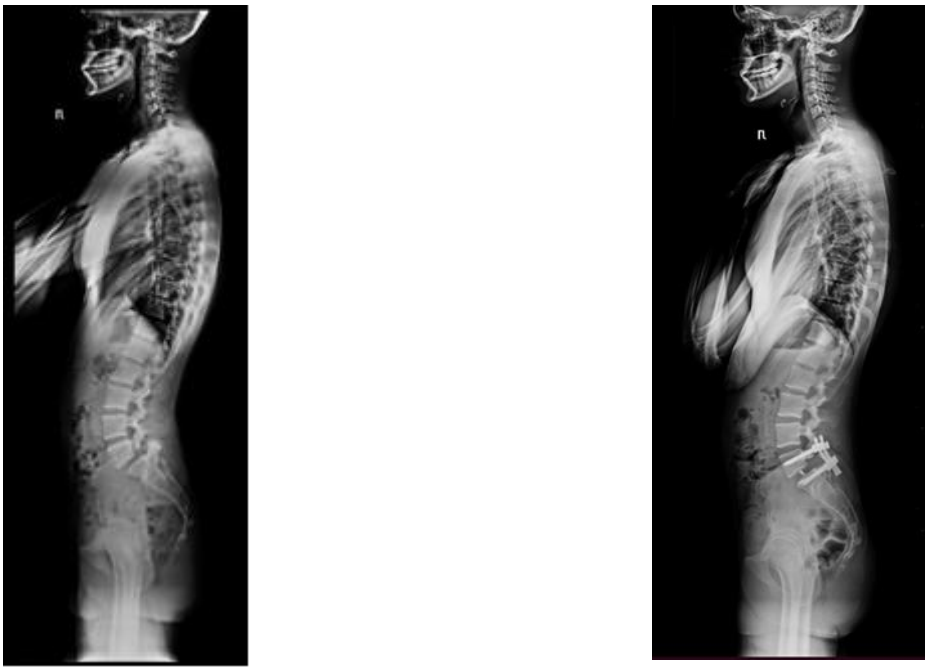


**Рисунок 14** – Одноэтапное оперативное лечение пациента К. 17 лет ИБ Н2021-6506 со спондилолизным спондилолистезом L5 I степени (транспедикулярная фиксация L5-S1; межтеловой трансфораминальный спондилолодез L5-S1 кейджем с аутокостью)

**При двухэтапном оперативном лечении**

Первым этапом выполняли дорсальную фиксацию транспедикулярной системой с редукцией L5 позвонка: пациент располагался лежа на животе. После обработки операционного поля растворами антисептиков, в проекции предполагаемого уровня, паравертебрально устанавливали иглу. Осуществлялся контроль уровня с помощью ЭОП. В проекции остистых отростков пояснично-крестцового отдела выполняли разрез кожи и подкожно-жировой клетчатки. Протяженность доступа зависит от количества уровней, требующих инструментальной фиксации. Осуществляли доступ к задним элементам позвонков. Под ЭОП-контролем производили

установку транспедикулярных винтов через корни дуг позвонков. После установки винтов выполняли ревизию и декомпрессию невральных структур на уровне L5-S1 (Рисунок 15).



**Рисунок 15** –Интраоперационное фото выполненной декомпрессивной ламинэктомии L5 позвонка у пациента со спондилолистезом

Далее на винты L5-S1 укладывали заранее смоделированный титановый стержень. Стержень прижимали к винтам и фиксировали гайками, за счет чего происходила редукция L5 позвонка. На винтах давали умеренную контракцию с целью дополнительной редукции. Проводили ЭОП-контроль положения кейджа, а также степени редукции L5 позвонка. При тяжелых степенях спондилолистеза транспедикулярные винты устанавливали в позвонки L4-L5-S1 (Рисунок 16). Производили окончательную фиксацию стержней гайками. Послойно ушивали рану.

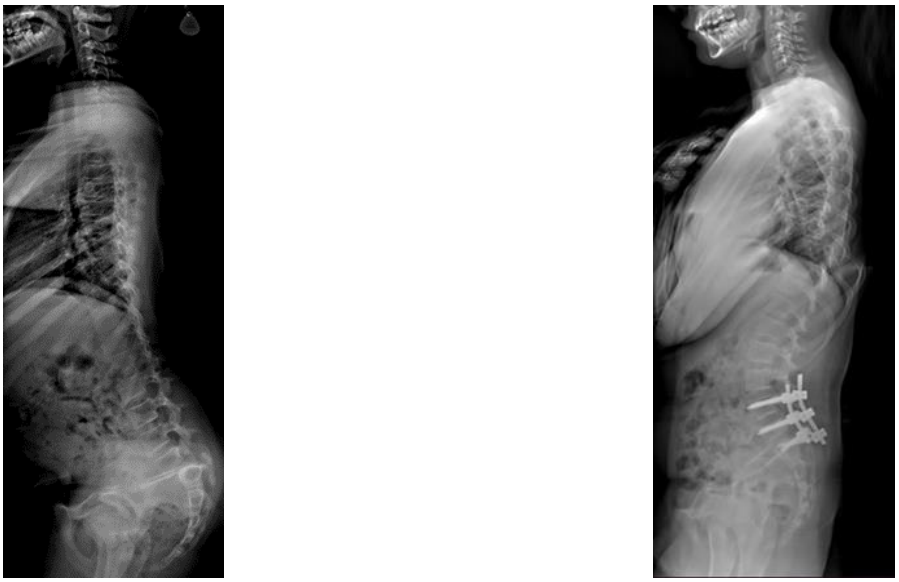


**Рисунок 16 –** Постуральные рентгенограммы пациентки Г. 12 лет (ИБ Н2021-7253) со спондилолизным спондилолистезом L5 III ст. до и после оперативного лечения

Второй этап хирургического лечения (Рисунок 17) выполняли в отдельную хирургическую сессию через 7–10 дней с момента проведения первого этапа: в положении пациента на спине, слева внебрюшинно, производили доступ к телам L5-S1 позвонков. Сосуды мобилизовывали, смещали с позвоночника. В тела позвонков установливали ранорасширители. Выполняли доступ к телам позвонков L5-S1. Развертками формировали канал для кейджа. Производили дискэктомия L5-S1, зачищали замыкательные пластины, устанавливали кейдж, предварительно заполненный аутокостью. ЭОП-контроль положения кейджа. Послойно ушивали рану.

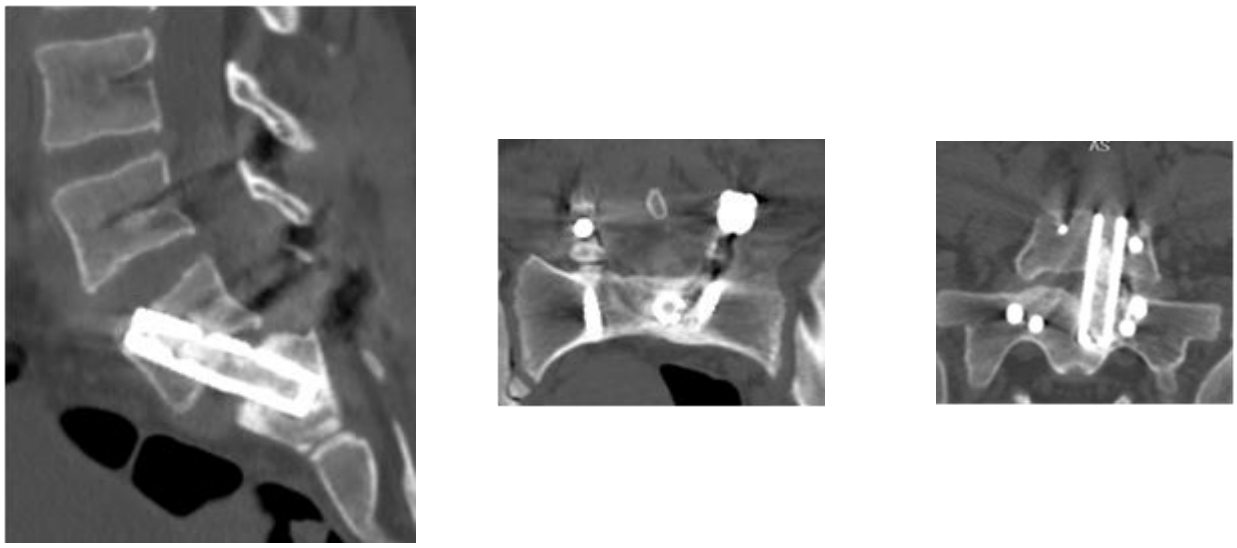


**Рисунок 17 –** Второй этап оперативного лечения пациентки Г. 12 лет (ИБ Н2021-7253) со спондилолизным спондилолистезом L5 III ст. (межтеловой спондилодез L5-S1 кейджем с аутокостью из переднего внебрюшинного доступа).

В ряде случаев (n = 13) для переднего спондилодеза применяли другие имплантаты: у двух пациентов индивидуальная передняя пластина, у 6 пациентов кейдж Mesh, у 5 пациентов короткий цилиндрический кейдж.

## 2.5. Методы статистической обработки данных

С помощью языка статистического программирования и среды R (версия 3.6.1) в IDE RStudio (версия 1.2.1335) проведен статистический анализ данных. Распределение непрерывных и дискретных количественных переменных в выборке описывали с помощью средних значений, стандартного отклонения, медианы и

квартилей, категориальных величин – в процентном формате. Тестирование статистических гипотез о различии в распределении количественных переменных в независимых выборках проводили с помощью непараметрического критерия Манна – Уитни. Нулевую гипотезу в статистических тестах отклоняли при уровне значимости $p < 0,05$.

# Глава 3. ПАРАМЕТРЫ САГИТТАЛЬНОГО БАЛАНСА У ДЕТЕЙ В НОРМЕ И ПРИ СПОНДИЛОЛИСТЕЗЕ РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНИ ТЯЖЕСТИ

## 3.1. Параметры сагиттального баланса у детей без ортопедической патологии

На сегодняшний день в отечественной литературе существует ряд публикаций, посвященных проблеме сагиттального баланса у детей. Однако во всех работах исследуемая группа имеет ту или иную патологию, а полученные данные сравниваются со средними значениями для детей, предложенными зарубежными авторами.

Анализ сагиттальных параметров у детей без патологии позвоночника в отечественной литературе ранее не проводился, что обусловлено этическими нормами. Однако, в нашем исследовании все пациенты группы норма обращались в клинико-диагностическое отделение с различными жалобами: боли в позвоночнике неясного генеза, а также вследствие предшествующих травм; нарушение осанки. Все рентгенографические исследования выполнялись строго по показаниям с целью исключения патологии позвоночника. Расчет эффективной дозы облучения выполнялся согласно методическим рекомендациям по обеспечению радиационной безопасности. При проведении исследования использовался высокочувствительный плоскопанельный детектор, в среднем эффективная доза облучения 0,3 мЗв, что равно дозе облучения при выполнении стандартных рентгенограмм грудной клетки.

Для всех пациентов I группы (n = 43) были определены и описаны с помощью медианы и квартилей средние значения по каждому параметру.

По возрасту пациентов распределили в соответствии с группами, предложенными ВОЗ в педиатрии: 8–12 лет – 25 человек; 13–17 лет – 18 человек (Таблица 1).

**Таблица 1 –** Средние значения по основным позвоночно-тазовым параметрам у детей без ортопедической патологии в зависимости от возраста (параметры указаны в градусах)

| *Параметр* | *n* | *PI* | *PT* | *SS* | *TK* | *LL* | *P* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 8–12 лет | 25 | 37 [30; 43] | 5 [2; 8] | 35 [30; 39] | 33 [24; 40] | 48 [44,5; 52] | < 0,05 |
| 13–17 лет | 18 | 42 [40; 48] | 8 [3,5; 11] | 36 [31; 31,5] | 34 [28; 39] | 51 [44; 62] | < 0,05 |

В результате сравнения основных позвоночно-тазовых параметров у здоровых детей между двумя возрастными группами обращает на себя внимание более высокие значения PI у детей в возрасте 13–17 лет. Учитывая, что PI является статическим параметром (индивидуален для каждого человека и не зависит от других позвоночно-тазовых параметров), можно предположить, что с возрастом значение PI увеличивается. Тем не менее, данный вопрос требует дополнительных исследований, а именно, измерение параметра PI у одного и того же ребенка на протяжении длительного времени.

Остальные позвоночно-тазовые параметры также имеют статистически значимые отличия в зависимости от возрастной группы, однако, серьезного значения с клинической точки зрения они не представляют. Принимая во внимание данный факт, в дальнейшей работе будут использованы средние значения позвоночно-тазовых параметров здоровых детей без деления на возрастные группы (Таблица 2).

**Таблица 2** – Средние значения основных позвоночно-тазовых параметров у детей без ортопедической патологии (параметры указаны в градусах)

| *Параметр* | PI | SS | PT | LL | TK |
|---|---|---|---|---|---|
| *Значение* | 41 [34,5; 45] | 36 [31; 40] | 5 [2; 10] | 50 [44; 57,5] | 33,5 [26,5; 40,5] |

Полученные нами параметры приняты за условную норму для детей и сопоставлены с нормальными параметрами для взрослых, которые были предложены в работе Schwab с соавт. [70] (Таблица 3).

**Таблица 3** – Средние значения основных позвоночно-тазовых параметров (в градусах) у детей (полученные в результате нашего исследования) и взрослых (представлены в работе F. Schwab) [70]

| *Параметр* | PI | SS | PT | LL | TK |
|---|---|---|---|---|---|
| Дети | 40,7 [34,40; 45,15] | 35,8 [30,75; 39,30] | 5,2 [1,75; 10,25] | 50,2 [44,15; 57,45] | 33,5 [26,50; 40,45] |
| Взрослые | 51,7 | 39,4 | 12,3 | 46,5 | 47 |

При сопоставлении выявлено, что основные параметры сагиттального баланса у детей и взрослых без патологических деформаций позвоночного столба отличаются. У детей определяются меньшие средние значения по показателям PI, PT, TK, PI-LL. Показатели LL и SS отличаются незначительно. Расчет позвоночно-тазовых параметров на сегодняшний день является неотъемлемой частью предоперационного планирования, а также является одним из наиболее важных инструментов для оценки результатов оперативного лечения спондилолистеза. В нашем исследовании доказана разница сагиттальных параметров у детей и взрослых, а также установлены нормальные значения позвоночно-тазовых параметров для пациентов детского возраста. Полученная в ходе исследования информация позволяет более точно определить целевые показатели параметров сагиттального баланса у детей со спондилолистезом при оперативном лечении.

### 3.2 Параметры сагиттального баланса у детей со спондилолистезом

Для пациентов группы II (n = 55) были также рассчитаны средние значения по основным позвоночно-тазовым параметрам, результаты представлены в Таблице 4.

**Таблица 4** – Средние значения позвоночно-тазовых параметров у детей со спондилолистезом

| *Параметр* | *n* | *PI* | SS | PT | LL | TK | *P* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Значение* | 55 | 72 [66; 77] | 47 [36; 53] | 23 [20; 32] | 59 [50; 66] | 26 [19; 34,5] | < 0,05 |

Проведено сравнение параметров сагиттального баланса у пациентов группы I и группы II. Выявлено, что имеются статистически достоверные различия параметров сагиттального баланса у детей без патологии позвоночника и со спондилолистезом по всем параметрам: PI, PT, SS, LL, TK, PI-LL, что наглядно продемонстрировано на Рисунке 18.

Снижение параметров TK и LL можно расценивать как компенсаторный механизм для сохранения вертикального положения туловища при тяжелых степенях

спондилолистеза. Также, при спондилолистезе закономерно изменяются параметры PT и SS, что говорит о постепенной ретроверсии таза по мере увеличения степени спондилолистеза.

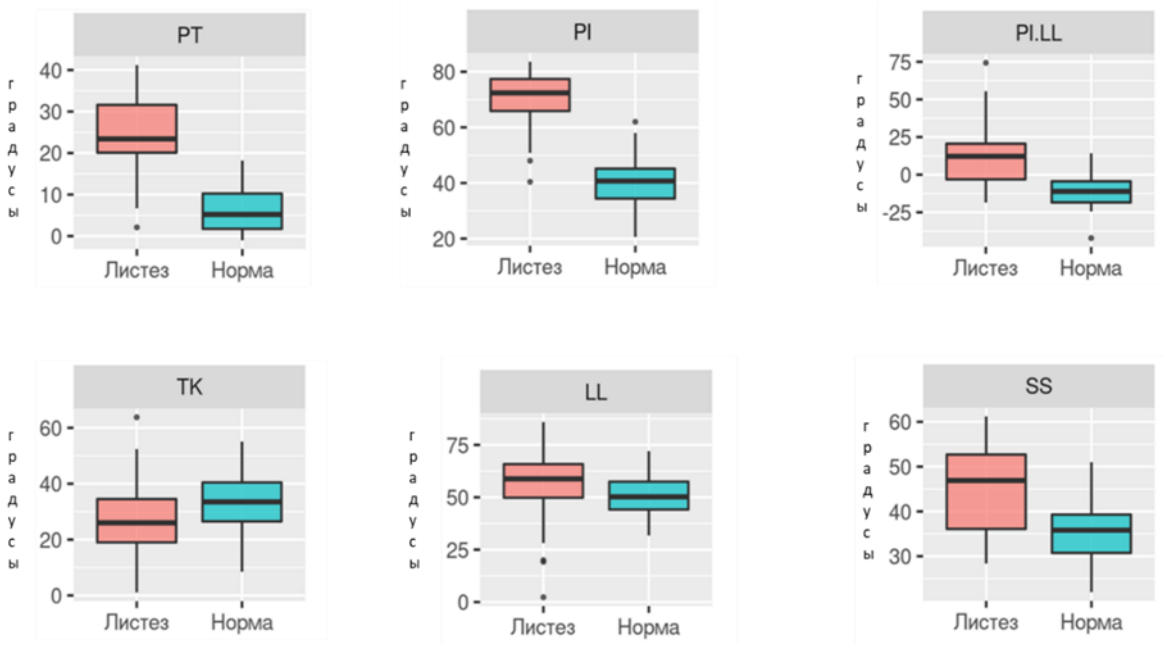



**Рисунок 18 –** Сравнение средних значений по основным сагиттальным параметрам между группами норма и спондилолистез

Самым значимым изменением у пациентов со спондилолистезом, на наш взгляд, является более высокий параметр PI, так как данный показатель является ключевым при расчете всех остальных параметров сагиттального баланса (PT = **PI** – SS; SS = **PI** × 0,54 + 12,7; LL = **PI** × 0,54 + 28). Поскольку PI является константой и определяет показатели PT, SS и LL [43], которые в свою очередь отражают положение таза в пространстве, мы предполагаем, что высокий PI оказывает прямое влияние на развитие спондилолистеза.

Учитывая тот факт, что величина PI является ключевой для расчета всех остальных показателей сагиттального баланса, не во всех случаях целесообразно применять сагиттальные параметры для предоперационного планирования, а также как инструмент для оценки результатов оперативного лечения спондилолистеза. Так, например, у пациентов с высокими степенями спондилолистеза и высоким PI

на этапе предоперационного планирования мы получим недостоверные теоретические показатели сагиттального баланса, что в послеоперационном периоде не позволит оценить результат лечения с позиции позвоночно-тазовых параметров.

Было проведено сравнение по показателю PI между группами норма и спондилолистез. В результате сравнения выявлено, что с возрастом значение PI достоверно увеличивается, а также то, что параметр PI у детей со спондилолистезом в среднем выше, чем у здоровых детей. Также обращает на себя внимание тот факт, что у детей со спондилолистезом в старшей возрастной группе (13–17 лет) средние значения PI выше, чем в младшей возрастной группе (8–12 лет) (Таблица 5).

**Таблица – 5**. Распределение показателя PI в группах норма и спондилолистез в зависимости от возраста

| *Возраст* | *Норма* | *Спондилолистез* | *P value* |
|---|---|---|---|
| Группа 1 (8–12 лет) | PI = 37 [30; 43] | PI = 67 [65; 71] | 0,042 |
| Группа 2 (13–17 лет) | PI = 42 [40; 48] | PI = 74 [66; 79] | 0,033 |

**Резюме**

Параметры сагиттального баланса у здоровых детей и взрослых различаются, что необходимо учитывать при планировании оперативных вмешательств у детей со спондилолистезом.

Выявлены статистически достоверные различия параметров сагиттального баланса у детей без патологии позвоночника и со спондилолистезом по всем основным позвоночно-тазовым параметрам: PI, PT, SS, LL, TK. Особенно выраженные изменения наблюдались при тяжелых степенях смещения L5.

Необходимо также учитывать высокое значение PI у детей со спондилолистезом «high grade», которое может являться этиологическим фактором данного заболевания. В таких случаях применять существующие формулы расчета сагиттального баланса следует с осторожностью, так как высокий PI может привести к получению недостоверных теоретических показателей PT, SS, LL и TK.

# Глава 4. БЛИЖАЙШИЕ И ОТДАЛЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЕРАТИВНОГО ЛЕЧЕНИЯ СПОНДИЛОЛИСТЕЗА У ДЕТЕЙ

## 4.1. Результаты оперативного лечения спондилолистеза у детей по данным лучевой диагностики

В период с 2012 по 2022 гг. в условиях 14 отд. НМИЦ ТО было выполнено 55 оперативных вмешательств по поводу спондилолистеза у детей в возрасте от 8 до 17 лет (средний возраст – 13 лет). Пациенты данной группы также были разделены по возрасту (8–12 лет – 23 человека; 13–17 лет – 32 человека). По степени смещения позвонка, согласно классификации Meyerding, пациенты распределились следующим образом: I степень – 6 пациентов; II степень – 21 пациент; III степень – 17 пациентов; IV степень – 9 пациентов; V степень (спондилоптоз) – 2 пациента. Согласно классификации спондилолистеза, разработанной SDSG, пациенты распределились следующим образом: low grade спондилолистез – n = 25 (1 тип – 3 пациента; 2-й тип – 8 пациентов; 3-й тип – 14 пациентов); high grade спондилолистез – n = 30 (4-й тип – 4 пациента; 5-й тип – 21 пациент; 6 -йтип – 5 пациентов).

Всем пациентам со спондилолистезом L5 выполнялось оперативное лечение. По уровням фиксации пациенты распределились следующим образом: 18 пациентам была выполнена моносегментарная фиксация L5-S1. Фиксация L4-L5-S1 была выполнена 37 пациентам. 23 пациентам был выполнен спондилодез L5-S1 кейджем с аутокостью по методике PLIF. У 19 пациентов передний спондилодез L5-S1 выполнялся кейджем с аутокостью из переднего внебрюшинного доступа. В двух случаях для переднего спондилодеза применялась индивидуальная пластина, у 6 пациентов – кейдж Mesh, у 5 пациентов – короткий цилиндрический кейдж. Для пациентов группы 2 был произведен расчет сагиттальных параметров позвоночника до и после оперативного лечения. Средние значения позвоночно-тазовых параметров для группы 2 до и после оперативного лечения представлены в Таблице 6.

В результате оперативного лечения статистически достоверно увеличились показатели SS, LL, TK, которые при тяжелых степенях спондилолистеза уменьшаются, что можно расценить как компенсаторный механизм для поддержания вертикального положения туловища.

**Таблица 6** – Средние значения позвоночно-тазовых параметров у детей со спондилолистезом до и после оперативного лечения

| *Параметр* | *До операции* | *После операции* | *P value* |
|---|---|---|---|
| PT | 25,6 [22,15; 34,5] | 21,4 [19,5; 24,5] | 0,00001 |
| SS | 38,3 [32,05; 48,4] | 45,6 [39,7; 51,9] | 0,000007 |
| LL | 22,0 [16,0; 28,9] | 38,2 [32,7; 45,15] | 0,000000008 |
| TK | 21,3 [13,45; 28,4] | 31,0 [23,5; 38,1] | 0,000000002 |
| *Примечание* – * – Параметр PI не анализировался, так как не менялся после оперативного лечения | | | |

Учитывая высокие показатели PI у детей со спондилолистезом, применить существующие формулы для расчета теоретических параметров (к которым мы должны стремиться во время выполнения оперативного вмешательства) не представлялось возможным. Принимая во внимание данное наблюдение, сагиттальные параметры у пациентов после оперативного вмешательства были сравнены с параметрами здоровых детей из группы I. В результате сравнения получены статистически достоверные различия (Рисунок 19).

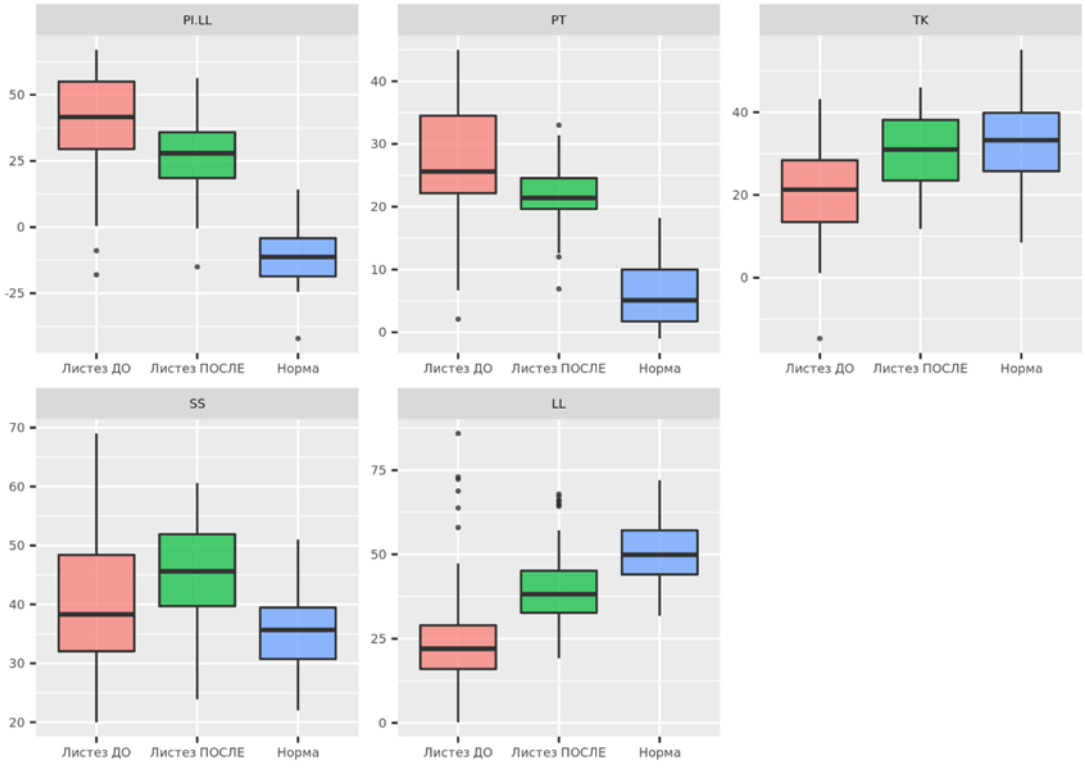



**Рисунок 19 –** Сагиттальные параметры пациентов со спондилолистезом до и после оперативного вмешательства в сравнении с параметрами здоровых детей из группы

Из Рисунка 19 видно, что основные позвоночно-тазовые параметры (PT, SS, LL, TK) у детей со спондилолистезом после оперативного лечения приближаются к нормальным значениям. Тем не менее, ни один параметр не восстановлен до значений здоровых детей из группы I.

## 4.2. Клинические результаты оперативного лечения спондилолистеза у детей

Все пациенты из группы II (n = 55) предъявляли жалобы на боль в пояснично-крестцовом отделе позвоночника. У 31 пациента (56%) имела место иррадиация боли в нижние конечности. Ведущими неврологическими проявлениями в группе детей со спондилолистезом были синдромы люмбалгии, радикулярной компрессии и пояснично-бедренной ригидности.

Боль, как правило, беспокоила пациентов от 1 месяца до года, локализуясь в пояснично-крестцовом отделе позвоночника. Все пациенты на догоспитальном этапе проходили курс консервативной терапии (НПВС, физиотерапия), который не давал стойкого положительного эффекта.

В *ортопедическом статусе* при осмотре у 36 пациентов (65%) наблюдался симптом «ступеньки» в проекции L5 позвонка. В 6 случаях (3%) имелась анталгическая установка туловища с наклоном кпереди. Во всех случаях отмечался повышенный тонус паравертебральных мышц и болезненность при пальпация межостистых промежутков и паравертебральных точек в нижне-поясничном отделе позвоночника.

*Неврологический статус.* Синдром пояснично-бедренной ригидности отмечался у 6 пациентов (3%). Дистальный вялый монопарез мышц сгибателей и/ или разгибателей стопы отмечался в 11 случаях (6%) (до 3 баллов – в 6 случаях, до 2 баллов – в 5 случаях). Симптом Лассега был положителен у 21 пациента (38%). У 16 пациентов – односторонний, у 5 пациентов – двухсторонний.

У всех пациентов, после оперативного лечения отмечается регресс неврологической симптоматики и локального болевого синдрома в поясничном отделе позвоночника, что привело к улучшению качества жизни (Таблица 7, Рисунок 20). У

пациентов с нарушением походки и анталгической установкой туловища с наклоном кпереди отмечается полное восстановление походки в сроки до трех месяцев, а также восстановление вертикального положения туловища.

**Таблица 7 –** Результаты оценки качества жизни и болевого синдрома у пациентов со спондилолистезом до оперативного лечения; на момент выписки из стационара; через 3, 6, 12 месяцев после оперативного лечения

| *Опросник* | *Результаты до операции* | *Результаты на момент выписки* | *Результаты через 3 мес. после операции* | *Результаты через 6 мес. после операции* | *Результаты через 12 мес. после операции* | *P value* |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Ped`s QL | 64,4±11,4 | – | 82,6±13,1 | 88,1±11,2 | 89,6±9,4 | < 000,2 |
| ODI | 38,8±16,3 | 28,5±12,6 | 11,9±3,3 | 10,5±4,2 | 9,9±2,3 | < 000,1 |
| VAS | 5,9±3,1 | 3,9±2,1 | 2,3±1,2 | 1,9±0,6 | 1,3±0,2 | < 000,1 |

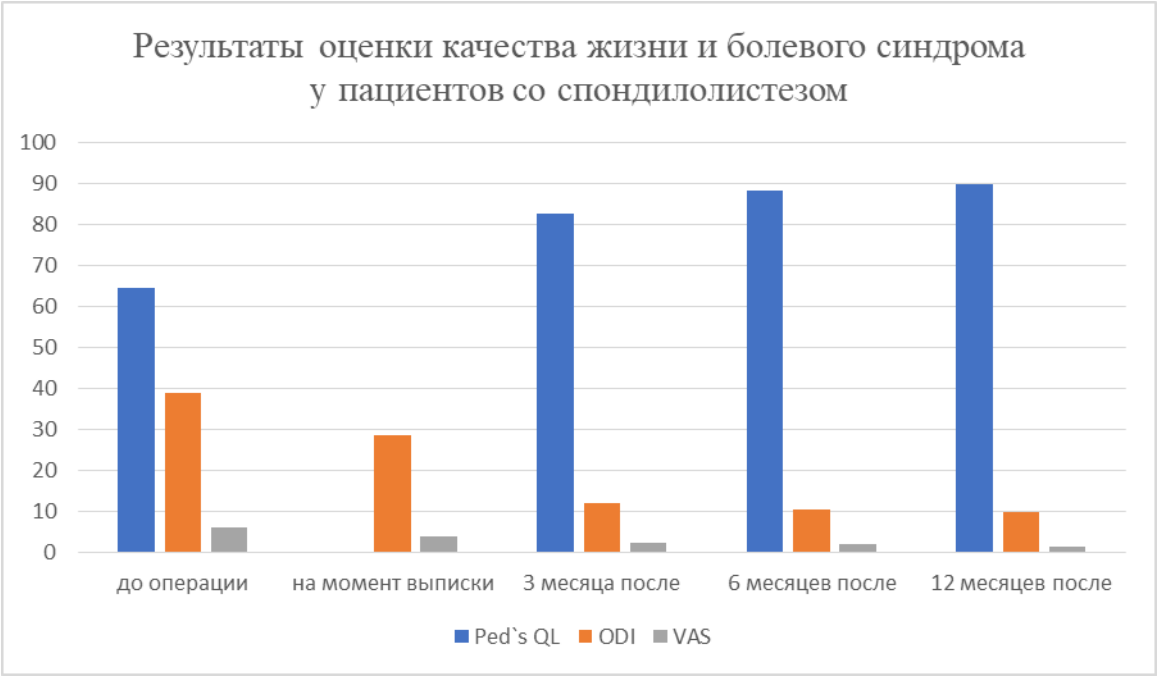



**Рисунок 20** – Результаты оценки качества жизни и болевого синдрома у пациентов со спондилолистезом до оперативного лечения; на момент выписки из стационара; через 3, 6, 12 месяцев после оперативного лечения

Несмотря на то, что сагиттальные параметры у пациентов со спондилолистезом из группы II после оперативного лечения не были восстановлены до параметров здоровых детей, по результатам опросников мы наблюдали улучшение качества жизни и снижение интенсивности болевого синдрома у детей со спондилолистезом в послеоперационном периоде.

По данным опросника Ped`s QL качество жизни детей со спондилолистезом объективно улучшилось уже через 3 месяца после оперативного лечения. Важно отметить, что данный опросник не применялся на момент выписки из стационара, так как он включает в себя вопросы, отражающие социальную адаптацию ребенка (например, общение со сверстниками), а также толерантность к физической нагрузке на уроках физкультуры.

По данным опросника ODI мы наблюдали улучшение качества жизни уже в раннем послеоперационном периоде, в свою очередь через 6 месяцев с момента операции показатели приближались к таковым у здоровых людей.

По данным VAS интенсивность болевого синдрома на момент выписки снижалась незначительно, что обусловлено самим оперативным вмешательством. Значительное снижение интенсивности болевого синдрома мы наблюдали в сроки от 3 месяцев с момента операции. Через 12 месяцев с момента операции болевой синдром был полностью купирован во всех случаях.

### 4.3. Результаты оперативного лечения спондилолиза у детей

В период с 2012 по 2022 гг. в условиях 14 отделения (вертебрологии) НМИЦ ТО им. Н. Н. Приорова было выполнено 17 оперативных вмешательств по поводу двустороннего спондилолиза L5 позвонка у детей и подростков до 18 лет. Из них у 12 пациентов наблюдался двусторонний спондилолиз L5 позвонка без спондилолистеза, у 5 пациентов имел место двусторонний спондилолиз L5 со спондилолистезом I степени (по Meyerding).

Все пациенты являлись профессиональными спортсменами (гимнастика, футбол, фигурное катание и другие виды спорта с чрезмерной осевой нагрузкой). У всех пациентов имел место выраженный синдром люмбалгии, усиливающийся при физических нагрузках. Во всех случаях болевой синдром явился причиной прекращения тренировочной деятельности.

Девяти пациентам было выполнено оперативное лечение с применением серийных металлоконструкций (транспедикулярные винты, субламинарные крючки,

титановые стержни) по методике Tokuhashi Y. Matsuzaki [84]. Данная методика реконструкции дуги позвонка дает возможность стабилизировать позвоночно-двигательный сегмент, а также сохранить биомеханику и движения в пояснично-крестцовом отделе позвоночника, однако серийные металлоконструкции не во всех случаях обеспечивают должную контракцию в зоне спондилолиза, а их установка проходит с техническими сложностями, что увеличивает время операции.

Восемь пациентов были прооперированы с использованием аддитивных технологий. На основании данных КТ выполняли изготовление 3-D модели пояснично-крестцового отдела позвоночника. Было спроектировано два вида индивидуальных пластин и поданы заявки на соответствующие патенты РФ на изобретение:

1. Индивидуальное устройство для фиксации зоны двухстороннего спондилолиза L5 позвонка, выполненное из титана и представляющее собой фигурную пластину, повторяющую поверхность дужки L5 позвонка и имеющую два выступа для субламинарной фиксации и переходящая по краям в стержень круглого сечения с диаметром 5,5 мм для установки и фиксации в головках мультиаксиальных винтов, проведенных в корни дужки L5 позвонка с обеих сторон соответственно (Рисунок 21).



**Рисунок 21 –** Индивидуальное устройство для фиксации зоны двухстороннего спондилолиза L5 позвонка (вариант 1)

2. Индивидуальное устройство для фиксации зоны двухстороннего спондилолиза L5 позвонка, представляющее собой фигурную пластину, выполненную из ти-

тана, повторяющую поверхность дужки L5 позвонка и имеющую два выступа для субламинарной фиксации и два отверстия овальной формы с обеих сторон в проекции корней дужки для фиксации транспедикулярно введенными винтами, а также два траспедикулярных винта соответствующего размера, без «головки-тюльпана» для фиксации стержня с шестигранной головкой под торцевой ключ (Рисунок 22).



**Рисунок 22** – Индивидуальное устройство для фиксации зоны двухстороннего спондилолиза L5 позвонка (вариант 2)

Нами были проанализированы результаты оперативного лечения пациентов с билатеральным спондилолизом L5 позвонка. Все пациенты были разделены на две группы:

1) группа 1 – с применением серийных металлоконструкций;

2) группа 2 – с применением аддитивных технологий.

Результаты сравнения двух групп представлены в Таблице 8.

**Таблица 8 –** Сравнение результатов оперативного лечения пациентов с билатеральным спондилолизом L5 позвонка

| *Тип конструкции* | *Кол-во пациентов* | *Среднее время операции (минуты)* | *Средний объем достигнутой контракции (миллиметры)* |
|---|---|---|---|
| Серийная | 9 | 148±27 | 1,1±0,4 |
| Кастомизированная | 8 | 114±32 | 1,6±0,8 |

Преимуществом использования индивидуальных металлоконструкций является четкое соответствие рельефу дужки L5 позвонка, что обеспечивает плотное прилегание пластины и дает возможность выполнить достаточную контракцию в зоне спондилолиза без технических сложностей и за более короткое время.

При анализе клинических результатов оперативного лечения билатерального спондилолиза L5 позвонка с использованием кастомизированных металлоконструкций в послеоперационном периоде (период наблюдения до 6 месяцев) у всех пациентов было отмечено снижение болевого синдрома в поясничном отделе позвоночника без уменьшения объема движений (Таблица 9).

**Таблица 9 –** Клинические результаты оперативного лечения билатерального спондилолиза L5 позвонка с использованием кастомизированных металлоконструкций

| *Опросник* | *Результаты до операции* | *Результаты на момент выписки* | *Результаты через 3 мес. после операции* | *Результаты через 6 мес. после операции* |
|---|---|---|---|---|
| Ped`s QL | 73,1±9,4 | – | 87,7±8,1 | 89,6±6,4 |
| ODI | 31,4±14,3 | 23,2±11,6 | 16,9±4,6 | 12,2±2,4 |
| VAS | 6,3±2,7 | 4,9±2,2 | 3,3±0,9 | 2,6±0,4 |

Признаки консолидации зоны спондилолиза по данным КТ были обнаружены через 4–6 месяцев с момента операции.

Возобновить спортивные физические нагрузки стало возможно через 3–6 месяцев с момента операции.

**Клинический пример № 1**

**Пациентка Т, 16 лет, (**ИБ Н2021-6743) поступила 09.08.2021 в 14-е отделение (вертебрологии) НМИЦ ТО им. Н. Н. Приорова с жалобами на выраженные боли в поясничном отделе позвоночника, значительно усиливающиеся при физической нагрузке.

***Анамнез заболевания.*** Пациентка профессионально занимается спортивной гимнастикой. За последнее время стала отмечать боль в области пояснично-крестцового отдела позвоночника при физических нагрузках во время тренировок. Выраженный болевой синдром послужил причиной прекращения тренировочного процесса. Консервативная терапия без стойкого положительного эффекта. Пациентка обратилась в НМИЦ ТО.

***Локальный статус.*** Пациентка передвигается самостоятельно. Активные движения в поясничном отделе позвоночника несколько ограничены, болезненны

при сгибании и разгибании. При осмотре паравертебральные мышцы умеренно напряжены. Пальпаторно отмечается болезненность при пальпации на уровне паравертебральных мышц в пояснично-крестцовом отделе.

***Неврологический статус*.** Симптомы Дежерина, Нери и Ласега отрицательны. В двигательной сфере парезов нет. Патологических рефлексов нет. Нарушения чувствительностине выявлено. Тазовые функции не нарушены.

***Данные опросников*:** Ped`s QL = 76 баллов, ODI = 20%, VAS 5 баллов.

***Данные обследований (в интерпретации):*** Rg позвоночника постуральный: спондилолизный спондилолистез L5 I степени. Параметры сагиттального баланса без выраженных отклонений от нормы (PI = 60°; PT = 14°; SS = 46°; LL = 65°; TK = 38,5°) (Рисунок 23).



**Рисунок 23 –** Рентгенограмма пациентки Т. 16 лет (ИБ Н2021-6743) со спондилолизным спондилолистезом L5 I степени на момент поступления

КТ пояснично-крестцового отдела позвоночника: определяется зона двустороннего спондилолиза L5 позвонка (Рисунок 24).

По данным КТ пояснично-крестцового отдела позвоночника была изготовлена полимерная 3-D модель позвоночника, а также спроектирована и изготовлена индивидуальная пластина для фиксации зоны спондилолиза L5 позвонка (Рисунки 25, 26).




**Рисунок 24 –** КТ пациентки Т. 16 лет (ИБ Н2021-6743) со спондилолистезом на момент поступления. Определяется зона двустороннего спондилолиза L5 позвонка

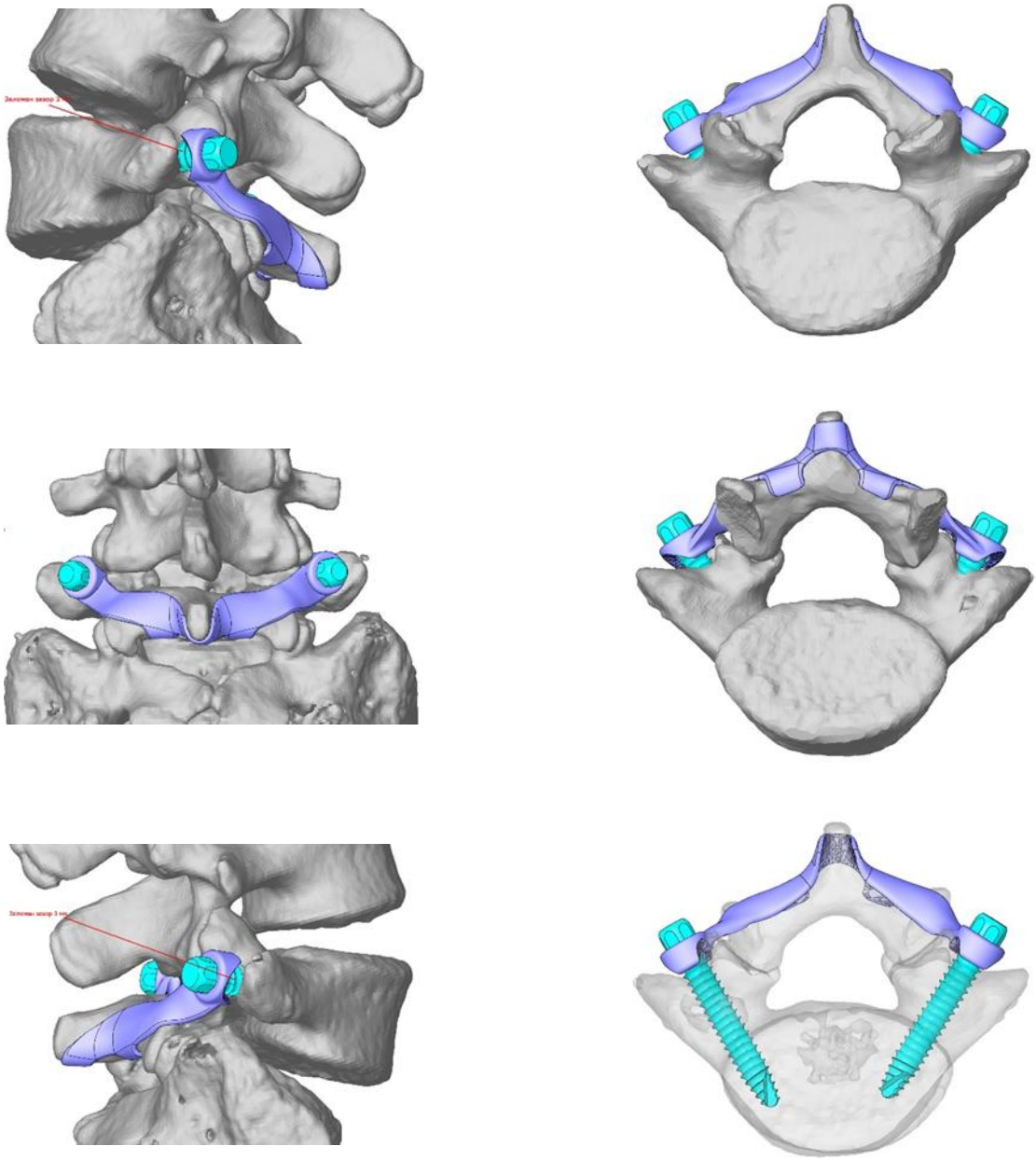


**Рисунок 25** – Индивидуальная пластина для фиксации зоны спондилолиза L5 позвонка с винтами без головки «тюльпан» на этапе проектирования

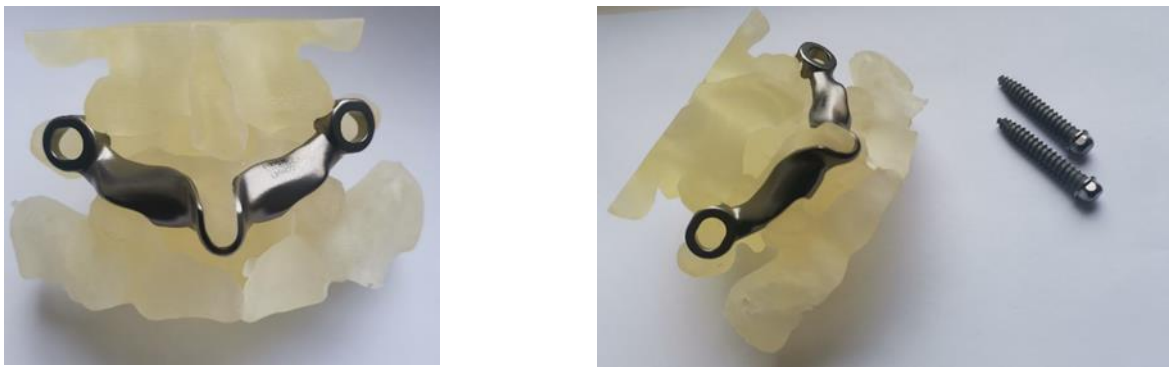


**Рисунок 26** – Изготовленные полимерная 3-D модель позвоночника и индивидуальная пластина для фиксации зоны спондилолиза L5 позвонка с винтами без головки «тюльпан»

МРТ пояснично-крестцового отдела позвоночника: отсутствуют признаки стеноза позвоночного канала, гидрофильность межпозвонковых дисков не нарушена (Рисунок 27).



**Рисунок 27** – РТ пациентки Т. 16 лет (ИБ Н2021-6743) со спондилолистезом L5 позвонка 1-й степени на момент поступления

**Диагноз клинический:** основной: двусторонний спондилолиз L5 позвонка. Спондилолистез L5 позвонка I степени по Meyerding. Синдром люмбалгии.

**11.08.2021 выполнено оперативное лечение:** фиксация зоны спондилолиза L5 позвонка индивидуальной конструкцией (Рисунок 28).

Послеоперационное течение без особенностей. Пациентка активизирована в первые сутки после операции. Отмечала умеренные боли в области послеоперационной раны, которые были полностью купированы к моменту выписки.

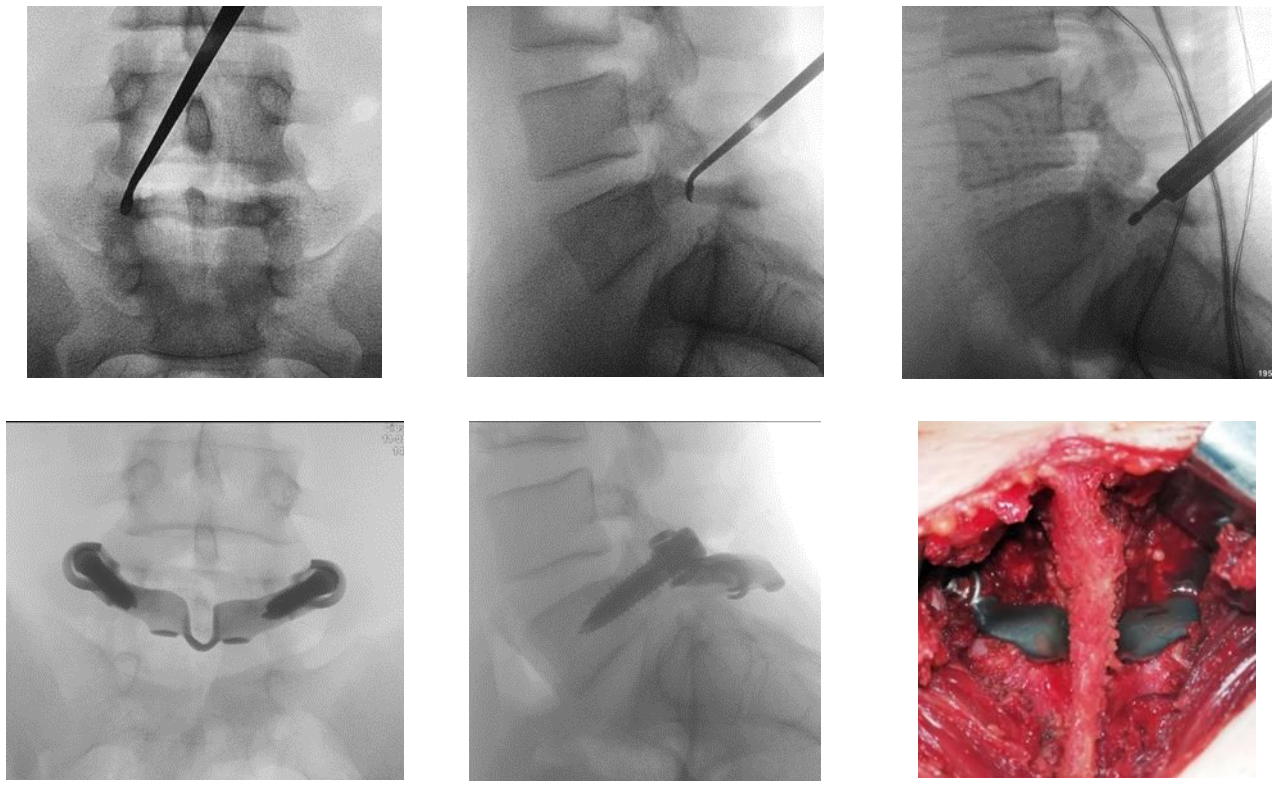


**Рисунок 28** – Интраоперационная флюороскопия на этапах установки индивидуальной пластины, а также внешний вид установленной пластины в ране у пациентки Т. 16 лет (ИБ Н2021-6743) со спондилолистезом L5 позвонка 1-й степени

Рана зажила первичным натяжением. Швы косметические внутрикожные.

Пациентка выписана на амбулаторное наблюдение. Проходила курс реабилитации в НМИЦ ТО. Через один месяц с момента выписки приступила к умеренным физическим нагрузкам в гимнастическом зале, однако отмечала незначительный болевой синдром в поясничном отделе (2 балла по VAS).

Через 3 месяца прибыла на контрольный осмотр. По данным рентгенограмм, КТ пояснично-крестцового отдела позвоночника положение металлоконструкции корректное. Сохраняется контракция в зоне спондилолиза (Рисунок 29).

Болевой синдром при физических нагрузках полностью купирован. Движения в поясничном отделе позвоночника сохранены в полном объеме (Рисунок 30).

Принято решение о возможности возобновления тренировочного процесса в полном объеме.

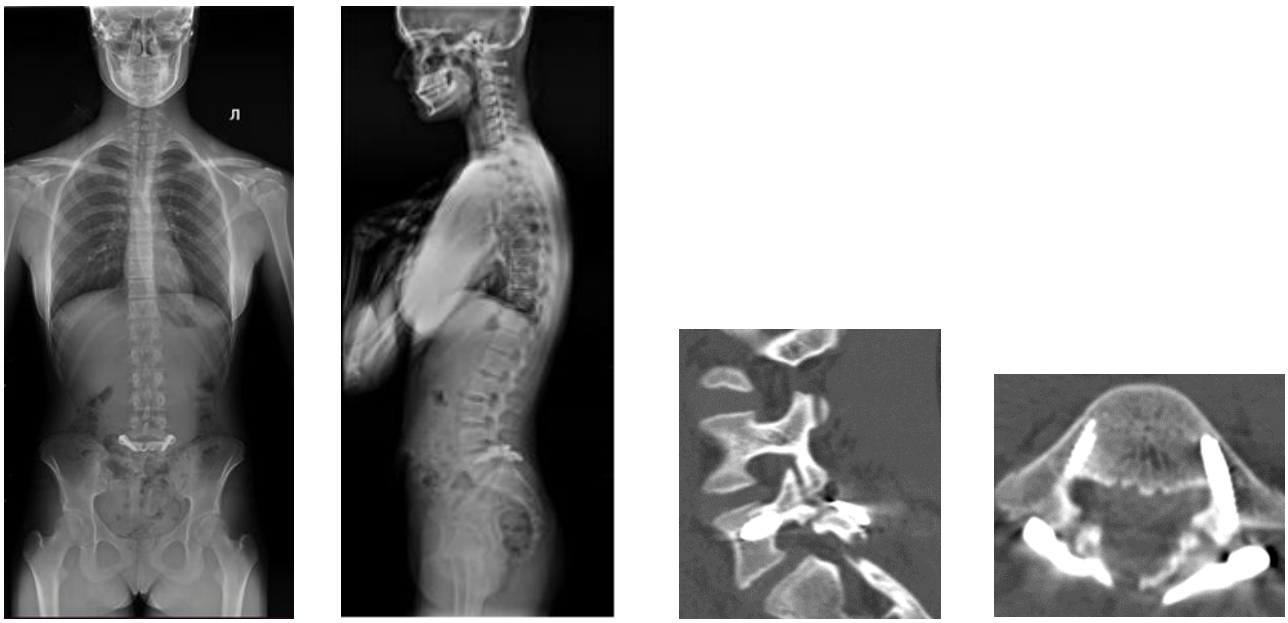


**Рисунок 29 –** Постуральные рентгенограммы и КТ поясничного отдела позвоночника пациентки Т 16 лет (ИБ Н2021-6743) с двусторонним спондилолизом L5 позвонка через 3 месяца после оперативного лечения



**Рисунок 30 –** Внешний вид пациентки Т 16 лет **(**ИБ Н2021-6743) с двусторонним спондилолизом L5 позвонка. Спондилолистезом L5 позвонка I степени по Meyerding через 3 месяца после оперативного лечения

Через 3 месяца с момента операции пациентка возобновила тренировочный процесс в полном объеме и приняла участие в соревнованиях. Болевой синдром в

поясничном отделе позвоночника не отмечает (Ped`s QL = 98 баллов, ODI = 10%, VAS 0 баллов).

### 4.4. Результаты оперативного лечения спондилолистеза «low grade» у детей

В период с 2012 по 2022 гu. в условиях 14 отделения (вертебрологии) НМИЦ ТО им. Н. Н. Приорова было выполнено 25 оперативных вмешательств по поводу «low grade» спондилолистеза L5 позвонка у детей.

Позвоночно-тазовые параметры у данной группы пациентов не имели выраженного отклонения от нормы. Параметр PI у пациентов со спондилолистезом «low grade» в среднем выше чем у здоровых детей, но увеличен он незначительно, что позволяет использовать существующие формулы расчета теоретических сагиттальных параметров на этапе предоперационного планирования, а также оценить результат оперативного лечения с позиции сагиттального баланса (Таблица 10).

**Таблица 10** – Сравнение сагиттальных параметров детей без патологии позвоночника с параметрами детей с «low grade» спондилолистезом

| *Параметр* | *Группа норма (n = 43)* | *Группа low grade спондилолистез (n = 25)* | *P value* |
|---|---|---|---|
| PT | 5,2 [1,75; 10,25] | 9,8 [4,33; 12,53] | 0,050 |
| PI | 40,7 [34,40; 45,15] | 55,8 [49,85; 61,80] | 0,040 |
| SS | 35,8 [30,75; 39,30] | 39,2 [31,57; 43,60] | 0,020 |
| LL | 50,2 [44,15; 57,45] | 55,9 [48,57; 59,40] | 0,040 |
| TK | 33,5 [26,50; 40,45] | 30,8 [21,22; 39,22] | 0,035 |

Ведущей жалобой у пациентов с низкими степенями спондилолистеза являлся болевой синдром в пояснично-крестцовом отделе позвоночника, усиливающийся при физических нагрузках. Очаговой неврологической симптоматики не наблюдалось ни в одном случае.

Все оперативные вмешательства в данной группе были выполнены в один этап (дорсальная фиксация L5-S1 с редукцией L5, межтеловой спондилодез L5-S1 кейджем с аутокостью).

Параметры сагиттального баланса были учтены, однако не имели клинического значения, так как изначально практически не отличались от нормы.

Клинически, у всех пациентов отмечается снижение болевого синдрома и улучшение качества жизни в раннем послеоперационном периоде, а также в отдаленном периоде наблюдения (Таблица 11).

**Таблица 11** – Клинические результаты оперативного лечения «low grade» спондилолиза L5 позвонка у детей

| *Опросник* | *Результаты до операции* | *Результаты на момент выписки* | *Результаты через 6 мес. после операции* | *Результаты через 12 мес. после операции* |
|---|---|---|---|---|
| Ped`s QL | 65,4±8,6 | – | 71,3±5,2 | 83,6±5,4 |
| ODI | 33,1±14,2 | 25,5±10,3 | 16,4±4,9 | 12,5±2,1 |
| VAS | 6,1±2,3 | 5,3±2,4 | 4,1±1,3 | 2,8±0,6 |

Ключевым моментом оперативного лечения пациентов со спондилолистезом «low grade» является дорсальная фиксация L5-S1 с редукцией L5, межтеловой спондилодез L5-S1 кейджем, с целью стабилизации данного сегмента и предотвращения дальнейшего прогрессирования смещения L5 позвонка.

**Клинический пример № 2**

**Пациент К,** 17 лет ИБ Н2021-6506. Поступил 30.07.2021 в 14-е отделение (вертебрологии) НМИЦ ТО им. Н. Н. Приорова с жалобами на боли в поясничном отделе позвоночника при физических нагрузках.

***Анамнез заболевания.*** Боли в пояснице беспокоят длительно. Консервативное лечение без стойкого положительного эффекта. Пациент обратился в НМИЦ ТО. По данным КТ пояснично-крестцового отдела позвоночника – спондилолизный спондилолистез L5 позвонка I степени. Рекомендовано оперативное лечение. В настоящий момент госпитализирован в 14-е отд. НМИЦ ТО для оперативного лечения.

***Ортопедический статус.*** Пациент передвигается самостоятельно. Активные движения в поясничном отделе позвоночника несколько ограничены, болез-

ненны при разгибании. При осмотре паравертебральные мышцы умеренно напряжены. Пальпаторно отмечается болезненность при пальпации на уровне паравертебральных мышц в пояснично-крестцовом отделе.

***Неврологический статус.*** Симптомы Дежерина, Нери и Ласега отрицательны. В двигательной сфере парезов нет. Патологических рефлексов нет. Нарушения чувствительности не выявлено. Тазовые функции не нарушены.

***Данные опросников:*** Ped`s QL = 71 балл, ODI = 48%, VAS 3 балла.

***Данные обследований (в интерпретации):*** Rg позвоночника постуральный в 2 проекциях: спондилолизный спондилолистез L5 позвонка I степени. Параметры сагиттального баланса: PI = 60°; PT = 9°; SS = 50°; LL = 65°; TK = 32° (Рисунок 31).



**Рисунок 31** – Рентгенограммы пациента К. 17 лет ИБ Н2021-6506 со спондилолизным спондилолистезом L5 I степени до оперативного лечения

КТ пояснично-крестцового отдела позвоночника: двусторонний спондилолиз L5. Спондилолистез L5 позвонка I степени. Данных за стеноз позвоночного канала нет. Признаков дисплазии замыкательных пластин L5, S1 позвонков нет (Рисунок 32). МРТ пояснично-крестцового отдела позвоночника: спондилолистез L5 позвонка I степени без признаков стеноза позвоночного канала (Рисунок 33).

***Диагноз клинический*:** Спондилолизный спондилолистез L5 I степени. Синдром люмбалгии.



**Рисунок 32** – КТ пояснично-крестцового отдела позвоночника пациента К. 17 лет ИБ Н2021-6506 до оперативного лечения



**Рисунок 33 –** МРТ пояснично-крестцового отдела пациента К. 17 лет ИБ Н2021-6506 до оперативного лечения

**02.08.2021 выполнено оперативное вмешательство:** дорсальная фиксация L5-S1 транспедикулярной системой. Редукция L5 позвонка. Межтеловой спондилодез L5-S1 кейджем с аутокостью (Рисунок 34).



**Рисунок 34** – Рентгенограммы пациента К. 17 лет ИБ Н2021-6506 до и после оперативного лечения

Параметры сагиттального баланса до и после оперативного лечения практически не изменились, представлены в Таблице 12.

**Таблица 12 –** Параметры сагиттального баланса пациента К. 17 лет ИБ Н2021-6506 со спондилолизным спондилолистезом L5 I степени до и после оперативного лечения

| *Параметр* | PI | PT | SS | LL | TK |
|---|---|---|---|---|---|
| *До операции* | 60° | 9° | 50° | 65° | 32° |
| *После операции* | 60° | 16° | 44° | 60° | 33° |

Послеоперационное течение без особенностей. Пациент активизирован в первые сутки после операции. Рана зажила первичным натяжением. По данным опросников на момент выписки отмечалось улучшение качества жизни, но сохранялся болевой синдром, связанный с послеоперационной раной (ODI = 30%, VAS 2 балла.) На контрольном осмотре через 1 год с момента операции по данным опросников отмечал улучшение качества жизни, болевой синдром в поясничном отделе полностью купирован (Ped`s QL = 98 баллов, ODI = 15%, VAS 0 баллов). По данным постуральных рентгенограмм, КТ поясничного отдела наблюдался костно-металлический блок L5-S1, потери редукции и сагиттального дисбаланса отмечено не было (Рисунок 35).



**Рисунок 35** – Рентгенограммы пациента К. 17 лет ИБ Н2021-6506 до и после оперативного лечения

## 4.5. Результаты оперативного лечения спондилолистеза «high grade» у детей

В период с 2012 по 2022 гг. в условиях 14-го отделения (вертебрологии) НМИЦ ТО им. Н. Н. Приорова было выполнено 30 оперативных вмешательств по поводу «high grade» спондилолистеза L5 позвонка у детей и подростков. Из них 12 пациентам была выполнена моносегментарная фиксация L5-S1. Фиксация L4-L5-S1 была выполнена 18 пациентам.

6 пациентам был выполнен спондилодез L5-S1 кейджем с аутокостью по методике PLIF. У 22 пациентов передний спондилодез L5-S1 выполнялся кейджем с аутокостью из переднего внебрюшинного доступа.

2 пациентам передний спондилодез был выполнен с использованием индивидуальных пластин.

Позвоночно-тазовые параметры у данной группы пациентов имели выраженные отклонения от нормы (Таблица 13).

**Таблица 13 –** Сравнение сагиттальных параметров детей без патологии позвоночника с параметрами детей с «high grade» спондилолистезом

| *Параметр* | *Группа норма* | *Группа high grade спондилолистез до операции* | *P value* |
|---|---|---|---|
| PT | 5,2 [1,75; 10,25] | 25,6 [22,00; 35,30] | 0,050 |
| PI | 40,7 [34,40; 45,15] | 72,4 [66,00; 76,60] | 0,020 |
| SS | 35,8 [30,75; 39,30] | 42,4 [34,90; 52,70] | 0,020 |
| LL | 50,2 [44,15; 57,45] | 27,3 [21,204 43,60] | 0,040 |

В первую очередь обращает на себя внимание высокий показатель PI у детей с «high grade» спондилолистезом, что делает затруднительным расчет должных (теоретических) сагиттальных параметров на этапе предоперационного планирования. В результате оперативного лечения данной группы пациентов основные позвоночно-тазовые параметры (PT, SS, LL, TK) ни в одном случае не были восстановлены до целевых значений, хотя и прослеживалась тенденция их приближения к нормальным значениям (Таблица 14).

**Таблица 14 –** Сравнение параметров сагиттального баланса у детей в норме, с «high grade» спондилолистезом до и после оперативного лечения

| *Параметр* | *Группа норма* | *Группа high grade спондилолистез до операции* | *Группа high grade спондилолистез после операции* | *P value* |
|---|---|---|---|---|
| PT | 5,2 [1,75; 10,25] | 25,6 [22,00; 35,30] | 19,8 [17,1;, 23,20] | 0,040 |
| PI | 40,7 [34,40; 45,15] | 72,4 [66,00; 76,60] | 72,4 [66,00; 76,60] | 0,020 |
| SS | 35,8 [30,75; 39,30] | 42,4 [34,90; 52,70] | 51,6 [44,70; 56,90] | 0,025 |
| LL | 50,2 [44,15; 57,45] | 27,3 [21,20, 43,60] | 38,7 [32,30; 41,40] | 0,035 |
| TK | 33,5 [26,50; 40,45] | 21,7 [6,90; 31,90] | 24,3 [19,20; 27,80] | 0,040 |

Тем не менее, у всех пациентов со спондилолистезом в послеоперационном периоде по данным опросников отмечалось снижение интенсивности болевого синдрома и, как следствие, улучшение качества жизни.

Данные улучшения могут являться причиной устранения локального пояснично-крестцового кифоза, который наблюдался у всех пациентов с «high grade» спондилолистезом до оперативного лечения.

Нами проанализированы сагиттальные параметры у пациентов с «high grade» спондилолистезом, характеризующие локальный пояснично-крестцовый кифоз, до и после оперативного лечения (Таблица 15).

**Таблица 15** – Параметры пояснично-крестцового кифоза у пациентов со спондилолистезом до и после оперативного лечения

| *Параметр* | *До операции* | *После операции* | *P* |
|---|---|---|---|
| LSJA | 8,4 [5,1; 12,8] | 1,3 [0,6; 2,70] | 0,000000002 |
| SA | 9,9 [6,14 12,8] | 1,4 [0,6; 3,1] | 0,000000000114 |
| Dub,LSA | 86,0 [79,94 91,6] | 114,6 [106,3; 119,3] | 0,000007 |

При сравнении параметров локального пояснично-крестцового кифоза (Dub.LSA, SA, LSJA) выявлено статистически достоверное увеличение показателя Dub.LSA, а также снижение показателей SA, LSJA (Рисунок 36).

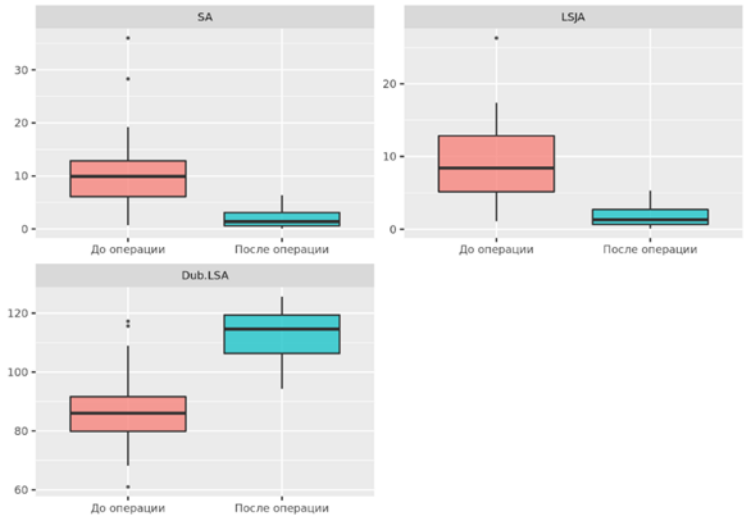



**Рисунок 36 –** Изменения показателей Dub.LSA, SA, LSJA, характеризующих локальный пояснично-крестцовый кифоз, у пациентов со спондилолистезом «high grade» до и после оперативного лечения

У пациентов со спондилолистезом «high grade» были также оценены параметры, характеризующие трансляционный компонент смещения, а именно угол Митбрейта до и после оперативного лечения (Таблица 16, Рисунок 37) [6]. В результате сравнения прослеживается уменьшение угла Митбрейта – Беленького, что также демонстрирует устранение пояснично-крестцового кифоза после оперативного лечения.

Особое внимание обращает на себя тот факт, что после устранения локального пояснично-крестцового кифоза при неполном восстановлении остальных, общепринятых позвоночно-тазовых параметров (PT, SS, LL, TK) наблюдалось улучшение качества жизни пациентов и снижение интенсивности болевого синдрома.

**Таблица 16 –** Угол Митбрейта–Беленького у пациентов со спондилолистезом до и после оперативного лечения

| *Параметр* | *Значение* | *P* |
|---|---|---|
| Угол Митбрейта до операции | 79 [66; 86,5] | < 0,005 |
| Угол Митбрейта после операции | 54 [47; 62,5] | < 0,005 |

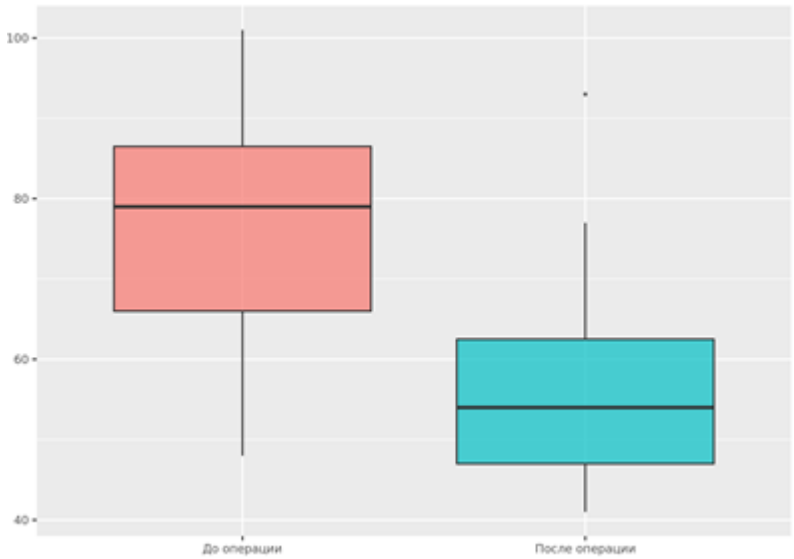



**Рисунок 37 –** Угол Митбрейта – Беленького у пациентов со спондилолистезом до и после оперативного лечения

Мы провели статистический анализ взаимосвязи параметров, характеризующих локальный пояснично-крестцовый кифоз (Dub.LSA, SA, LSJA, Угол Митбрейта – Беленького) и результатов опросников и шкал (Ped`s QL, ODI, VAS) до и после оперативного лечения. В результате анализа мы получили статистически значимую положительную корреляцию (r = 0,57; p = 0,04) показателя LSJA и результатов оценки интенсивности болевого синдрома по VAS до оперативного лечения: чем выше значение параметра LSJA до операции, тем выше результаты оценки интенсивности болевого синдрома по VAS на предоперационном этапе (Рисунок 38).

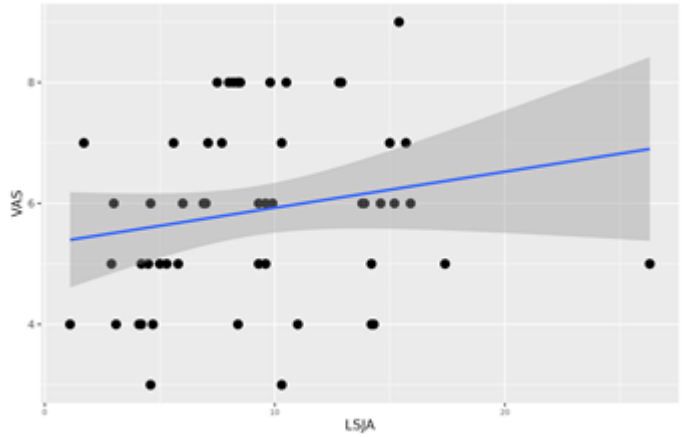



**Рисунок 38 –** Корреляция показателя LSJA и результатов оценки интенсивности болевого синдрома по VAS до оперативного лечения

Также, нами была выявлена статистически значимая отрицательная корреляция (r = -0,47; p = 0,04) показателя LSJA до операции и результатов опросника PED`s QL после оперативного лечения: чем выше показатель LSJA до операции, тем ниже результат по анкете PED`s QL после оперативного лечения (Рисунок 39).

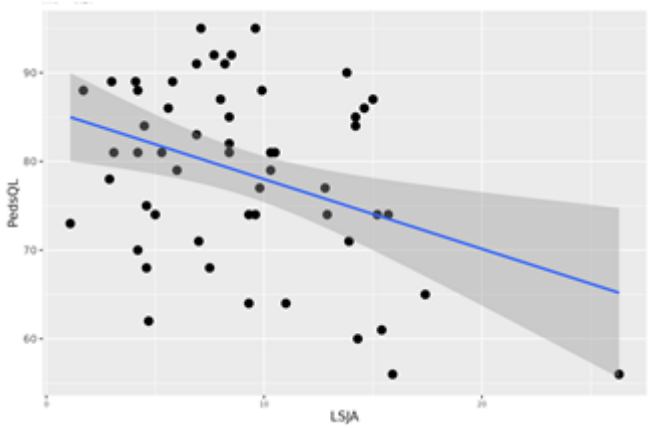



**Рисунок 39 –** Корреляция показателя LSJA до операции и результатов опросника PED`s QL после оперативного лечения

Поученные в результате анализа данные позволяют говорить о том, что локальный пояснично-крестцовый кифоз у детей со спондилолистезом коррелирует с качеством жизни и интенсивностью болевого синдрома.

Так, например, пациенты с исходно высоким показателем LSJA > 8°, что говорит о выраженном пояснично-крестцовом кифозе, после оперативного лечения имеют более интенсивный остаточный болевой синдром по данным VAS, а также более низкое качество жизни по данным опросника PED`s QL.

Остальные параметры, характеризующие пояснично-крестцовый кифоз (Dub.LSA, SA, LSJA, Угол Митбрейта – Беленького) имели слабый коэффициент корреляции и находились грани статистической значимости (r = 0,27; p = 0,0491).

В свою очередь, корреляций между основными параметрами сагиттального баланса (PI, PT, SS, LL, TK) и качеством жизни пациентов нами выявлено не было.

**Клинический пример № 3**

Пациент Г., 15 лет, ИБ Н2021-3359 поступил в 14-е отделение (вертебрологии) НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова 09.02.2021 с жалобами на боль в пояснице с иррадиацией в правую нижнюю конечность по наружно-боковой поверхности бедра и голени, онемение в правой стопе и по наружно-задней поверхности правой голени.

***Анамнез заболевания.*** Данные жалобы беспокоят в течение 3 месяцев. Обратился к ортопеду по месту жительства. Консервативная терапия без выраженного положительного эффекта. Пациент направлен на консультацию в НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова. По данным КТ поясничного отдела позвоночника: спондилолиз, спондилолистез L5.

***Ортопедический статус*.** Пациент передвигается самостоятельно. Походка нарушена. Ходит с согнутыми коленными и тазобедренными суставами с наклоном туловища кпереди. Активные движения в поясничном отделе позвоночника несколько ограничены, болезненны при сгибании и разгибании. При осмотре паравертебральные мышцы умеренно напряжены. Пальпаторно отмечается «ступенька2 в проекции L5. Болезненность при пальпации на уровне паравертебральных мышц поясничном отделе.

***Неврологический статус*.** Рефлексы коленные, ахилловы D = S, средней живости. Симптом Ласега справа – 10 гр. Радикулопатия L5 справа. Парез рагибателя 1 пальца правой стопы до 3 б. Гипостезия в зоне дерматома L5 справа. Функции тазовых органов контролирует.

***Диагноз клинический*:** спондилолизный спондилолистез L5 III степени по Meyerding. Сагиттальный дисбаланс: 6 тип по классификации SDSG. Радикулопатия L5 справа. Нижний дистальный умеренный вялый монопарез справа.

***Данные опросников*:** Ped`s QL = 41 балл, ODI = 54%, VAS 6 баллов.

***Данные обследований (в интерпретации)*:** Rg постуральный в 2 проекциях (Рисунок 40): спондилолизный спондилолистез L5 III степени по Meyerding. Сагиттальный дисбаланс: 6 тип по классификации SDSG. Параметры сагиттального баланса: PI = 63,2°; PT = 28,7°; SS = 34,5°; LL =  14,5°; TK =  8,1°.



**Рисунок 40 –** Rg постуральный в 2 проекциях пациента Г. 15 лет, ИБ Н2021-3359 до оперативного лечения

КТ пояснично-крестцового отдела позвоночника (Рисунок 41): двусторонний спондилолиз L5 позвонка. Спондилолистез L5 III степени по Meyerding. Выраженные диспластические изменения замыкательных пластин L5, S1 позвонков.



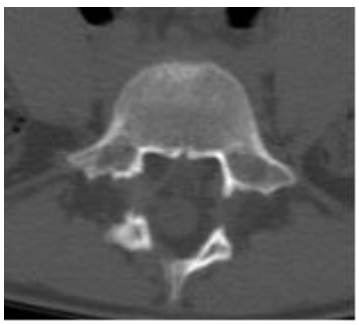


**Рисунок 41 –** КТ пояснично-крестцового отдела позвоночника пациента Г. 15 лет, ИБ Н2021-3359 до оперативного лечения

***Оперативное лечение***

**1-й этап: 11.02.2021** дорсальная фиксация сегмента L4-L5-S1 транспедикулярной системой. Декомпрессивная ламинэктомия L5 позвонка. Редукция L5 позвонка.

**2-й этап: 19.04.2021** передняя стабилизация сегмента L5-S1 из переднего внебрюшинного доступа цилиндрическим кейджем с аутокостью (Рисунок 42).

Расчетные (теоретические) параметры сагиттального баланса, а также параметры до и после оперативного лечения представлены в Таблице 17.

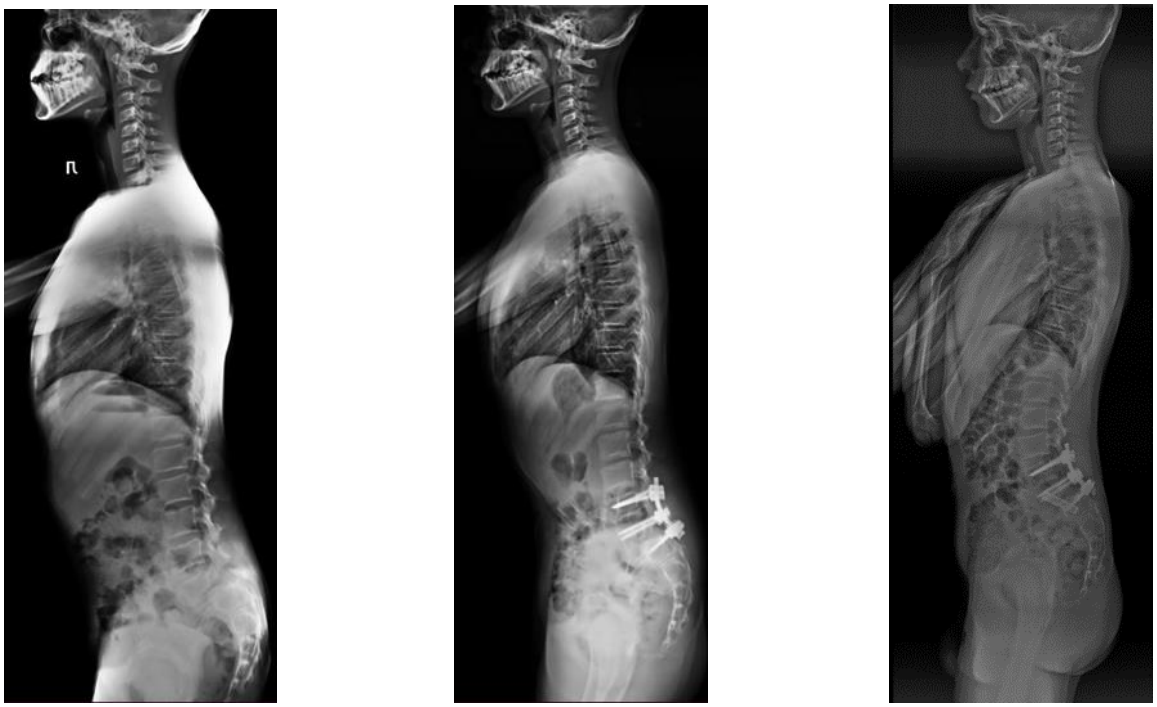


**Рисунок 42 –** Постуральные рентгенограммы пациента Г. 15 лет ИБ Н2021-3359 со спондилолистезом L5 на момент поступления в стационар и на этапах оперативного лечения

**Таблица 17** – Расчетные (теоретические) параметры сагиттального баланса, а также параметры до и после оперативного лечения пациента Г. 15 лет ИБ Н2021-3359 со спондилолистезом L5

| *Параметр* | *Исходные значения* | *Расчетные значения (теоретические)* | *Значения после первого этапа оперативного вмешательства* | *Значения после второго этапа оперативного вмешательства* |
|---|---|---|---|---|
| PI | 63,2° | 63,2° | 63,2° | 63,2° |
| PT | 28,7° | PT = PI–SS = 16,4° | 29,9° | 27,1° |
| SS | 34,5° | SS = PI × 0,54 + 12,7 = 46,8° | 33,3° | 36,1° |
| LL | 14,5° | LL = PI × 0,54 + 28 = 62,1° | 23,7° | 39° |
| ТК | 8,1° | ТК = 0,75×LL = 46,5° | 13,9° | 18,1° |

У данного пациента высокий показатель PI (63,2°). Данный параметр используется при расчете всех остальных сагиттальных параметров, следовательно, на этапе предоперационного планирования мы получаем недостоверные расчетные (теоретические) значения. Полученные теоретические значения LL и ТК, по сути, означают гиперкифоз грудного отдела и гиперлордоз поясничного отдела. В данном случае, ориентироваться на теоретические параметры сагиттального баланса не представляется возможным.

Через 3 месяца после проведённого этапного оперативного лечения сагиттальные параметры у данного пациента улучшились, однако, были далеки от установленной нормы сагиттальных параметров для детей. Тем не менее, пациент отметил снижение болевого синдрома и улучшение качества жизни (Ped`s QL = 88 баллов, ODI = 26%, VAS 2 балла).

Также при сравнении внешнего вида пациента до и после этапного оперативного вмешательства (Рисунок 43) имеет место «выключение» компенсаторных механизмов, а именно сгибания в коленных и тазобедренных суставах с наклоном туловища кпереди.



**Рисунок 43** – Внешний вид пациента Г. 15 лет ИБ Н2021-3359 до и после этапного оперативного лечения

Нами был проанализирован показатель пояснично-крестцового кифоза (LSJA) до и после оперативно лечения (Рисунок 44).

Отмечается устранение локального пояснично-крестцового кифоза, что, по нашему мнению, а также по данным литературы [76] коррелирует с качеством жизни пациентов.

На контрольном осмотре через 2 года с момента операции по данным КТ пояснично-крестцового отдела позвоночника (Рисунок 45) отмечается стабильное положение дорсальной и вентральной металлоконструкции, костно-металлический блок на уровне L4-S1.

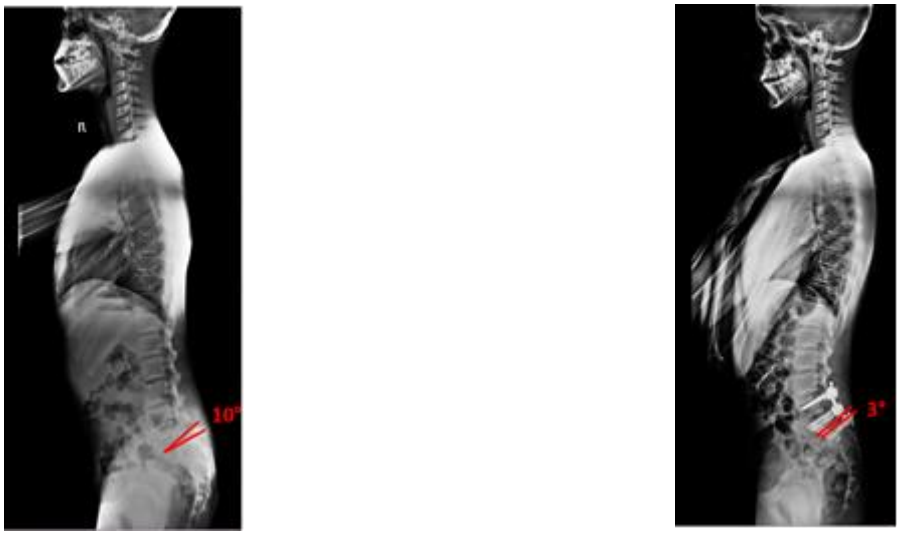


**Рисунок 44 –** Показатель LSJA у пациента Г. 15 лет ИБ Н2021-3359 после оперативного лечения

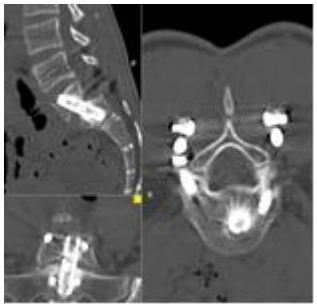


**Рисунок 45 –** КТ поясничного отдела через 2 года с момента операции

По данным постуральных рентгенограмм позвоночника через 2 года с момента операции (Рисунок 46) сохраняется достигнутая редукция L5, параметры сагиттального баланса остаются в пределах, достигнутых на раннем этапе наблюдения. По данным опросников наблюдается улучшение качества жизни, болевой синдром отсутствует (Ped`s QL = 90 баллов, ODI = 15%, VAS 0 баллов).



**Рисунок 46 –** Постуральная Rg поясничного отдела через 2 года с момента операции

## 4.6. Результаты оперативного лечения спондилолистеза в сочетании с синдромом пояснично-бедренной ригидности у детей

У ряда пациентов из группы II (n = 7) имел место сагиттальный дисбаланс без выраженного смещения L5 позвонка (до II степени по классификации Meyerding). В результате оценки неврологического статуса у всех семи пациентов был выявлен синдром пояснично-бедренной ригидности, который проявлялся:

1) фиксированным поясничным лордозом. Усилен и удерживается напряжением мышц – разгибателей поясничного отдела позвоночника. Больному в положении стоя предлагают наклониться кпереди, чтобы достать пол руками. Такое движение оказывается для него затруднительным, так как поясничный лордоз не выравнивается, остается неизмененным. Поясничный лордоз сохраняется также в положении лежа на спине. При разогнутых коленях сгибание в тазобедренных суставах невозможно, вследствие чего наклон туловища еще более ограничен;

2) симптомом «доски». Лежащего на спине с разогнутыми коленными суставами больного можно поднять за стопы только в выпрямленном положении, туловище и тазобедренные суставы остаются разогнутыми, скованными и при поднимании сохраняют соприкосновение с ложем только надплечья;

3) толчкообразной походкой, при которой больной передвигается со слегка согнутыми тазобедренными и коленными суставами, живот больного выпячен и вследствие усиленного поясничного лордоза увеличен грудной кифоз.

Всем пациентам данной группы было выполнено двухэтапное оперативное лечение с ревизией и декомпрессией невральных структур и редукцией L5 позвонка.

После выполнения декомпрессивно-стабилизирующих операций во всех случаях отмечался регресс неврологической симптоматики и восстановление сагиттального профиля позвоночника, а также снижение интенсивности болевого синдрома и улучшение качества жизни в течение 2–4 месяцев с момента операции (Таблица 18).

**Таблица 18** – Оценка интенсивности болевого синдрома и качества жизни пациентов со спондилолистезом L5 в сочетании с синдромом пояснично-бедренной ригидности до и после оперативного лечения

| *Опросник* | *Результаты до операции* | *Результаты на момент выписки* | *Результаты через 6 мес. после операции* | *Результаты через 12 мес. после операции* |
|---|---|---|---|---|
| Ped`s QL | 61,1±9,2 | – | 78,3±4,4 | 86,6±2,7 |
| ODI | 38,3±11,2 | 31,5±9,1 | 25,4±4,6 | 13,6±2,8 |
| VAS | 9,1±0,7 | 4,1±1,6 | 2,1±0,8 | 1,8±0,6 |

У пациентов данной группы наблюдалась наиболее высокая интенсивность болевого синдрома среди всех пациентов со спондилолистезом (VAS = 9,1±0,7).

**Клинический пример № 4**

**Пациентка Р.**, 14 лет, ИБ Н2021-2975, поступила 09.04.2021 в 14-е отделение (вертебрологии) НМИЦ ТО им. Н. Н. Приорова с жалобами: на боли в поясничном отделе позвоночника с иррадиацией в левую нижнюю конечность по задней поверхности бедра и голени, нарушение походки и вынужденный наклон туловища кпереди.

***Анамнез заболевания.*** Вышеуказанные жалобы беспокоят с мая 2020 года. С августа 2020 г. появилось анталгическое положение туловища с наклоном кпереди. Пациентка проходила курсы консервативной терапии у невролога по месту жительства без выраженного эффекта. Родители обратились в НМИЦ ТО им. Н. Н. Приорова.

***Ортопедический статус.*** Пациентка передвигается самостоятельно. Походка нарушена, передвигается с наклоном туловища кпереди и согнутыми в коленных суставах нижних конечностях с защитной установкой левой ноги с опорой на мысок. Активные движения в поясничном отделе позвоночника резко ограничены в связи с выраженным болевым синдромом. При осмотре паравертебральные мышцы умеренно напряжены. Пальпаторно отмечается болезненность при пальпации на уровне паравертебральных мышц в поясничном отделе.

***Неврологический статус.*** Симптомы Дежерина, Нери отрицательны. Симптом Ласега резко положителен слева (10 градусов), синдром пояснично-бедренной ригидности. В двигательной сфере парезов нет. Отсутствует ахиллов рефлекс

слева, остальные рефлексы в норме. Патологических рефлексов нет. Нарушения чувствительности не выявлено. Тазовые функции не нарушены.

***Данные опросников:*** Ped`s QL = 38 баллов, ODI = 72%, VAS 9 баллов.

***Данные обследований (в интерпретации):*** Rg позвоночника постуральный в 2 проекциях: истмический спондилолистез L5 позвонка 2-й степени. Сагиттальный дисбаланс. Анталгический (неструктуральный) сколиоз (Рисунок 47).

Параметры сагиттального баланса: PI = 70,6°; PT = 33,4°; SS = 37,2°; LL = -0,2°; TK = -14,7°.

КТ пояснично-крестцового отдела позвоночника: истмический спондилолистез L5 позвонка 2-й степени с наличием признаков стеноза позвоночного канала и выраженных диспластических изменений на уровне L5-S1. Spina sacralis. Куполообразный крестец (Рисунок 48).

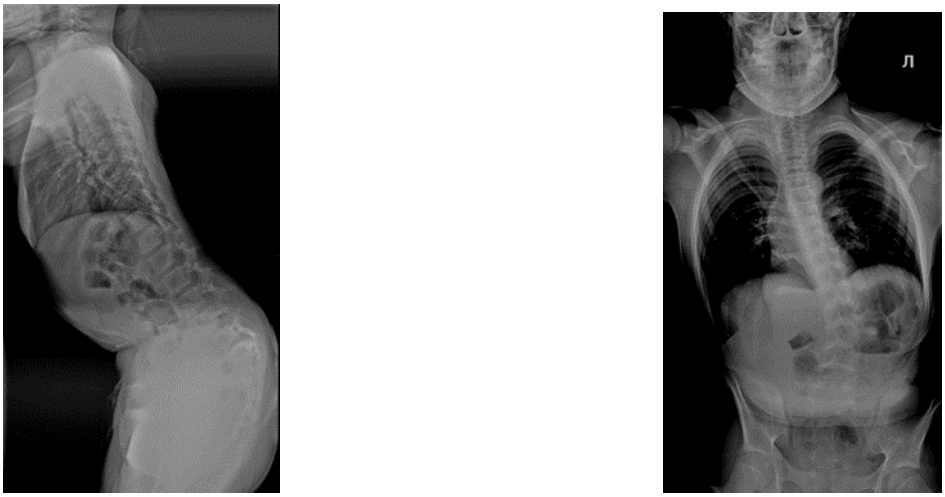



**Рисунок 47 –** Rg позвоночника постуральный в 2 проекциях пациентки Р. 14 лет, ИБ Н2021-2975 на этапе предоперационного планирования




**Рисунок 48 –** КТ позвоночника пациентки Р. 14 лет, ИБ Н2021 – на этапе предоперационного планирования

МРТ пояснично-крестцового отдела позвоночника: спондилолистез L5 позвонка. Стеноз позвоночного канала на уровне L5-S1 (Рисунок 49).

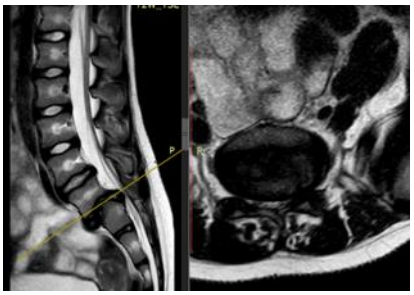


**Рисунок 49 –** МРТ позвоночника пациентки Р. 14 лет, ИБ Н2021-2975 на этапе предоперационного планирования



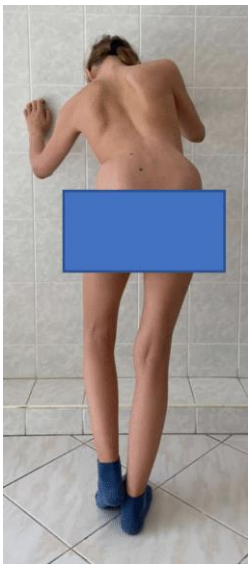


**Рисунок 50 –** Внешний вид пациентки Р. 14 лет, ИБ Н2021-2975 до оперативного лечения

***Диагноз клинический***

Основной: истмический спондилолистез L5 позвонка II степени по Meyerding. Сагиттальный и фронтальный дисбаланс. Синдром пояснично-бедренной ригидности с нарушением походки. Радикулопатия S1 слева. Выраженный болевой синдром.

Сопутствующий: Хронический гастрит, ремиссия.

**09.04.2021 выполнен первый этап оперативного лечения:** ревизия и декомпрессия невральных структур L5-S1. Дорсальная фиксация L4-S1 транспедикулярной системой. Редукция L5 позвонка (Рисунок 51).

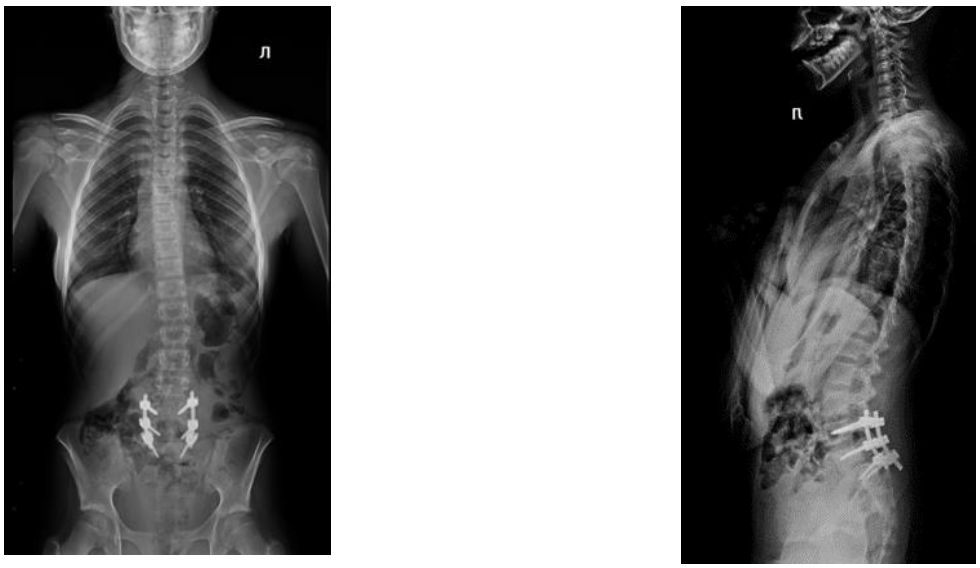


**Рисунок 51 –** Рентгенограммы пациентки Р. 14 лет, ИБ Н2021-2975 после первого этапа оперативного лечения

Послеоперационное течение без особенностей. Пациентка активизирована в первые сутки после операции. Отмечала умеренные боли в области послеоперационной раны, болевой синдром в левой нижней конечности купирован. Фронтальный и сагиттальный баланс восстановился, однако нарушение походки сохранялось.

**16.04.2021 выполнен второй этап оперативного лечения:** стабилизация сегмента L5-S1 индивидуальным кейджем с аутокостью из переднего внебрюшинного доступа. (Рисунок 52).

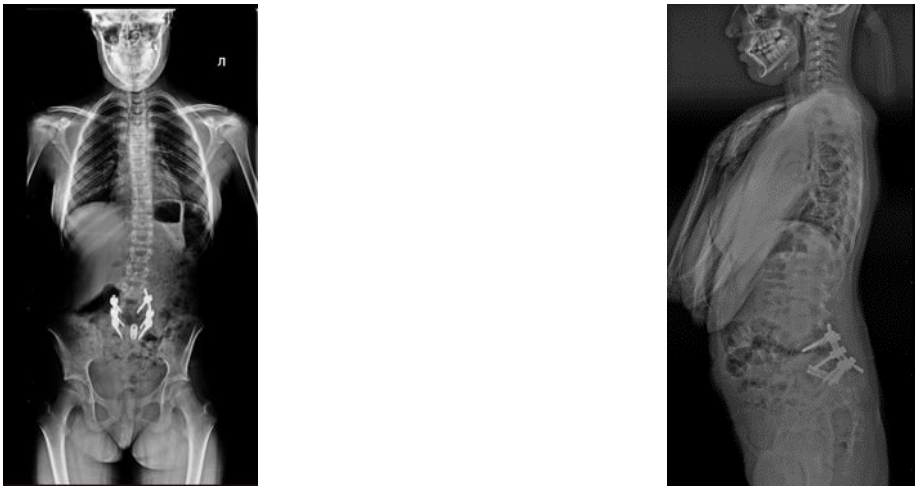


**Рисунок 52 –** Рентгенограммы пациентки Р. 14 лет, ИБ Н2021-2975 после второго этапа оперативного лечения истмического спондилолистеза L5 позвонка



**Рисунок 53** – Внешний вид пациентки Р. 14 лет, ИБ Н2021-2975 до и после оперативного лечения

Пациентка выписана на амбулаторное наблюдение.

На момент выписки сохранялось сгибание в коленных суставах до 20° для поддержания вертикальной позы, а также нарушение походки.

Через 3 месяца после оперативного лечения на контрольном осмотре отмечалось полное восстановление походки и вертикального положения туловища, а также регресс компенсаторных механизмов в виде сгибания в коленных суставах.

Интенсивность болевого синдрома снизилась до 3 б. по VAS.

Качество жизни пациентки, по данным опросников улучшилось (Ped`s QL = 72 балла, ODI = 24%).

Период наблюдения составляет 1,5 года, отрицательной динамики нет.

На контрольных КТ металлоконструкция стабильна, сформирован костно-металлический блок на уровне L5-S1. Потери редукции L5 нет (Рисунок 54).



**Рисунок 54** – КТ позвоночника пациентки Р. 14 лет, ИБ Н2021-2975 с истмическим спондилолистезом L5 позвонка 2-й степени через 1,5 года с момента операции

### 4.7. Осложнения оперативного лечения спондилолистеза у детей

При выполнении 55 оперативных вмешательств мы столкнулись с рядом осложнений (Таблица 19).

**Таблица 19 –** Частота и характер осложнений

| *Характер осложнений* | *Частота осложнений, n (%)* |
|---|---|
| *Связанные с использованием имплантатов* | |
| Нестабильность металлоконструкции | 2 (3,6) |
| *Не связанные с использованием имплантатов* | |
| Неврологические осложнения | 1 (1,8) |
| Инфекционные осложнения | 1 (1,8) |

У двух пациентов со спондилоизным спондилолистезом L5 позвонка 4 степени по Meyerding после выполнения первого этапа оперативного лечения (дорсальной фиксации транспедикулярной системой, декомпрессивной ламинэктомии L5 и редукцией L5 позвонка) на этапе подготовки ко второму этапу оперативного лечения (передняя стабилизация L5-S1 кейджем с аутокостью) на контрольных рентгенограммах были выявлены переломы транспедикулярных винтов в S1 позвонке. Важно отметить, что второй этап у данных пациентов выполнялся через 2

месяца с момента проведения первого этапа по соматическим причинам (COVID-19). В обоих случаях был выполнен перемонтаж дорсальной металлоконструкции, поврежденные винты в S1 позвонке заменены на аналогичные винты большего диаметра. Второй этап был выполнен через 7 дней с момента выполнения перемонтажа металлоконструкции. На контрольных рентгенограммах и КТ через 2 года с момента завершения этапного оперативного лечения – признаков нестабильности металлоконструкции нет.

У одной пациентки со спондилолизным спондилолистезом L5 позвонка 4-й степени по Meyerding на 2-е сутки после выполнения первого этапа оперативного лечения (дорсальной фиксации транспедикулярной системой, декомпрессивной ламинэктомии L5 и редукцией L5 позвонка) возникли неврологические осложнения в виде вялого правостороннего пареза мышц – разгибателей стопы до 1б, что свидетельствовало о радикулоишемии L5, вероятнее сосудистого генеза, с учетом отсроченного развития. Через 2 недели с момента операции пациентке был выполнен второй этап оперативного лечения (передний спондилодез L5-S1 кейджем Mesh с аутокостью). Через 3 года с момента завершения этапного оперативного лечения, в неврологическом статусе без положительной динамики.

В одном случае у пациента со спондилолизным спондилолистезом L5 2 степени по Meyerding после выполнения одноэтапного оперативного лечения (дорсальная фиксация L5-S1 транспедикулярной системой, редукция L5 позвонка, ревизия и декомпрессия невральных структур L5-S1, межтеловой спондилодез L5-S1 кейджем с аутокостью) имело место развитие воспаления мягких тканей области оперативного вмешательства. На 8 сутки после операции пациент обратил внимание на расхождение краев раны с наличием отделяемого. В связи с чем был повторно госпитализирован. Воспалительный процесс локализовался в пределах подкожной жировой клетчатки. Выполнялась ревизия и санация послеоперационной раны с наложением вторичных швов. Рана зажила вторично, металлоконструкция сохранена.

**Резюме**

Оперативное лечение детей с билатеральным спондилолизом L5 позвонка целесообразно выполнять с использованием индивидуальных металлоконструкций, так как они четко соответствуют рельефу дужки L5 позвонка, что обеспечивает плотное прилегание пластины и дает возможность выполнить достаточную контракцию в зоне спондилолиза без технических сложностей и за более короткое время.

Ключевым моментом оперативного лечения пациентов со спондилолистезом «low grade» является дорсальная фиксация L5-S1 с редукцией L5, межтеловой спондилодез L5-S1 кейджем, с целью стабилизации данного сегмента и предотвращения дальнейшего прогрессирования смещения L5 позвонка.

Высокие показатели PI не позволяют ориентироваться на параметры сагиттального баланса при оперативном лечении детей со спондилолистезом «high grade». Ключевым моментом оперативного лечения тяжелых степеней спондилолистеза является устранение локального пояснично-крестцового кифоза, так как доказана их корреляция с качеством жизни пациентов, при этом, параметры сагиттального баланса не имеют значимого влияния на клинический результат.

Ключевым моментом оперативного лечения детей со спондилолистезом в сочетании с синдромом пояснично-бедренной ригидности является выполнение ревизии и декомпрессии невральных структур на уровне L5-S1.

## 4.8. Алгоритм оперативного лечения спондилолистеза различной степени тяжести у детей и подростков

С учетом результатов проведенного исследования был создан алгоритм оперативного лечения спондилолистеза L5 позвонка у детей в зависимости от тяжести смещения и клинических проявлений (Рисунок 55).

Пациенты со спондилолистезом L5 были разделены на 4 группы в зависимости от тактики предполагаемого оперативного лечения:

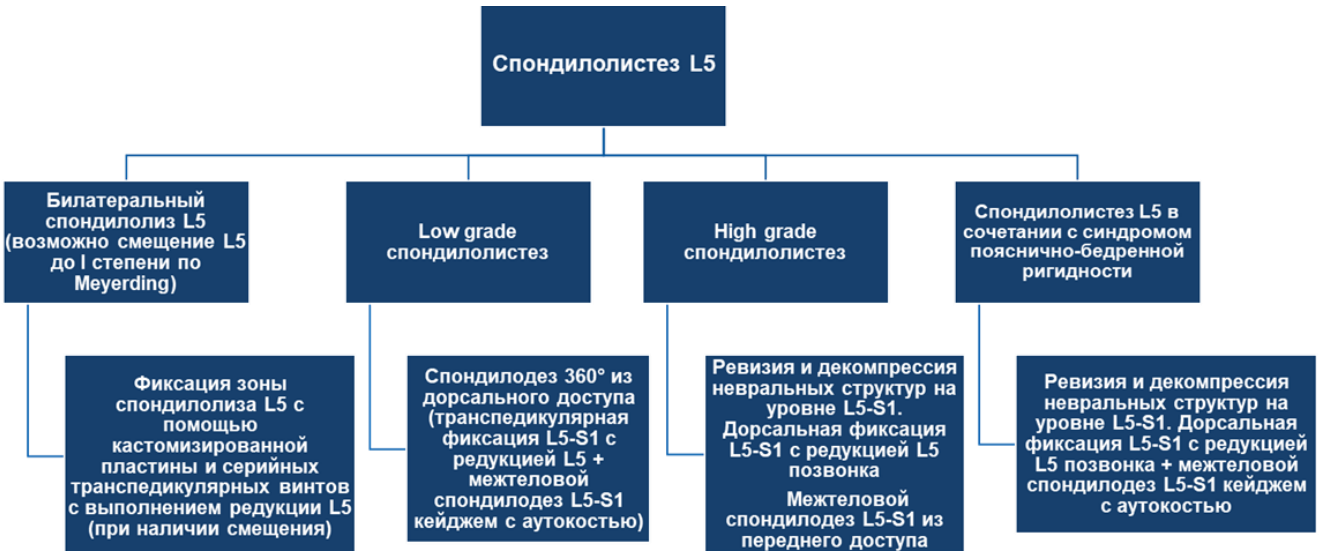



**Рисунок 55** – Алгоритм оперативного лечения спондилолистеза L5 позвонка различной степени тяжести у детей

1. Пациенты с билатеральным спондилолизом L5 (возможно смещение L5 до I степени по Meyerding). Оптимальной тактикой оперативного лечения данной группы пациентов является фиксация зоны спондилолиза L5 с помощью кастомизированной пластины и серийных транспедикулярных винтов с выполнением редукции L5 (при наличии смещения). Кастомизированные индивидуальные пластины выполнены с учетом анатомических особенностей каждого отдельного пациента, что обеспечивает плотное прилегание пластины к задним элементам L5 позвонка и позволяет добиться качественной контракции в зоне спондилолиза. Пластину целесообразно фиксировать серийными транспедикулярными винтами и гайками, так как прилагаемый к ним инструментарий является проверенным и удобным, что значительно снижает время операции и дает возможность выполнить редукцию L5 позвонка (при наличии смещения).

2. Оптимальной тактикой оперативного лечения пациентов с «low grade» спондилолистезом является спондилодез 360° из дорсального доступа (транспедикулярная фиксация L5-S1 с редукцией L5 + межтеловой спондилодез L5-S1 кейджем с аутокостью). Пациенты данной группы не имеют выраженного смещения L5 позвонка, а также локального пояснично-крестцового кифоза и нарушений сагиттального баланса, что позволяет выполнить качественный спондилодез с редукцией L5 в одну хирургичесскую сессию из одного (дорсального) доступа.

3. Оперативное лечение пациентов с «high grade» спондилолистезом целесообразно разбить на два этапа: первым этапом выполнить ревизию и декомпрессию невральных структур на уровне L5-S1. Дорсальную фиксацию L5-S1 с редукцией L5 позвонка. Вторым этапом – межтеловой спондилодез L5-S1 из переднего внебрюшинного доступа. Из-за исходно тяжелых степеней смещения L5 позвонка у данной группы пациентов, не во всех случаях удается добиться полной редукции L5. Также, у пациентов с «high grade» спондилолистезом в большинстве случаев имеются выраженные диспластические изменения замыкательных пластин L5 и S1 позвонков. Все вышеперечисленные особенности не позволяют выполнить межтеловой спондилодез из одного (дорсального доступа).

4. У пациентов со спондилолистезом L5 в сочетании с синдромом поясничнобедренной ригидности сагиттальный дисбаланс развивается не вследствие грубого смещения L5 позвонка, а в результате натяжения конского хвоста. Учитывая данную особенность, ключевым моментом оперативного лечения данной группы пациентов является выполнение качественной ревизии и декомпрессии невральных структур на уровне L5-S1. Дорсальная фиксация L5-S1 с редукцией L5 позвонка + межтеловой спондилодез L5-S1 кейджем с аутокостью выполняются с целью стабилизации сегмента L5-S1 и восстановления анатомических взаимоотношений.

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Расчет сагиттальных параметров является неотъемлемой частью предоперационного планирования и используется для оценки результатов оперативного лечения спондилолистеза у детей. При высоких степенях спондилолистеза, сагиттальные параметры позвоночника отличаются от параметров здоровых людей (Labelle H., Roussouly P. et al., 2004). Также доказано различие позвоночно-тазовых параметров у детей и взрослых без ортопедической патологии (Mac-Thiong J. M., Ric Berthonnaud E. et al., 2004). Следовательно, для правильного предоперационного планирования необходимо знать норму сагиттальных параметров у детей.

Оперативное лечение детей с билатеральным спондилолизом L5 позвонка целесообразно выполнять с использованием индивидуальных металлоконструкций, так как они четко соответствуют рельефу дужки L5 позвонка, что обеспечивает плотное прилегание пластины и дает возможность выполнить достаточную контракцию в зоне спондилолиза без технических сложностей и за более короткое время.

При спондилолистезе «low grade» позвоночно-тазовые параметры не имеют выраженного отклонения от нормы. Параметр PI у пациентов с низкими степенями спондилолистеза в среднем выше чем у здоровых детей, но увеличен он незначительно, что позволяет использовать существующие формулы расчета теоретических сагиттальных параметров на этапе предоперационного планирования, а также оценить результат оперативного лечения с позиции сагиттального баланса. Ключевым моментом оперативного лечения пациентов со спондилолистезом «low grade» является дорсальная фиксация L5-S1 с редукцией L5, межтеловой спондилодез L5-S1 кейджем, с целью стабилизации данного сегмента и предотвращения дальнейшего прогрессирования смещения L5 позвонка.

При спондилолистезе «high grade» у детей в большинстве случаев наблюдаются высокие показатели PI, которые не позволяют ориентироваться на параметры сагиттального баланса при оперативном лечении детей с тяжелыми степенями спондилолистеза. Ключевым моментом оперативного лечения данной группы пациентов является устранение локального пояснично-крестцового кифоза, так как

доказана его корреляция с качеством жизни (Tanguay F., Labelle H. et al., 2012), при этом, параметры сагиттального баланса не имеют значимого влияния на клинический результат.

В ряде случаев нарушение сагиттального баланса развивается вследствие неврологических расстройств, болевого синдрома, синдрома пояснично-бедренной ригидности. В настоящее время механизм пояснично-бедренной ригидности до конца не изучен, однако существует ряд публикаций, описывающих специфическое нарушение походки и невозможность наклона туловища вперед, выраженное ограничение подъема прямых ног у детей и подростков со спондилолистезом. Авторы связывают его с раздражением конского хвоста и отмечают регрессию вышеуказанной симптоматики после выполнения ламинэктомии L5 позвонка (Kayser R., Mahlfeld K. et al., 2006).

Принимая во внимание все вышесказанное, целью нашего исследования являлась разработка оптимального лечебного алгоритма, направленного на улучшение результатов оперативного лечения спондилолистеза у детей.

Основные задачи, требующие решения, заключались в изучении параметров сагиттального баланса у детей без ортопедической патологии и сравнении их с аналогичными параметрами у взрослых; сравнении параметров сагиттального баланса у детей без ортопедической патологии и аналогичных параметров у детей со спондилолистезом различной степени тяжести; оценке результатов лечения спондилолистеза различной степени тяжести у детей с помощью данных лучевой диагностики с оценкой параметров сагиттального баланса и данных опросников; изучении роли локального пояснично-крестцового кифоза при оперативном лечении спондилолистеза у детей; определении показаний к конкретному виду оперативного вмешательства у детей со спондилолистезом в зависимости от клинических проявлений и степени смещения L5 позвонка; разработке алгоритма оперативного лечения детей со спондилолистезом в зависимости от клинических проявлений и тяжести смещения L5 позвонка.

В ходе исследования:

1. Были определены нормальные значения сагиттального баланса у детей и подростков без ортопедической патологии (PI = 40,7° [34,40°; 45,15°]; PT = 5,2° [1,75°; 10,25°]; SS = 35,8° [30,75°; 39,30°]; LL = 50,2° [44,15°; 57,45°]; TK = 33,5° [26,50°; 40,45°]).

2. Доказана роль синдрома пояснично-бедренной ригидности и локального пояснично-крестцового кифоза в развитии сагиттального дисбаланса у детей со спондилолистезом.

3. Доказана невозможность применения существующих формул расчета сагиттального баланса у детей с тяжелыми степенями спондилолистеза и высокими показателями PI.

4. Разработан алгоритм оперативного лечения детей со спондилолистезом в зависимости от клинических проявлений и тяжести смещения.

В работе проведено ретроспективное исследование 98 пациентов в возрасте от 8 до 17 лет включительно.

***Группа 1*** – 43 пациента без патологии опорно-двигательного аппарата. В данную группу вошли пациенты, обратившиеся на амбулаторный прием в ФГБУ «ФЦТОЭ» Минздрава России (г. Смоленск) с жалобами на боли в спине и/или нарушение осанки. С целью исключения патологии опорно-двигательного аппарата данным пациентам были выполнены постуральные рентгенограммы. Пациенты данной группы были разделены по возрасту на две подгруппы: подгруппа А (8–12 лет, n = 25); подгруппа Б (13–17 лет, n = 18).

Критериями включения в группу 1 являлись:

– возраст от 8 до 17 лет включительно;

– отсутствие деформаций позвоночника (сколиотических, кифотических, посттравматических, спондилолистеза) и другой ортопедической патологии.

Критериями невключения являлись:

– возраст менее 8 лет, более 17 лет;

– наличие деформаций позвоночника (сколиотических, кифотических, посттравматических, спондилолистеза) и другой ортопедической патологии.

Критериями исключения являлись:

– отсутствие постуральных рентгенограмм позвоночника.

***Группа 2*** – 55 пациентов, поступивших в ФГБУ «НМИЦ ТО им. Н. Н. Приорова» Минздрава России с диагнозом «спондилолистез L5 позвонка» для оперативного лечения в период с 2012 по 2021 гг. Пациенты данной группы также были разделены по возрасту на две подгруппы: подгруппа А (8–12 лет, n = 23); подгруппа Б (13–17 лет, n = 32).

Критериями включения в группу 2 являлись:

– возраст от 8 до 17 лет включительно;

– наличие спондилолистеза пятого поясничного позвонка и отсутствие другой ортопедической патологии.

Критериями невключения являлись:

– возраст менее 8 лет, более 17 лет;

– наличие любой ортопедической патологии, помимо спондилолистеза L5 позвонка.

Критериями исключения являлись:

–отсутствие постуральных рентгенограмм позвоночника до и после оперативного лечения.

Рентгенологическая диагностика включала постуральную рентгенографию позвоночника, интраоперационную флюорографию.

По данным постуральной рентгенографии в боковой проекции всем пациентам группы 1 проводили рентгенометрические расчёты следующих параметров (Рисунок 12): наклон таза (pelvic tilt, PT); тазовый индекс (pelvic incidence, PI); наклон крестца (sacral slope, SS); поясничный лордоз (lumbar lordosis, LL); грудной кифоз (thoracic kyphosis, TK).

Для пациентов группы 2, помимо основных параметров, были также рассчитаны параметры, характеризующие пояснично-крестцовый кифоз (Рисунок 13): угол соскальзывания (SA – Slip angle); пояснично-крестцовый угол Dubousset (Dub-LSA – Dubousset lumbosacral angle); угол пояснично-крестцового сочленения (LSJA – Lumbosacral joint angle);

По данным МРТ оценивали наличие стеноза позвоночного канала на уровне спондилолистеза.

По данным КТ определяли наличие спондилолиза, исключая тем самым травматический характер повреждения. Определи размер зоны спондилолиза, а также его сторонность. Оценивали наличие изменений формы замыкательной пластинки S1 позвонка.

Интраоперационная флюорография позволяла на этапах оперативного лечения оценить положение транспедикулярных винтов, межтеловых имплантов, индивидуальных передних пластин, а также степень редукции L5 позвонка.

Степень спондилолистеза оценивали по следующим классификациям:

1) классификация Meyerding;

2) классификация SDSG (spinal deformity study group);

3) классификация Митбрейта – Беленького.

Для оценки результатов хирургического лечения применяли опросники, характеризующие качество жизни и интенсивность болевого синдрома до операции, в раннем послеоперационном периоде и в позднем послеоперационном периоде.

Для оценки интенсивности болевого синдрома применялась визуальная аналоговая шкала (ВАШ), где «0» – отсутствие болевого синдрома, а «10» – нестерпимая боль.

Для оценки качества жизни детей и подростков применяли опросник Pediatrics Quality of Life Scale (PedsQL 4.0 Generic Core Scales), в котором проводится изучение физического, эмоционального, социального и ролевого функционирования.

Для оценки качества жизни детей старшей возрастной категории (13–17 лет) применяли опросник Освестри (ODI – Osvestry Disability Index). Значения индекса от 0 до 20% означают минимальные нарушения, от 21 до 40% – умеренные, от 41 до 60% – тяжёлые, от 61 до 80% – инвалидизирующие, а значения ODI от 81 до 100% свидетельствуют о нарушениях, приковывающих к постели, или о преувеличении жалоб.

Далее, в работе были установлены средние значения основных позвоночно-тазовых параметров у детей без ортопедической патологии из группы I (Таблица 2).

Полученные нами параметры приняты за условную норму для детей и сопоставлены с нормальными параметрами для взрослых, которые были предложены в работе Schwab с соавт. (2006). При сопоставлении выявлено, что основные параметры сагиттального баланса у детей и взрослых без патологических деформаций позвоночного столба отличаются. У детей определяются меньшие средние значения по показателям PI, PT, TK. Показатели LL и SS отличаются незначительно.

Для пациентов со спондилолистезом из группы II были также рассчитаны средние значения по основным позвоночно-тазовым параметрам, результаты представлены в Таблице 4.

Проведено сравнение параметров сагиттального баланса у пациентов группы I и группы II. Выявлено, что имеются статистически достоверные различия параметров сагиттального баланса у детей без патологии позвоночника и со спондилолистезом по всем параметрам: PI, PT, SS, LL, TK, PI–LL, что наглядно продемонстрировано на Рисунке 18.

Снижение параметров TK и LL можно расценивать как компенсаторный механизм для сохранения вертикального положения туловища при тяжелых степенях спондилолистеза. Также, при спондилолистезе закономерно изменяются параметры PT и SS, что говорит о постепенной ретроверсии таза по мере увеличения степени спондилолистеза.

Самым значимым изменением у пациентов со спондилолистезом, на наш взгляд, является более высокий параметр PI, так как данный показатель является ключевым при расчете всех остальных параметров сагиттального баланса (PT = **PI** – SS; SS = **PI** × 0,54 + 12,7; LL = **PI** × 0,54 + 28). Поскольку PI является константой и определяет показатели PT, SS и LL, которые в свою очередь отражают положение таза в пространстве, мы предполагаем, что высокий PI оказывает прямое влияние на развитие спондилолистеза.

Учитывая тот факт, что величина PI является ключевой для расчета всех остальных показателей сагиттального баланса, не во всех случаях целесообразно применять сагиттальные параметры для предоперационного планирования, а также как инструмент для оценки результатов оперативного лечения спондилолистеза.

Так, например, у пациентов с высокими степенями спондилолистеза и высоким PI на этапе предоперационного планирования мы получим недостоверные теоретические показатели сагиттального баланса, что в послеоперационном периоде не позволит оценить результат лечения с позиции позвоночно-тазовых параметров.

Для пациентов группы 2 был произведен расчет сагиттальных параметров позвоночника до и после оперативного лечения. Средние значения позвоночно-тазовых параметров для группы 2 до и после оперативного лечения представлены в Таблице 6.

В результате оперативного лечения статистически достоверно увеличились показатели SS, LL, TK, которые при тяжелых степенях спондилолистеза уменьшаются, что можно расценить как компенсаторный механизм для поддержания вертикального положения туловища.

Учитывая высокие показатели PI у детей со спондилолистезом, применить существующие формулы для расчета теоретических параметров (к которым мы должны стремиться во время выполнения оперативного вмешательства) не представлялось возможным. Принимая во внимание данное наблюдение, сагиттальные параметры у пациентов после оперативного вмешательства были сравнены с параметрами здоровых детей из группы I. В результате сравнения получены статистически достоверные различия (Рисунок 19).

Из Рисунка 4 видно, что основные позвоночно-тазовые параметры (PT, SS, LL, TK) у детей со спондилолистезом после оперативного лечения приближаются к нормальным значениям. Тем не менее, ни один параметр не восстановлен до значений здоровых детей из группы I.

Тем не менее, у всех пациентов, после оперативного лечения отмечается регресс неврологической симптоматики и локального болевого синдрома в поясничном отделе позвоночника, что привело к улучшению качества жизни (Таблица 7; Рисунок 20). У пациентов с нарушением походки и анталгической установкой туловища с наклоном кпереди отмечается полное восстановление походки в сроки до трех месяцев, а также восстановление вертикального положения туловища.

Несмотря на то, что сагиттальные параметры у пациентов со спондилолистезом из группы II после оперативного лечения не были восстановлены до параметров здоровых детей, по результатам опросников мы наблюдали улучшение качества жизни и снижение интенсивности болевого синдрома у детей со спондилолистезом в послеоперационном периоде.

*Результаты оперативного лечения детей с билатеральным спондилолизом L5*

На основании данных КТ выполняли изготовление 3-D модели поясничнокрестцового отдела позвоночника. Было спроектировано два вида индивидуальных пластин и поданы заявки на соответствующие патенты РФ на изобретение:

1. Индивидуальное устройство для фиксации зоны двухстороннего спондилолиза L5 позвонка, выполненное из титана и представляющее собой фигурную пластину, повторяющую поверхность дужки L5 позвонка и имеющую два выступа для субламинарной фиксации и переходящая по краям в стержень круглого сечения с диаметром 5,5 мм для установки и фиксации в головках мультиаксиальных винтов, проведенных в корни дужки L5 позвонка с обеих сторон соответственно (Рисунок 21).

2. Индивидуальное устройство для фиксации зоны двухстороннего спондилолиза L5 позвонка, представляющее собой фигурную пластину, выполненную из титана, повторяющую поверхность дужки L5 позвонка и имеющую два выступа для субламинарной фиксации и два отверстия овальной формы с обеих сторон в проекции корней дужки для фиксации транспедикулярно введенными винтами, а также два траспедикулярных винта соответствующего размера, без «головки-тюльпана2 для фиксации стержня с шестигранной головкой под торцевой ключ (Рисунок 22).

Нами были проанализированы результаты оперативного лечения пациентов с билатеральным спондилолизом L5 позвонка. Все пациенты были разделены на две группы:

1) группа 1 – с применением серийных металлоконструкций;

2) группа 2 – с применением аддитивных технологий.

Преимуществом использования индивидуальных металлоконструкций является четкое соответствие рельефу дужки L5 позвонка, что обеспечивает плотное

прилегание пластины и дает возможность выполнить достаточную контракцию в зоне спондилолиза без технических сложностей и за более короткое время.

При анализе клинических результатов оперативного лечения билатерального спондилолиза L5 позвонка с использованием кастомизированных металлоконструкций в послеоперационном периоде (период наблюдения до 6 месяцев) у всех пациентов было отмечено снижение болевого синдрома в поясничном отделе позвоночника без уменьшения объема движений (Таблица 9).

Признаки консолидации зоны спондилолиза по данным КТ были обнаружены через 4–6 месяцев с момента операции.

Возобновить спортивные физические нагрузки стало возможно через 3–6 месяцев с момента операции.

*Результаты оперативного лечения спондилолистеза «low grade» у детей*

В период с 2012 по 2022 гг. в условиях 14 отделения (вертебрологии) НМИЦ ТО им. Н. Н. Приорова было выполнено 25 оперативных вмешательств по поводу «low grade» спондилолистеза L5 позвонка у детей.

Позвоночно-тазовые параметры у данной группы пациентов не имели выраженного отклонения от нормы. Параметр PI у пациентов со спондилолистезом «low grade» в среднем выше чем у здоровых детей, но увеличен он незначительно, что позволяет использовать существующие формулы расчета теоретических сагиттальных параметров на этапе предоперационного планирования, а также оценить результат оперативного лечения с позиции сагиттального баланса (Таблица 10).

Ведущей жалобой у пациентов с низкими степенями спондилолистеза являлся болевой синдром в пояснично-крестцовом отделе позвоночника, усиливающийся при физических нагрузках. Очаговой неврологической симптоматики не наблюдалось ни в одном случае.

Все оперативные вмешательства в данной группе были выполнены в один этап (дорсальная фиксация L5-S1 с редукцией L5, межтеловой спондилодез L5-S1 кейджем с аутокостью).

Параметры сагиттального баланса были учтены, однако не имели клинического значения, так как изначально практически не отличались от нормы.

Клинически, у всех пациентов отмечается снижение болевого синдрома и улучшение качества жизни в раннем послеоперационном периоде, а также в отдаленном периоде наблюдения (Таблица 11).

Ключевым моментом оперативного лечения пациентов со спондилолистезом «low grade» является дорсальная фиксация L5-S1 с редукцией L5, межтеловой спондилодез L5-S1 кейджем, с целью стабилизации данного сегмента и предотвращения дальнейшего прогрессирования смещения L5 позвонка.

*Результаты оперативного лечения спондилолистеза «high grade» у детей*

Позвоночно-тазовые параметры у данной группы пациентов имели выраженные отклонения от нормы (Таблица 13).

В первую очередь обращает на себя внимание высокий показатель PI у детей с «high grade» спондилолистезом, что делает затруднительным расчет должных (теоретических) сагиттальных параметров на этапе предоперационного планирования.

В результате оперативного лечения данной группы пациентов основные позвоночно-тазовые параметры (PT, SS, LL, TK) ни в одном случае не были восстановлены до целевых значений, хотя и прослеживалась тенденция их приближения к нормальным значениям (Таблица 14).

Тем не менее, у всех пациентов со спондилолистезом в послеоперационном периоде по данным опросников отмечалось снижение интенсивности болевого синдрома и, как следствие, улучшение качества жизни.

Данные улучшения могут являться причиной устранения локального поясничнo-крестцового кифоза, который наблюдался у всех пациентов с «high grade» спондилолистезом до оперативного лечения. Нами проанализированы сагиттальные параметры у пациентов с «high grade» спондилолистезом, характеризующие локальный пояснично-крестцовый кифоз, до и после оперативного лечения (Таблица 15).

При сравнении параметров локального пояснично-крестцового кифоза (Dub.LSA, SA, LSJA) выявлено статистически достоверное увеличение показателя Dub.LSA, а также снижение показателей SA, LSJA (Рисунок 36).

У пациентов со спондилолистезом «high grade» были также оценены параметры, характеризующие трансляционный компонент смещения, а именно угол

Митбрейта до и после оперативного лечения (Таблица 16, Рисунок 37) [6]. В результате сравнения прослеживается уменьшение угла Митбрейта – Беленького, что также демонстрирует устранение пояснично-крестцового кифоза после оперативного лечения.

Особое внимание обращает на себя тот факт, что после устранения локального пояснично-крестцового кифоза при неполном восстановлении остальных, общепринятых позвоночно-тазовых параметров (PT, SS, LL, TK) наблюдалось улучшение качества жизни пациентов и снижение интенсивности болевого синдрома.

Мы провели статистический анализ взаимосвязи параметров, характеризующих локальный пояснично-крестцовый кифоз (Dub.LSA, SA, LSJA, Угол Митбрейта – Беленького) и результатов опросников и шкал (Ped`s QL, ODI, VAS) до и после оперативного лечения.

В результате анализа мы получили статистически значимую положительную корреляцию ($r = 0,57$; $p = 0,04$) показателя LSJA и результатов оценки интенсивности болевого синдрома по VAS до оперативного лечения: чем выше значение параметра LSJA до операции, тем выше результаты оценки интенсивности болевого синдрома по VAS на предоперационном этапе (Рисунок 38).

Также нами была выявлена статистически значимая отрицательная корреляция ($r = -0,47$; $p = 0,04$) показателя LSJA до операции и результатов опросника PED`s QL после оперативного лечения: чем выше показатель LSJA до операции, тем ниже результат по анкете PED`s QL после оперативного лечения (Рисунок 39).

Поученные в результате анализа данные позволяют говорить о том, что локальный пояснично-крестцовый кифоз у детей со спондилолистезом коррелирует с качеством жизни и интенсивностью болевого синдрома.

Так, например, пациенты с исходно высоким показателем LSJA > 8°, что говорит о выраженном пояснично-крестцовом кифозе, после оперативного лечения имеют более интенсивный остаточный болевой синдром по данным VAS, а также более низкое качество жизни по данным опросника PED`s QL.

Остальные параметры, характеризующие пояснично-крестцовый кифоз (Dub.LSA, SA, LSJA, Угол Митбрейта – Беленького) имели слабый коэффициент корреляции и находились грани статистической значимости (r = 0,27; p = 0,0491).

В свою очередь, корреляций между основными параметрами сагиттального баланса (PI, PT, SS, LL, TK) и качеством жизни пациентов нами выявлено не было.

*Результаты оперативного лечения спондилолистеза в сочетании с синдромом пояснично-бедренной ригидности у детей*

У ряда пациентов из группы II (n = 7) имел место сагиттальный дисбаланс без выраженного смещения L5 позвонка (до II степени по классификации Meyerding). В результате оценки неврологического статуса у всех семи пациентов был выявлен синдром пояснично-бедренной ригидности.

Всем пациентам данной группы было выполнено двухэтапное оперативное лечение с ревизией и декомпрессией невральных структур и редукцией L5 позвонка. После выполнения декомпрессивно-стабилизирующих операций во всех случаях отмечался регресс неврологической симптоматики и восстановление сагиттального профиля позвоночника, а также снижение интенсивности болевого синдрома и улучшение качества жизни в течение 2–4 месяцев с момента операции (Таблица 18).

У пациентов данной группы наблюдалась наиболее высокая интенсивность болевого синдрома среди всех пациентов со спондилолистезом (VAS = 9,1±0,7).

## Выводы

1. Основные параметры сагиттального баланса (PI, PT, SS, LL, TK,) у здоровых детей и взрослых статистически значимо отличаются (P<0,05); имеются статистически значимые различия (P<0,05) параметров сагиттального баланса у детей в норме и со спондилолистезом по всем основным показателям (PI, PT, SS, LL, TK). Особое внимание обращает на себя высокие значения PI (74° [66°; 79°]), а также снижение показателей LL (27,3° [21,20°; 43,60°]), TK (21,7° [6,90°; 31,90°]) у детей со спондилолистезом «high grade».

2. Сагиттальные параметры после оперативного лечения спондилолистеза у детей восстановлены не в полной мере: PT (21,4° [19,5°; 24,5°]), SS (45,6° [39,7°; 51,9°]), LL (38,2° [32,7°; 45,15°]), TK (31,0° [23,5°; 38,1°]). Тем не менее, по данным опросников у детей со спондилолистезом наблюдается улучшение качества жизни и снижение болевого синдрома уже через 3 месяца с момента операции: Ped`s QL (P < 000,2); ODI (P < 000,1); VAS (P < 000,1). В свою очередь, корреляций между основными параметрами сагиттального баланса (PI, PT, SS, LL, TK) и качеством жизни пациентов выявлено не было

3. Устранение локального пояснично-крестцового кифоза при оперативном лечении спондилолистеза у детей играет ключевую роль, так как при сравнении параметров локального пояснично-крестцового кифоза у детей со спондилолистезом до и после оперативного лечения (Dub.LSA, SA, LSJA) нами была получена статистически значимая корреляция (r = 0,57; p = 0,04) показателя LSJA и результатов оценки интенсивности болевого синдрома по VAS до оперативного лечения и статистически значимая отрицательная корреляция (r = -0,47; p = 0,04) показателя LSJA до операции и результатов опросника PED`s QL после оперативного лечения.

4. Предложенный алгоритм диагностики и оперативного лечения детей со спондилолистезом позволяет определить показания к конкретному виду оперативного вмешательства в зависимости от клинических проявлений и степени смещения L5 позвонка, тем самым улучшить результаты лечения и уменьшить процент осложнений и реопераций.

## Практические рекомендации

1. При оперативном лечении тяжелых степеней спондилолистеза (III, IV по Meyerding) у детей во всех случаях необходимо выполнять спондилодез 360°.

2. Ключевым моментом оперативного лечения тяжелых степеней спондилолистеза является редукция позвонка (полная или частичная) с целью устранения локального пояснично-крестцового кифоза, при этом позвоночно-тазовые параметры могут быть восстановлены не в полной мере.

3 При наличии неврологической симптоматики и/или синдрома пояснично-бедренной ригидности необходимо выполнять ревизию и декомпрессию невральных структур на уровне сместившегося позвонка независимо от степени смещения.

4. У пациентов с двусторонним спондилолизом и/или спондилолистезом I степени по Meyerding без клинических и рентгенологических признаков стеноза позвоночного канала на данном уровне, целесообразно выполнение оперативного вмешательства с применением аддитивных технологий (фиксация зоны спондилолиза индивидуальной пластиной, выполненной на основании КТ поясничного отдела позвоночника).

# СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ


1. Киселев, А. М. Транскорпоральный вентросакральный микроэндоскопический спондилодез пояснично-крестцового отдела позвоночника при спондилолистезе / А. М. Киселев, А. А. Киселев, П. В. Кротенков // Альманах клинической медицины. – 2011. – № 24. – С. 8–13.
2. Бурцев, А. В. Клинические аспекты сагиттального баланса у взрослых / А. В. Бурцев, С. О. Рябых, А. О. Котельников, А. В. Губин. – DOI 10.18019/1028-4427-2017-23-2-228-235 // Гений ортопедии. – 2017. – Т. 23, № 2. – С. 228–235.
3. Виссарионов, С. В. Хирургическое лечение спондилолистеза L5 позвонка у детей. Возможности заднего доступа / С. В. Виссарионов, В. В. Мурашко, С. М. Белянчиков [и др.] // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. – 2014. – № 3.
4. Доценко, В. В. Спондилолистез: передние малотравматичные операции / В. В. Доценко, И. Шевелев. Н., Н. В. Загородний [и др.] // Хирургия позвоночника. – 2004. – № 1. – С. 47–54.
5. Миронов, С. П. Оперативное лечение спондилолистеза позвонка L5 с применением транспедикулярных фиксаторов / С. П. Миронов, С. Т. Ветрилэ, М. С. Ветрилэ, А. А. Кулешов // Хирургия позвоночника. – 2004. – №1.
6. Митбрейт, И. Спондилолистез / И. Митбрейт. – М., 1978.
7. Михайловский, М. В. Этапы развития вертебральной хирургии: исторический экскурс / М. В. Михайловский // Хирургия позвоночника. – 2004. – № 1. – С. 10–24.
8. Сюндюков, А. Р. Малоинвазивная реконструкция дуги позвонка при лечении спондилолистеза у детей и подростков / А. Р. Сюндюков, Н. С. Николаев, В. А. Кузьмина [и др.] // Соврем. технол. мед. – 2021. – № 5.
9. Травматология и ортопедия. Руководство для врачей : 3 томах / под ред. Шапошников Ю. Г. – М. : Медицина, 1997.

10. Abelin-Genevois, K. Sagittal balance of the spine / K. Abelin-Genevois. – DOI 10.1016/j.otsr.2020.102769. – PMID: 33321235 // Orthop. Traumatol. Surg. Res. – 2021 Feb. – № 107 (1S). – P. 102769.
11. Alves, A. High-grade L5-S1 spondylolisthesis with lumbosacral kyphosis: Long-term results of non-instrumented circumferential arthrodesis in children, adolescents / A. Alves, T. Langlais, T. Odent [et al.]. – DOI 10.1016/j.otsr.2021.103093. – PMID: 34601157 // Orthop Traumatol Surg Res. – 2022 Oct. – № 6 (108). – P. 103093.
12. Van Royen, B. J. Accuracy of the sagittal vertical axis in a standing lateral radiograph as a measurement of balance in spinal deformities / B. J. Van Royen, H. M. Toussaint, I. Kingma [et al.] // Eur. Spine J. – 1998. – № 7. – P. 408–412.
13. Benchikh, A. Center of Gravity and Radiographic Posture Analysis: A Preliminary Review of Adult Volunteers and Adult Patients Affected by Scoliosis / A. Benchikh, E. Fegoun, F. Schwab [et al.] // Spine. – 2005. – Vol. 30, № 13. – P. 1535–1540.
14. Berthonnaud, E. Analysis of the Sagittal Balance of the Spine and Pelvis Using Shape and Orientation Parameters / E. Berthonnaud, J. Dimnet, P. Roussouly, H. Labelle // J. Spinal Disord. Tech. – 2005. – Vol. 18, № 1.
15. Boachie-Adjei, O. Partial Lumbosacral Kyphosis Reduction, Decompression, and Posterior Lumbosacral Transfixation in High-Grade Isthmic Spondylolisthesis Clinical and Radiographic Results in Six Patients / O. Boachie-Adjei, T. Do, B. A. Rawlins. – DOI 10.1097/00007632-200203150-00019. – PMID: 11884921 // Spine (Phila Pa 1976). – 2002 Mar 15. – № 6 (27). – P. E161–168.
16. Bourassa-Moreau, É. Expectations for Postoperative Improvement in Health-Related Quality of Life in Young Patients With Lumbosacral Spondylolisthesis: A Prospective Cohort Study / É. Bourassa-Moreau, H., Labelle S. Parent [et al.] – DOI 10.1097/BRS.0000000000002788. – PMID: 30005048 // Spine (Phila Pa 1976). – 2019 Feb 1. – № 3 (44). – P. E181–E186.

17. Boxall, D. Management of severe spondylolisthesis in children and adolescents / D. Boxall, D. S. Bradford, R. B. Winter, J. H. Moe // J. Bone Joint Surg. Am. 1979. – № 61. – P. 479–495.
18. Fredrickson, B. E. The Natural History of Spondylolysis and Spondylolisthesis / B. E. Fredrickson, D. Baker. // Syracuse (New-York). 1984. – Vol. 66-a, no.5.
19. Cil, A. The Evolution of Sagittal Segmental Alignment of the Spine During Childhood / A. Cil, M. Yazici, A. Uzumcugil [et al.]. – PMID: 15626988 // Spine (Phila Pa 1976). – 2005 Jan 1. – № 1 (30). – P. 93–100.
20. Curylo, L. J. Radiographic Markers in Spondyloptosis Implications for Spondylolisthesis Progression / L. J. Curylo, C. Edwards, R. W. Dewald // Spine (Phila Pa 1976). – 2002. – Vol. 18 (27). – P. 2021–2025.
21. Deckey, D. G. Surgical Treatment of Developmental Spondylolisthesis: Contemporary Series With a Two-Surgeon Team / D. G. Deckey, L. A. Kalish, D. Hedequist [et al.]. – DOI 10.1016/j.jspd.2018.08.004. – PMID: 30660222 // Spine Deform. – 2019 Mar. – № 2 (7). – P. 275–-285.
22. Dubousset, J. Treatment of Spondylolysis and Spondylolisthesis in Children and Adolescents / J. Dubousset // Clinical orthopaedics and related research Number. – Lippincott-Raven Publishers, 1997. – Vol. 337.
23. Duval-Beaupère, G. A barycentremetric study of the sagittal shape of spine and pelvis: The conditions required for an economic standing position / G. Duval-Beaupère, C. Schmidt, P. Cosson // Ann. Biomed. Eng. [Internet]. – 1992. – № 4 (20). – P. 451–462.
24. Ebraheim, N. Spondylolysis and spondylolisthesis: A review of the literature / N. Ebraheim, H. Elgafy, P. Gagnet [et al.] // Journal of Orthopaedics. – Reed Elsevier India Pvt. Ltd., 2018. – Vol. 15. – P. 404–407.
25. Gaines. R. W. L5 Vertebrectomy for the Surgical Treatment of Spondyloptosis Thirty Cases in 25 years / R. W Gaines – DOI 10.1097/01.brs.0000155577. 19606.df. – PMID: 15767889 // Spine (Phila Pa 1976). – 2005 Mar 15. – № 30 (6 Suppl). – P. S66–70.

26. Geiger, F. Spondylolisthese im Wachstumsalter = Spondylolisthesis in the growing spine / F. Geiger, A. Wirries. – DOI 10.1007/s00132-019-03742-5. – PMID: 31089776 // Orthopade. – 2019 Jun. – № 6 (48). – P. :494–502. German
27. Ghandhari, H. Assessment of normal sagittal alignment of the spine and pelvis in children and adolescents / H. Ghandhari, H. Hesarikia, E. Ameri, A. Noori // Biomed. Res. Int. – 2013. – № 2013.
28. Glavas, P. Assessment of lumbosacral kyphosis in spondylolisthesis: A computer-assisted reliability study of six measurement techniques / P. Glavas, J. M. Mac-Thiong, S. Parent [et al.] // European Spine Journal. – 2009 Feb. – № 2 (18). – P. 212–217.
29. Gutman, G. Normal sagittal parameters of global spinal balance in children and adolescents: a prospective study of 646 asymptomatic subjects / G. Gutman, H. Labelle, S. Barchi [et al.] // European Spine Journal. – 2016 Nov 1. – № 11 (25). – P. 3650–3657.
30. Hanson, D. S. Correlation of Pelvic Incidence With Low-and High-Grade Isthmic Spondylolisthesis / D. S. Hanson, K. H. Bridwell, J. M. Rhee, L. G. Lenke // Spine (Phila Pa 1976). – 2002. – Vol. 27 (27). – P. 2020–2029.
31. Hresko, M. T. Classification of High-Grade Spondylolistheses Based on Pelvic Version and Spine Balance Possible Rationale for Reduction / M. T. Hresko, H. Labelle, P. Roussouly, E. Berthonnaud // Spine. – 2007. – Vol. 32, № 20. – P. 2208–2213.
32. Hu, S. S. Spondylolisthesis and Spondylolysis / S. S. Hu, C. B. Tribus, M. Diab, A. J. Ghanayem // JBJS [Internet]. – 2008. – № 3 (90).
33. Kasliwal, M. K. Management of High-Grade Spondylolisthesis / M. K. Kasliwal, J. S. Smith, A. Kanter [et al.] // Neurosurgery Clinics of North America. – 2013. Vol. 24. – P. 275–291.
34. Kasliwal, M. K. Short-term complications associated with surgery for high-grade spondylolisthesis in adults and pediatric patients: A report from the scoliosis research society morbidity and mortality database / M. K. Kasliwal, J. S. Smith, C. I. Shaffrey [et al.] // Neurosurgery. – 2012 Jul. – № 1 (71). – P. 109–116.

35. Kayser, R. Tight hamstring syndrome and extra- or intraspinal diseases in childhood: A multicenter study / R. Kayser, K. Mahlfeld, C. E. Heyde [et al.] // European Spine Journal. – 2006. – Vol. 15. – P. 403–408.

36. Labelle, H. Spino-pelvic sagittal balance of spondylolisthesis: a review and classification / H. Labelle, J. M. Mac-Thiong, P. Roussouly // European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society. – 2011. – Vol. 20, Suppl 5. – P. 641–646.

37. Labelle, H. Spondylolisthesis, Pelvic Incidence, and Spinopelvic Balance A Correlation Study / H. Labelle, P. Roussouly, E. Ric Berthonnaud [et al.] // Spine. – 2004. – Vol. 29, Number 18. – P. 2049 –2054.

38. Lafage, V. Pelvic Tilt and Truncal Inclination Two Key Radiographic Parameters in the Setting of Adults With Spinal Deformity / V. Lafage, F. Schwab, A. Patel, [et al.] // Spine. – 2009. – Vol. 17. – P. E599–606.

39. Lakshmanan, P. Transsacral screw fixation for high-grade spondylolisthesis / P. Lakshmanan, S. Ahuja, M. Lewis [et al.]. // Spine. – 2009 Dec. – № 9 (12). – P. 1024–1029.

40. Le Huec, J. C. Thoracolumbar imbalance analysis for osteotomy planification using a new method: FBI technique / J. C. Le Huec, P. Leijssen, M. Duarte, S. Aunoble // Eur. Spine J. – 2011. – № 20. Suppl 5. – P. 669–680.

41. Le Huec, J. C. Sagittal balance of the spine / J. C. Le Huec, W. Thompson, Y. Mohsinaly [et al.] // European Spine Journal. – Springer Verlag, 2019. – Vol. 28. – P. 1889–1905.

42. Lee, C. S. Analysis of Sagittal Spinal Alignment in 181 Asymptomatic Children / C. S. Lee, H. Noh, D. H. Lee [et al.]. – DOI 10.1097/BSD.0b013e318261f346. – PMID: 22688614 // J. Spinal. Disord. Tech. – 2012 Dec. – № 8 (25). – P. E259–263.

43. Legaye, J. Pelvic incidence: a fundamental pelvic parameter for three-dimensional regulation of spinal sagittal curves / J. Legaye, G. Duval-Beaupère, J. Hecquet [et al.] // Eur. Spine J. – 1998. – Vol. 7.

44. Lemoine, T. The prevalence of lumbar spondylolysis in young children: a retrospective analysis using CT / T. Lemoine, J. Fournier, T. Odent [et al.]. – DOI 10.1007/s00586-017-5339-5. – PMID: 29030702 // Eur. Spine J. – 2018 May. – № 5 (27). – P. 1067–1072.

45. Li, Z. H. Comparison of sagittal plane morphology of spine and pelvis in adolescents with $L_5S_1$ developmental spondylolisthesis and isthmic spondylolisthesis / Z. H. Li, X. Chen, X. Sun [et al.]. – DOI 10.3969/j.issn.1003-0034.2019.03.008. – PMID: 30922005 // Zhongguo Gu Shang. – 2019 Mar 25. – № 3 (32). – P. 234–238. Chinese.

46. Libson, E. Symptomatic and Asymptomatic Spondylolysis and Spondylolisthesis in Young Adults / E. Libson, R. A. Bloom, G. Dinari // International Orthopaedics (SICOT). – 1982. – Vol. 6.

47. Lonstein, J. E. Spondylolisthesis in Children Cause, Natural History, and Management / J. E. Lonstein. – DOI 10.1097/00007632-199912150-00011. – PMID: 10635527 // Spine (Phila Pa 1976). – 1999 Dec 15. – № 24 (24). – P. 2640–2648.

48. Bernhardt, M. Segmental analysis of the sagittal plane alignment of the normal thoracic and lumbar spines and thoracolumbar junction / M. Bernhardt, K. H. Bridwell // Spine J. – 1989. – Vol. 14.

49. Ma, Z. Modified Lumbosacral Angle and Modified Pelvic Incidence as New Parameters for Management of Pediatric High-grade Spondylolisthesis / Z. Ma, C. Zhao, K. Zhang [et al.]. – DOI 10.1097/BSD.0000000000000595. – PMID: 29112006 // Clin. Spine Surg. – 2018 Mar. – № 2 (31). – P. E133–E139.

50. Macagno, A. E. "Reverse Bohlman" technique for the treatment of high grade spondylolisthesis in an adult population / A. E. Macagno, S. Hasan, C. M. Jalai [et al.] – DOI 10.1016/j.jor.2015.12.004. – PMID: 26955227. – PMCID: PMC4761627 // J. Orthop. – 2016 Jan 22. – № 1 (13). – P. 1–9.

51. Mac-Thiong, J. M. Criteria for surgical reduction in high-grade lumbosacral spondylolisthesis based on quality of life measures / J. M. Mac-Thiong, M. T. Hresko, A. Alzakri [et al.]. – DOI 10.1007/s00586-019-05954-x. – PMID: 30915579 // Eur. Spine J. – 2019 Sep. – № 9 (28). – P. 2060–2069.

52. Mac-Thiong, J. M. Sagittal spinopelvic balance in normal children and adolescents /, J. M. Mac-Thiong, H. Labelle, E. Berthonnaud [et al.] // European Spine Journal. – 2007 Feb. – № 2 (16). – P. 227–234.

53. Mac-Thiong, J. M. A proposal for a surgical classification of pediatric lumbosacral spondylolisthesis based on current literature / J. M. Mac-Thiong, H. Labelle // European Spine Journal. – 2006. – Vol. 15. – P. 1425–1435.

54. Mac-Thiong, J. M. The importance of proximal femoral angle on sagittal balance and quality of life in children and adolescents with high-grade lumbosacral spondylolisthesis / J. M. Mac-Thiong, S. Parent, J. Joncas [et al.] // European Spine Journal. – 2018 Aug 1. – № 8 (27). – P. 2038–2043.

55. Mac-Thiong, J. M. Sagittal Alignment of the Spine and Pelvis During Growth / J. M. Mac-Thiong, E. Ric Berthonnaud, J. R. Dimar Ii [et al.] // Spine. – 2004. – Vol. 29, № 15. – P. 1642–1647.

56. Mac-Thiong, J. M. Sagittal Parameters of Global Spinal Balance Normative Values From a Prospective Cohort of Seven Hundred Nine Caucasian Asymptomatic Adults / J. M. Mac-Thiong, P. Roussouly, Berthonnaud ric, P. Guigui // Spine. – 2010. – Vol. 35, Number 22. – P. E1193–E1198.

57. Molinari, R. W. Anterior column support in surgery for high-grade, isthmic spondylolisthesis / R. W. Molinari, K. H. Bridwell, L. G. Lenke, C. Baldus // Clinical orthopaedics and related research. – 2002. – № 394. – P. 109–120.

58. Marchetti, P. G. Spondylolisthesis: classification and etiopathogenesis / P. G. Marchetti, P. Bartolozzi. – Italian Scoliosis Research Group, 1986.

59. Martikos, K. High grade isthmic spondylolisthesis; can reduction always re-align the unbalanced pelvis? / K. Martikos, T. Greggi, C. Faldini. – DOI 10.1186/s12891-019-2865-9. – PMID: 31664969. – MCID: PMC6820946 // BMC Musculoskelet Disord. – 2019 Oct 29. – № 1 (20). – P. 499.

60. Marty, C. The sagittal anatomy of the sacrum among young adults, infants, and spondylolisthesis patients / C. Marty, B. Boisaubert, H. Descamps [et al.] // European Spine Journal. – 2002. – № 2 (11). – P. 119–125.

61. Meyerding H. Spondylolisthesis / H. Meyerding // Surg. Gynecol. Obstet. – 1932. – № 54. – P. 371–377.

62. Mohile, N. V. Spondylolysis and Isthmic Spondylolisthesis: A Guide to Diagnosis and Management / N. V. Mohile, A. S. Kuczmarski, D. Lee [et al.]. – DOI 10.3122/jabfm.2022.220130R1. – PMID: 36526328 // J. Am. Board Fam. Med. – 2022 Dec 23. – № 6 (35). – P. 1204–1216.

63. Boos, N. Treatment of severe spondylolisthesis by reduction and pedicular fixation / N. Boos, D. Marchessi, K. Zuber, M. Aebi // Spine. – 1993. – Vol. 18. – P. 1655–1661.

64. Nahle, I. S. The impact of surgical reduction of high-grade lumbosacral spondylolisthesis on proximal femoral angle and quality of life. / I. S. Nahle, H. Labelle, S. Parent [et al.] – DOI 10.1016/j.spinee.2018.10.001. – PMID: 30296577 // Spine J. – 2019 Apr. – № 4 (19). – P. 670–676.

65. Pawar, A. The evaluation of lumbosacral dysplasia in young patients with lumbosacral spondylolisthesis: Omparison with controls and relationship with the severity of slip / A. Pawar, H. Labelle, J. M. Mac-Thiong // European. Spine Journal. – 2012 Nov. – № 11 (21). – P. 2122–2127.

66. Protopsaltis, T. 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 / T. Protopsaltis, F. Schwab, N. Bronsard [et al.] // Journal of Bone and Joint Surgery – American Volume. – 2014 Oct 1. – № 19 (96). – P. 1631–1640.

67. Gaines, R. W. Treatment of spondyloptosis by two stage L5 vertebrectomy and reduction of L4 onto S1 / R. W. Gaines, W. Kirt Nichols. // Spine. – 1985. – Vol. 10, N. 7.

68. Rajnics, P. The Association of Sagittal Spinal and Pelvic Parameters in Asymptomatic Persons and Patients with Isthmic Spondylolisthesis / P. Rajnics, A. Templier, W. Skalli [et al.]. – DOI 10.1097/00024720-200202000-00004. – PMID: 11891447 // Spinal Disord. Tech. – 2002 Feb. – № 1 (15). – P. 24–30.

69. Roussouly, P. The Vertical Projection of the Sum of the Ground Reactive Forces of a Standing Patient Is Not the Same as the C7 Plumb Line A Radiographic Study of the Sagittal Alignment of 153 Asymptomatic Volunteers / P. Roussouly, S. Gollogly, O. Noseda [et al.] – DOI 10.1097/01.brs.0000218263.58642.ff. – PMID: 16688022 // Spine. – 2006 May 15. – № 11 (311). – P. E320–325.

70. Schwab, F. Gravity Line Analysis in Adult Volunteers Age-Related Correlation With Spinal Parameters, Pelvic Parameters, and Foot Position / F. Schwab, V. Lafage, R. Boyce [et al.] // SPINE. – 2006. – Vol. 31, Number 25. – P. E959–E967.

71. Hu, S. S. Reduction of high grade spondylolisthesis using Edwards instrumentations / S. S. Hu, D. S. Bradford, E. E. Transfeldt, M. Cohen // Spine. – 1996. – Vol. 21. – P. 367–371.

72. Sevastikoglou, J. A. Operative Treatment of Spondylolisthesis in Children and Adolescents with Tight Hamstrings Syndrome / J. A. Sevastikoglou, E. Spangfort, D. S. Aaro – PMID: 7371294 // Clin. Orthop. Relat. Res. – 1980 Mar-Apr. – № 147. – P. 192–199.

73. Smith, J. A. Clinical Outcome of Trans-Sacral Interbody Fusion After Partial Reduction for High-Grade L5-S1 Spondylolisthesis / J. A. Smith, V. Deviren, S. Berven [et al.]. – DOI 10.1097/00007632-200110150-00014. – PMID: 11598513 // Spine (Phila Pa 1976). – 2001 Oct 15. – № 20 (26). – P. 2227–2234.

74. Speck, G. R. Spondylolisthesis: the angle of kyphosis / G. R. Speck, I. W. McCall, J. P. O'Brien // Spine (Phila Pa 1976). – 1984 Sep. – № 6. – P. 659–660.

75. Studnicka, K. Lumbosacral Spondylolisthesis. – 2022 Sep 4 / K. Studnicka, G. Ampat. – PMID: 32809514 // StatPearls [Internet]. – Treasure Island (FL): StatPearls Publishing, 2023 Jan.

76. Tanguay, F. Clinical significance of lumbosacral kyphosis in adolescent spondylolisthesis / F. Tanguay, H. Labelle, Z. Wang [et al.] // Spine (Phila Pa 1976). – 2012 Feb 15. – № 4 (37). – P. 304–308.

77. Vaz, G. Sagittal morphology and equilibrium of pelvis and spine / G. Vaz, P. Roussouly, E. Berthonnaud, J. Dimnet // European Spine Journal. – 2002. – № 1 (11). – P. 80–87.

78. Violas, P. L5S1 spondylolisthesis in children and adolescents / P. Violas, G. Lucas // Orthopaedics and Traumatology: Surgery and Research. – Elsevier Masson SAS, – 2016. – Vol. 102. – P. S141–147.

79. Virkki, E. N. Health-Related Quality of Life Outcomes of Instrumented Circumferential Spinal Fusion for Pediatric Spondylolisthesis: A Comparison With Age and Sex Matched Healthy Controls / E. N. Virkki, H. Oksanen, E. Diarbakerli [et al.]. – DOI 10.1097/BRS.0000000000003681. – PMID: 32925683 // Spine (Phila Pa 1976). – 2020 Dec 1. – № 23 (45). – P. E1572–E1579.

80. Weinstein, S. L. The pediatric spine: principles and practice / S. L. Weinstein. – Lippincott Williams & Wilkins, 2001.

81. Whitesides, T. E. Spondylolytic Spondylolisthesis A Study of Pelvic and Lumbosacral Parameters of Possible Etiologic Effect in Two Genetically and Geographically Distinct Groups With High Occurrence / T. E. Whitesides, W. C. Horton, W. C. Hutton, L. Hodges // Spine. – 2005. – Vol. 30, Number 6S. – P. S12–S21.

82. Wiltse, L. L. Classification of Spondyloisis and Spondylolisthesis / L. L. Wiltse // Clinical Orthopaedics and Related Research. – 1976 Jun. – № 117. – P. 23–29.

83. Wynne-Davies, R. Inheritance and spondylolisthesis a radiographic family survey / R. Wynne-Davies, J. H. S. Scott, R. Wynne-davies, J. H. S. Scotf // J. Bone Joint Surg. Br. – 1979 August 1. – Vol. 61-B, No. 3.

84. Tokuhashi, Y. Repair of defects in spondylolysis by segmental pedicular screw hook fixation. A preliminary report / Y Tokuhashi, H Matsuzaki // Spine. – 1976 Sep 1. – № 5(2041). – P. 17–21.

85. Yang, C. Lumbar lordosis minus thoracic kyphosis / C. Yang, M. Yang, X. Wei, [et al.] // Spine (Phila Pa 1976). – 2016 Mar 1. – № 5 (41). – P. 399–403.

86. Zhou, X. Y. Assessment of sagittal spinopelvic balance in a population of normal chinese children / X. Y. Zhou, J. Zhao, B. Li [et al.] / // Spine (Phila Pa 1976). – 2020 Jul 1. – № 13 (45). – P. E787–791.