

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР  
ДЕТСКОЙ ТРАВМАТОЛОГИИ И ОРТОПЕДИИ ИМЕНИ Г.И. ТУРНЕРА»  
МИНИСТЕРСТВА ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

На правах рукописи

МУСТАФАЕВА

Алина Романовна

ХИРУРГИЧЕСКАЯ КОРРЕКЦИЯ СГИБАТЕЛЬНОЙ КОНТРАКТУРЫ  
КОЛЕННОГО СУСТАВА У ДЕТЕЙ С ЦЕРЕБРАЛЬНЫМ ПАРАЛИЧОМ

3.1.8. Травматология и ортопедия

Диссертация на соискание учёной степени

кандидата медицинских наук

Научный руководитель:  
доктор медицинских наук профессор  
член-корреспондент РАН  
Виссарионов Сергей Валентинович

Санкт-Петербург

2026

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	5
ГЛАВА 1 .....	15
СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ СГИБАТЕЛЬНОЙ КОНТРАКТУРЫ КОЛЕННОГО СУСТАВА У ДЕТЕЙ С ЦЕРЕБРАЛЬНЫМ ПАРАЛИЧОМ .....	15
1.1 Детский церебральный паралич: определение, эпидемиология и принципы классификации .....	15
1.2 Роль коленного сустава в формировании ортопедической патологии при ДЦП.....	16
1.3 Патогенез и классификация СККС при ДЦП .....	17
1.4 Походка «srouch»: патомеханика и клиническое значение при ДЦП .....	19
1.5 Взаимосвязь СККС и сагиттальных позвоночно-тазовых соотношений ..	21
1.6 Методы консервативного лечения и профилактики СККС .....	22
1.7 Нейрохирургические методы коррекции спастичности в лечении СККС ..	24
1.8 Ортопедо-хирургические методы коррекции СККС .....	26
1.9 Влияние методов хирургической коррекции СККС на сагиттальный баланс.....	38
ГЛАВА 2 .....	44
МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ.....	44
2.1 Дизайн диссертационного исследования.....	44
2.2. Характеристика пациентов в исследуемых группах. ....	49
2.3 Характеристика основных методов обследования.....	53
2.3.1 Клиническое обследование .....	53
2.3.2 Рентгенологическое обследование.....	57
2.3.3 Нейрофизиологическое обследование.....	61
2.3.4 Статистический анализ.....	64
ГЛАВА 3 .....	66
РЕЗУЛЬТАТЫ ОБСЛЕДОВАНИЯ ПАЦИЕНТОВ СО СГИБАТЕЛЬНОЙ КОНТРАКТУРОЙ КОЛЕННОГО СУСТАВА ПРИ ДЕТСКОМ ЦЕРЕБРАЛЬНОМ ПАРАЛИЧЕ .....	66
3.1 Результаты клинического обследования .....	66
3.2 Методологическое примечание: рентгенологический стандарт Pelvic tilt.....	74

3.3 Результаты рентгенологического обследования .....	75
3.4. Результаты анализа клинико-рентгенологических методов обследования ...	78
3.4.1 Результаты анализа параметров в первой группе.....	78
3.4.2. Результаты анализа параметров в подгруппе 2А .....	80
3.4.3 Результаты анализа параметров в подгруппе 2Б .....	82
3.5 Результаты нейрофизиологического обследования.....	83
3.6 Резюме .....	88
<b>ГЛАВА 4 .....</b>	<b>90</b>
<b>ОСОБЕННОСТИ ХИРУРГИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ И ПОСЛЕОПЕРАЦИОННОГО ВЕДЕНИЯ ПАЦИЕНТОВ СО СГИБАТЕЛЬНОЙ КОНТРАКТУРОЙ КОЛЕННОГО СУСТАВА ПРИ ДЕТСКОМ ЦЕРЕБРАЛЬНОМ ПАРАЛИЧЕ.....</b>	<b>90</b>
4.1 Особенности техники хирургических вмешательств в исследуемых группах и послеоперационного ведения.....	90
4.1.1 Удлинение сгибателей голени .....	91
4.1.2 Корректирующая надмышцелковая остеотомия бедренной кости .....	94
4.2 Особенности хирургического лечения пациентов первой группы.....	100
4.3 Особенности хирургического лечения пациентов основной группы.....	103
4.3.1 Особенности хирургического лечения пациентов подгруппы 2А .....	103
4.3.2 Особенности хирургического лечения пациентов подгруппы 2Б .....	106
<b>ГЛАВА 5 .....</b>	<b>110</b>
<b>СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ХИРУРГИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ.....</b>	<b>110</b>
5.1 Сравнительные результаты клинического обследования пациентов после проведенного хирургического лечения.....	110
5.1.1 Анализ динамики болевого синдрома после операции и его влияние на реабилитацию .....	110
5.1.2 Оценка уровня качества жизни по опроснику PedsQL .....	113
5.1.3 Анализ динамики амплитуды сгибания в коленном суставе .....	114
5.2 Сравнительный внутригрупповой анализ клинико-рентгенологических показателей у пациентов 1 группы .....	116
5.3 Сравнительный внутригрупповой анализ клинико-рентгенологических показателей у пациентов подгруппы 2А.....	118
5.4 Сравнительный внутригрупповой анализ клинико-рентгенологических показателей у пациентов подгруппы 2Б .....	121
5.5 Сравнительный межгрупповой анализ клинико-рентгенологических показателей у пациентов подгруппы 2А и 2Б.....	123

5.6 Сравнительный межгрупповой анализ клинико-рентгенологических показателей после операции у пациентов 1 группы и подгруппы 2А .....	126
5.7 Анализ эффективности хирургических методов коррекции СККС в зависимости от исходного сагиттального баланса туловища .....	129
5.7.1 Анализ возрастной динамики сагиттального профиля таза .....	132
5.8 Анализ осложнений и неблагоприятных исходов хирургического лечения у пациентов с ДЦП со СККС.....	135
5.9 Анализ динамики нейрофизиологического обследования у пациентов с ДЦП со СККС.....	137
5.10 Алгоритм выбора хирургического лечения детей со СККС при ДЦП.....	142
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	146
ВЫВОДЫ.....	154
ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ .....	156
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	158
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	159

## ВВЕДЕНИЕ

### Актуальность темы работы

Детский церебральный паралич (ДЦП) занимает ведущее место в структуре детской инвалидности. Распространенность данного заболевания, по данным разных авторов, составляет от 1,5 до 4 случаев на 1000 новорожденных [17, 114]. С возрастом у пациентов с ДЦП прогрессируют нарушения опорно-двигательного аппарата, что приводит к стойким контрактурам и тяжелым деформациям в нижних конечностях. Среди патологических изменений в нижних конечностях частота встречаемости сгибательных контрактур в коленных суставах (СККС) у детей с ДЦП составляет 50% [7, 143]. Важную роль в формировании СККС играет спастичность, вызывающая дисбаланс между группами мышц сгибателей и разгибателей, что приводит к нарушению биомеханики [35, 51].

Коленный сустав — это важный биомеханический компонент для осуществления движения, который одновременно оказывается под воздействием со стороны смежных суставов (тазобедренного и голеностопного суставов). В связи с этим необходимо уделять особое внимание изучению функции коленного сустава в комплексе всего опорно-двигательного аппарата, так как изолированная оценка имеет ограниченную клиническую и научную ценность.

Широкое распространение в медицинской литературе получил термин «crouch» (от англ. «crouch» — припадать к земле, приседать), который характеризуется ходьбой со сгибанием в тазобедренных и коленных суставах, тыльным сгибанием в голеностопных суставах. Данный паттерн является биомеханически нефизиологичным и функционально невыгодным: у детей с ДЦП в таком положении прогрессивно нарушаются параметры ходьбы, что приводит к потере двигательных навыков, формированию фиксированных контрактур и прогрессированию деформаций нижних конечностей [15, 26, 40].

Таким образом, СККС является ключевым звеном формирования патологического двигательного стереотипа и постуральных нарушений у пациентов с ДЦП.

В положении «стоя» СККС запускает компенсаторную реакцию опорно-двигательного аппарата: происходит сгибание в тазобедренных суставах, уменьшается поясничный лордоз и увеличивается грудной кифоз. В положении «сидя» сгибание в коленных суставах приводит к ослаблению натяжения мышц задней поверхности бедра, что оказывает обратный эффект на сагиттальный профиль позвоночника: происходит наклон таза кпереди, что усиливает поясничный лордоз и снижает выраженность грудного кифоза [22, 170]. Следовательно, существует очевидная взаимосвязь между контрактурой коленного сустава, положением таза и сагиттальным профилем позвоночного столба.

Любое нарушение сагиттального профиля пациента затрудняет удержание вертикальной позы и снижает двигательные возможности ребенка [25]. Поэтому очевидно, что СККС оказывает отрицательное влияние на положение позвоночника, и резко нарушает сагиттальный баланс [22, 168]. Таким образом, изучение влияния СККС на параметры позвоночно-тазовых соотношений в сагиттальной плоскости представляет собой актуальную научно-практическую задачу. Особую значимость имеет определение механизмов адаптации позвоночника и таза в ответ на формирование СККС, поскольку данные изменения могут оказывать непосредственное влияние на биомеханику опорно-двигательного аппарата. Установление указанных закономерностей позволит прогнозировать отдалённые результаты хирургического лечения, направленного на повышение его эффективности и улучшение качества жизни пациентов с ДЦП.

#### Степень разработанности темы исследования

Вопрос оптимальной тактики хирургического лечения пациентов со СККС при ДЦП является одним из наиболее актуальных вопросов в современной нейроортопедии. Существующие методики можно условно разделить на две группы: это вмешательства на мягких тканях (удлинение сгибателей голени (УСГ)) и операции на костях (например, корригирующая разгибательная надмышцелковая остеотомия бедренной кости (КОБ)) [39, 93, 119, 123]. На данный момент не

существует единого мнения о показаниях к выполнению той или иной методики хирургической коррекции СККС [13, 123]. Несмотря на то, что УСГ и КОБ являются эффективными методами в устранении контрактуры, они характеризуются неоднозначным влиянием на сагиттальный баланс туловища. Анализ публикаций подтвердил противоречивость результатов. Большинство исследователей настаивают на том, что удлинение сгибателей голени провоцирует ятрогенное увеличение наклона таза кпереди, нарушая глобальный баланс туловища [48, 50, 61, 62, 68, 71, 120]. В противоположность этому мнению, ряд авторов не наблюдали данного осложнения после УСГ, либо считали его клинически незначимым [41, 90].

В связи с этим КОБ рассматривается рядом авторов как альтернативная методика лечения СККС, по их мнению, не ослабляющая мышцы задней поверхности бедра и не нарушающая сагиттальный баланс. Однако анализ литературы показал, что количество публикаций, оценивающих влияние КОБ на сагиттальный профиль, крайне невелико, а представленные данные противоречивы. В ряде работ описаны случаи развития переднего наклона таза и после данного вмешательства. Однако главным ограничением существующих исследований является то, что КОБ выполнялся в рамках одномоментных многоуровневых операций (SEMLS). Это не позволяло оценить его изолированный эффект на позвоночно-тазовые соотношения [98, 119, 123, 162, 167]. Кроме того, в литературе отсутствует единое мнение о выборе хирургической методики в зависимости от возраста пациента [169].

Таким образом, до настоящего времени в клинической практике не существует единого алгоритма хирургического лечения пациентов со СККС при ДЦП, не определена взаимосвязь методов коррекции с параметрами сагиттального баланса, а применяемые на сегодняшний день хирургические подходы к лечению данной категории пациентов не позволяют прогнозировать влияние выбранного метода коррекции на глобальный сагиттальный баланс пациента.

Данное научное и клиническое противоречие послужило основанием для определения цели и задач настоящего исследования.

Цель исследования — улучшить результаты хирургического лечения пациентов со сгибательной контрактурой коленного сустава при детском церебральном параличе путем выбора метода коррекции с учетом показателей позвоночно-тазовых соотношений.

#### Задачи исследования

1. Изучить показатели сагиттального профиля у детей со сгибательной контрактурой коленного сустава при ДЦП.
2. Провести анализ зависимости параметров сагиттального баланса от величины сгибательной контрактуры коленного сустава у пациентов с ДЦП.
3. Разработать новое фиксирующее устройство для хирургического лечения детей со сгибательной контрактурой коленного сустава при детском церебральном параличе.
4. Оценить эффективность методов хирургического лечения детей со сгибательной контрактурой коленного сустава при ДЦП с учетом показателей сагиттального профиля.
5. Разработать алгоритм лечения детей со сгибательной контрактурой коленного сустава при ДЦП.

#### Научная новизна исследования

1. Впервые доказано, что адаптация опорно-двигательного аппарата к СККС у детей с ДЦП носит эволюционный характер и формирует три последовательных биомеханических паттерна в зависимости от возраста: локальной адаптации (у пациентов младшего возраста), позвоночной декомпенсации и тазовой компенсации (у пациентов старшего возраста).
2. Впервые выявлена и научно обоснована возрастная граница «биомеханического перехода» (в возрасте 11–12 лет), когда происходит смена

физиологической ретроверзии таза на нейтральное или переднее положение, что является важным при выборе тактики хирургического лечения.

3. Впервые установлено и подтверждено, что методы хирургического лечения (удлинение сгибателей голени и корригирующая надмышцелковая остеотомия бедра) оказывают различное влияние на глобальный сагиттальный баланс в зависимости от исходного положения таза. Доказано, что удлинение сгибателей голени приводит к наклону таза кпереди: при исходной ретроверзии таза это обеспечивает восстановительный эффект, тогда как у пациентов с нейтральным положением или антеверзией приводит к дестабилизации и усугублению сагиттального дисбаланса. Впервые определено, что КОБ, в отличие от удлинения сгибателей голени, сохраняет исходную стабильность тазового комплекса и не сопровождается клинически значимыми патологическими изменениями позвоночно-тазовых взаимоотношений.

4. Разработано и внедрено в клиническую практику новое фиксирующее устройство – «Устройство для остеосинтеза бедренной кости после корригирующей надмышцелковой остеотомии» (Патент РФ на изобретение № 2810888С1 от 29.12.2023 г.), которое, за счет анатомически адаптированной формы и стяжного элемента для создания компрессии, обеспечивает высокую стабильность остеосинтеза в условиях сниженной костной плотности, что является достаточным для отказа от внешней иммобилизации.

5. Разработан научно-обоснованный алгоритм хирургического лечения пациентов со СККС при ДЦП, основанный на дифференцированном подходе к выбору метода коррекции с учетом возраста и параметров сагиттального профиля.

#### Теоретическая и практическая значимость работы

1. Установленный эволюционный характер адаптации опорно-двигательного аппарата к СККС позволяет учитывать индивидуальный биомеханический паттерн пациента при планировании хирургического лечения и

обосновывает необходимость дифференцированного подхода к выбору тактики коррекции.

2. Разработанный алгоритм выбора хирургического лечения (с учётом возраста, типа биомеханической компенсации и исходного положения таза) обеспечивает персонализированный подход и снижает риск формирования ятрогенных нарушений сагиттального баланса.

3. Применение удлинения сгибателей голени у пациентов младшего возраста (<12 лет) с локальным типом компенсации позволяет эффективно устранять СККС без нарушения сагиттального профиля туловища, что обусловлено высокой пластичностью скелета в данном возрастном периоде.

4. Дифференцированный выбор хирургической тактики у пациентов старшего возраста (>12 лет) в зависимости от исходного положения таза (ретроверзия, нейтральное положение или антеверзия) позволяет добиться восстановительного эффекта сагиттального профиля, либо сохранить сагиттальный баланс туловища.

5. Использование этапного хирургического лечения у пациентов старшего возраста с тяжёлыми СККС (>45°), при котором удлинение сгибателей голени выполняется первым этапом, а корригирующая разгибательная надмышцелковая остеотомия бедренной кости – вторым, обеспечивает оптимальные условия для коррекции деформации и способствует повышению эффективности лечения.

6. Применение разработанного фиксирующего устройства (Патент РФ на изобретение № 2810888С1 от 29.12.2023 г.) в условиях сниженной минеральной плотности костной ткани повышает стабильность остеосинтеза и снижает риск потери коррекции. Это позволяет сократить сроки восстановительного лечения, что способствует улучшению результатов хирургического лечения и повышению качества жизни пациентов с ДЦП.

## Методология и методы исследования

Дизайн исследования представлен моноцентровым когортным проспективным исследованием, основанным на анализе результатов хирургического лечения пациентов со сгибательной контрактурой коленного сустава (СККС) при детском церебральном параличе (ДЦП), проходивших лечение на базе ФГБУ «НМИЦ детской травматологии и ортопедии имени Г.И. Турнера» Минздрава России с 2022 по 2025 годы включительно. Исследование включало два этапа. В первой части работы выполнено сравнение влияния различных методов хирургического лечения СККС на позвоночно-тазовые соотношения у пациентов старшей возрастной группы. Во второй части проведено сравнение влияния возраста пациента на сагиттальный баланс туловища после выполнения идентичной хирургической коррекции СККС.

В исследование включено 89 детей с ДЦП с наличием СККС в возрасте от 4 до 17 лет. Пациенты были разделены на три группы в зависимости от возраста и метода хирургического лечения. В группе 1 исследования вошли 34 пациента (в возрасте от 4 до 11 лет), которым выполняли удлинение сгибателей голени. Группы 2А (30 пациентов) и 2Б (25 пациентов) составили дети старшего возраста (от 12 до 17 лет), которым выполняли удлинение сгибателей голени и корригирующую надмышцелковую остеотомию бедренной кости соответственно.

В качестве материалов исследования использовались данные клинических осмотров пациентов, сведения медицинской документации, а также результаты диагностических обследований и выполненных хирургических вмешательств. Всем пациентам, включённым в исследование, проводилось комплексное обследование, включавшее клинический осмотр, цифровую панорамную рентгенографию скелета в положении стоя в сагиттальной плоскости, рентгенографию коленных суставов в боковой проекции, а также нейрофизиологическое исследование методом поверхностной электромиографии. Полученные в ходе исследования данные подвергались статистической обработке

и анализу с применением методов описательной статистики, корреляционного и регрессионного анализа, а также методов сравнительного анализа.

Использование данных методов позволило установить взаимосвязь между методами хирургического лечения СККС и изменениями сагиттальных позвоночно-тазовых соотношений у пациентов с ДЦП. На основании оценки полученных результатов был разработан алгоритм хирургического лечения детей со СККС при ДЦП.

#### Основные положения, выносимые на защиту

1. Адаптация опорно-двигательного аппарата к СККС у детей с ДЦП носит эволюционный характер и формирует три последовательных биомеханических паттерна в зависимости от возраста. Возраст 11–12 лет является зоной «биомеханического перехода», когда локальный характер компенсации и ретроверзия таза (у пациентов младшего возраста) сменяются изменениями позвоночно-тазового комплекса и формированием нейтрального или переднего положения таза (у пациентов старшего возраста).

2. Хирургические методы лечения СККС (удлинение сгибателей голени и корригирующая надмышцелковая остеотомия бедра) оказывают различное влияние на глобальный сагиттальный баланс. Удлинение сгибателей голени приводит к наклону таза кпереди, что при исходной ретроверзии таза обеспечивает восстановительный эффект, но вызывает дестабилизацию при нейтральном положении или антеверзии. КОБ, в отличие от удлинения сгибателей голени, сохраняет исходный сагиттальный профиль пациента.

3. Разработанный дифференцированный алгоритм хирургического лечения пациентов со СККС при ДЦП, основанный на учете возраста и параметров сагиттального профиля, позволил выбрать индивидуализированную оптимальную тактику лечения с сохранением глобального сагиттального баланса.

## Степень достоверности и апробация результатов исследования

Достоверность полученных результатов обеспечивалась достаточным объёмом наблюдений, соблюдением принципов научной методологии и использованием современных методов статистической обработки данных.

Основные положения и результаты диссертационного исследования доложены на: Всероссийской конференции молодых ученых «Вреденовские игры» (г. Санкт-Петербург, 2024); Ежегодной научно-практической конференции, посвященной актуальным вопросам травматологии и ортопедии детского возраста «Турнеровские чтения» (г. Санкт-Петербург, 2024, 2025); Научно-практической конференции «Аспирантские чтения», посвященной 45-летию кафедры травматологии-ортопедии и смежных дисциплин (г. Курган, 2024); VIII Национальном Междисциплинарном Конгрессе с международным участием "Физическая и реабилитационная медицина в педиатрии: традиции и инновации" (г. Москва, 2025); XV Научно-практической конференции с международным участием «Детская медицина – 12 шагов в будущее» (г. Москва, 2025).

По теме диссертационного исследования опубликовано 13 печатных работ, в том числе 7 статей в научных журналах, входящих в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК РФ, получен патент РФ на изобретение «Устройство для остеосинтеза бедренной кости после корригирующей надмышцелковой остеотомии» № 2810888С1 от 29.12.2023 г.

Результаты диссертационного исследования внедрены в практическую деятельность клиники детского церебрального паралича ФГБУ «НМИЦ детской травматологии и ортопедии имени Г.И. Турнера» Минздрава России. Кроме того, полученные материалы используются в образовательном процессе кафедры детской травматологии и ортопедии ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный университет имени И.И. Мечникова» Минздрава России при подготовке ординаторов и аспирантов по специальности «Травматология и ортопедия».

## Личное участие автора в получении результатов

Автором выполнен анализ отечественных и зарубежных научных публикаций, посвящённых исследуемой проблеме. При участии научного руководителя определены цель и задачи исследования, а также сформулированы положения, выносимые на защиту. Автор самостоятельно разработал дизайн исследования и методический подход к выполнению диссертационной работы. Проведён отбор и сбор клинического материала, выполнен анализ лучевых данных, сформирована электронная база данных. Автором осуществлена статистическая обработка полученных результатов и их научная интерпретация. Диссертант принимал непосредственное участие в подготовке и написании научных публикаций по теме исследования, а также участвовал в хирургическом лечении и клиническом наблюдении пациентов, включённых в исследование.

## Объем и структура работы

Материалы диссертации представлены на 180 страницах. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, выводов, практических рекомендаций, списка сокращений и списка литературы. Основное содержание работы изложено на 156 страницах машинописного текста, иллюстрировано 20 таблицами и 36 рисунками. Библиографический список включает 186 источников литературы – 26 отечественных и 160 иностранных.

## ГЛАВА 1

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ СГИБАТЕЛЬНОЙ КОНТРАКТУРЫ  
КОЛЕННОГО СУСТАВА У ДЕТЕЙ С ЦЕРЕБРАЛЬНЫМ ПАРАЛИЧОМ1.1 Детский церебральный паралич: определение, эпидемиология и принципы  
классификации

Детский церебральный паралич (ДЦП) — группа стабильных нарушений развития моторики и поддержания позы, ведущих к двигательным дефектам, обусловленным непрогрессирующим повреждением или аномалией развивающегося головного мозга у плода или новорожденного [2, 81]. Распространенность данного заболевания по различным данным составляет от 1,5 до 4 случаев на 1000 новорожденных [17, 114]. Основной причиной формирования ДЦП является повреждение головного мозга во внутриутробном развитии, что впоследствии приводит к патологическому мышечному тону при сохранении позотонических рефлексов. В то же время публикации последних лет свидетельствуют о взаимосвязи развития ДЦП с изменениями в генах [64, 183]. Наиболее распространенной формой заболевания, отмеченной у 87,5% больных, является спастическая диплегия, которая характеризуется симметричной двусторонней формой поражения с преобладанием повышенного мышечного тонуса (спастичности) [2].

Для объективизации степени двигательных нарушений при ДЦП в клинической практике и научных исследованиях общепринятым стандартом является система классификации больших моторных функций (Gross Motor Function Classification System - GMFCS), предложенная R. Palisano (1997) [128]. Данная шкала предполагает разделение пациентов на пять уровней двигательной активности в зависимости от их функциональных возможностей и потребностей в технических средствах передвижения, что имеет определяющее значение для выбора оптимального алгоритма комплексного лечения и прогнозирования результатов хирургической коррекции.

У людей с ДЦП двигательные нарушения, прежде всего, связаны с поражением центральной нервной системы, которые проявляются мышечной спастичностью, слабостью, нарушением координации движений туловища и потерей избирательного двигательного контроля. По мере нормального созревания нервной системы развивается возможность координировать точные движения и балансировать вокруг общего центра масс тела (ОЦМ). У больных же ДЦП неспособность контролировать смещение ОЦМ приводит к некоординированному сидению и ходьбе [27, 170].

С возрастом у пациентов с ДЦП появляются и прогрессируют вторичные ортопедические осложнения. Это приводит к развитию стойких контрактур и деформаций позвоночника, верхних и нижних конечностей, что уменьшает двигательные возможности пациентов.

## 1.2 Роль коленного сустава в формировании ортопедической патологии при ДЦП

У пациентов с ДЦП превалируют ортопедические осложнения нижних конечностей. Из них контрактуры и деформации коленного сустава занимают 2–3 место среди всех нарушений опорно-двигательного аппарата после тазобедренного сустава (25–75%) и стопы (до 93% случаев) [10, 21, 160].

Коленный сустав (КС) — это двухосный сустав, за осуществление движений в котором отвечает сложная система мышц. В нем осуществляются следующие движения: сгибание и разгибание и ротация (при сгибании сустава). Практически все мышцы, осуществляющие эти движения, являются двусуставными, поэтому имеется прямая связь движений КС с движениями смежных тазобедренного и голеностопного. Для спастических форм характерны патологические синергии мышц сгибателей и разгибателей, что объясняет нарушение цикла походки у пациентов с ДЦП [56]. Одной из таких синергий, согласно D.D. Thelen с соавторами (2003), является разгибание КС посредством натяжения четырёхглавой мышцы, провоцируемое разгибанием тазобедренного сустава [174]. В то же время ослабление трицепса голени, чаще вызванное его хирургическим избыточным

удлинением в процессе коррекции эквинуса, может способствовать походке со сгибанием в голеностопном, коленном и тазобедренном суставах (походка «srouch»). Эти двигательные паттерны сопровождаются нарушением сагиттального баланса тела, что, в свою очередь, усугубляет имеющиеся контрактуры.

При наличии сгибательной контрактуры коленного сустава (СККС) весь цикл ходьбы будет нарушен. Контрагированные сгибатели голени, являющиеся одновременно разгибателями бедра, ограничивают сгибание, и соответственно вынос бедра при шаге с его укорочением. Невозможность полного разгибания колена в периоде опоры (stance) увеличивает нагрузку на четырёхглавую мышцу, что приводит к постепенному её перерастяжению, а в некоторых случаях развитию фрагментации надколенника. Длительное избыточное напряжение спастичных мышц, возникающее в процессе поддержания и самопроизвольной коррекции сагиттального баланса, сопровождается увеличением энергозатрат организма. Прогрессирование контрактуры при этом отрицательно сказывается на функции передвижения и в ряде случаев может приводить к её снижению либо утрате [136].

Стоит отметить, что тяжесть СККС коррелирует с двигательным уровнем по шкале GMFCS [127]. Кроме того, для объективной оценки многофакторного влияния СККС на состояние пациентов в международной клинической практике используется валидированный опросник Pediatric Quality of Life Inventory (PedsQL) с модулем, адаптированным для детей с ДЦП [109]. Этот инструмент позволяет количественно измерить воздействие вторичных ортопедических осложнений на эмоциональное, социальное и образовательное функционирование ребенка.

Исходя из вышперечисленного, необходимо уделять особое внимание изучению функции КС в комплексе всего опорно-двигательного аппарата, так как изолированная оценка не несет клинической и научной ценности.

### 1.3 Патогенез и классификация СККС при ДЦП

Частота встречаемости СККС среди данной категории пациентов составляет около 47–53% [7, 143]. В литературе описано несколько классификаций СККС по

степени тяжести [3, 116, 165]. При этом не предложено клиническое обоснование, что делает её субъективной и индивидуальной для каждого автора.

При нейро-ортопедических вторичных осложнениях принято дифференцировать СККС на первичную (тоническую), которая устраняется при пассивном разгибании колена, и вторичную (фиксированную), которая пассивно не устраняется. У данной группы пациентов при наличии длительно существующей СККС происходит постепенное перерастяжение разгибательного аппарата, что в дальнейшем приводит к его слабости и дефициту активного разгибания сустава.

Существует множество теорий формирования контрактур при ДЦП, однако во всех случаях их результатом является изменение морфологической структуры и, как следствие, функциональных свойств спастических мышц [11]. В период новорождённости мышечный тонус у детей со спастическими формами ДЦП остаётся близким к норме, однако с возрастом он нарастает, и примерно к четырём годам формируется выраженная спастичность [118]. Повышенный тонус мышц сгибателей голени выявляется как ключевой фактор развития СККС [11]. Гипертонус приводит к нарушению кровоснабжения мышечной ткани, способствуя её постепенному структурному перерождению, характеризующемуся фиброзными изменениями и нарушением свойств эластомеров [16, 103].

Несмотря на то, что основной причиной формирования контрактуры считается спастичность, бытует мнение, что снижение повышенного мышечного тонуса не предотвращает развитие контрактуры [172]. Ряд публикаций описывает, что формирование контрактур закладывается еще на генном уровне. Об этом свидетельствует первичное удлинение саркомеров в укороченных мышцах, уменьшение площади поперечного сечения мышечных волокон, а также биохимические нарушения, такие как увеличение синтеза коллагена, экспрессии внеклеточного матрикса и снижение метаболизма активности убиквитинлигазы [103, 159, 164]. Это приводит не только к увеличению жёсткости мышцы, но и к снижению её силы [121, 176]. Тем не менее, учитывая полиэтиологический характер формирования контрактуры у пациентов со спастическими формами

ДЦП, в клинической практике неврологи и ортопеды больше ориентируются на спастичность как её причину.

Одна из наиболее популярных теорий формирования СККС, предложенная A.L. Hof (2001), свидетельствует о несоответствии темпов роста спастичных мышц и смежных костных сегментов [82]. Клинически это проявляется в виде сгибания в КС за счёт укорочения мышц-сгибателей голени и головки икроножной мышцы. При длительно существующей контрактуре контрагируется капсула сустава, а затем деформируются и его костные элементы.

Важную роль в формировании СККС играет не только спастичность, но и дисбаланс между группами мышц сгибателей и разгибателей, что приводит к нарушению биомеханики сустава [35, 51]. Слабость четырёхглавой мышцы и трицепса голени влияет на формирование сгибательной контрактуры в колене, поскольку они способствуют разгибанию КС [72, 122].

Необходимо отметить, что СККС может развиваться в качестве компенсаторной реакции при других длительно существующих ортопедических деформациях, таких как внутренняя торсионная деформация бедренной кости, наружная торсионная деформация костей голени, эквинусная контрактура голеностопного сустава и тяжёлая плоско-вальгусная деформация стоп [23, 26, 143].

#### 1.4 Походка «srouch»: патомеханика и клиническое значение при ДЦП

Широкое распространение в медицинской литературе получил термин «srouch»-походка (от англ. «srouch» — припадать к земле, приседать), который характеризуется ходьбой со сгибанием в тазобедренных и коленных суставах, тыльным сгибанием в голеностопных суставах. В рамках классификации походки и поструральных паттернов у пациентов с ДЦП I–III уровня по GMFCS при спастической диплегии данный вариант походки соответствует IV типу по J.M. Rodda и H.K. Graham (2004) [8, 147].

С позиции биомеханики данный паттерн походки является функционально невыгодным и энергозатратным [15, 40]. Основной причиной его формирования считается чрезмерное удлинение ахиллова сухожилия в процессе хирургического вмешательства, после чего возникающее ослабление трехглавой мышцы голени приводит к наклону голени кпереди при ходьбе со сгибанием КС [33, 137]. Прогрессирование такого энергетически невыгодного положения ведёт к спастичности четырёхглавой мышцы бедра, что обуславливает сгибание в тазобедренных суставах и, следовательно, наклон туловища вперёд для удержания ОЦМ тела [146, 148].

Несмотря на то, что наибольшую клиническую заметность приобрела ятрогенная причина развития походки crouch, необходимо выделить и естественный механизм её формирования [146]. По мере роста ребёнка и увеличения массы его тела при существующей СККС и эквинусной контрактуре голеностопного сустава становится труднее сохранять вертикальное положение тела. За счёт эквино-плано-вальгусной деформации формируется псевдоизбыточная тыльная флексия стопы, и запускается механизм развития crouch-походки, как при переудлинении ахиллова сухожилия.

Естественный и ятрогенный механизмы формирования crouch-походки приводят к торсионным дисфункциям нижних конечностей, наиболее частыми из которых являются внутренняя ротационная контрактура тазобедренного сустава и наружная торсионная деформация костей голени. Смещение при этом ОЦМ кзади усиливает сгибание коленного и тазобедренного суставов [56].

Стоит отметить, что сгибатели голени при СККС реже укорочены, чем сгибатели бедра при сгибательной контрактуре тазобедренного сустава [35, 83, 155]. При длительно существующей crouch-походке происходит перенапряжение четырёхглавой мышцы, приводящее к её слабости и смещению надколенника кверху (*patella alta*), а также в 21% случаев к болевому синдрому [135]. Последний, скорее всего, связан с развитием артроза пателло-фemorального сустава, иногда с отрывом нижнего полюса надколенника, и приводит к потере навыков ходьбы [135, 142].

Широко применяющаяся в настоящее время для субъективной оценки интенсивности болевого синдрома шкала Kujala (Kujala Anterior Knee Pain Scale) не адаптирована для неврологических пациентов, однако в рамках данной работы может быть использована с определёнными ограничениями [14].

### 1.5 Взаимосвязь СККС и сагиттальных позвоночно-тазовых соотношений

Анализ опубликованных научных данных указывает на наличие взаимосвязи между СККС и параметрами сагиттальных позвоночно-тазовых соотношений [22, 141, 170]. Она реализуется за счёт двусуставных мышц, сгибающих КС, которые также осуществляют разгибание в тазобедренном суставе, а их укорочение приводит к сближению точек прикрепления. В таком случае, на фоне укорочения этих двусуставных мышц разгибание в КС приводит к наклону таза назад, что сглаживает поясничный лордоз и компенсаторно увеличивает грудной кифоз. Сагиттальный баланс туловища у пациентов со СККС при ДЦП в положении сидя также нарушается, за счёт укорочения мышц сгибающих голень. На фоне укорочения мышц задней поверхности бедра и слабости мышц спины ребенку с ДЦП значительно сложнее сидеть при попытке разгибания в КС. Очень часто именно по этой причине они не могут сохранять положение «сидя» с разгибанием в КС, но при этом уверенно сидят с согнутыми ногами. В такой ситуации происходит ослабление тяги мышц задней поверхности бедра за счёт сгибания в КС, что приводит к переднему наклону таза, увеличению поясничного лордоза и уменьшению грудного кифоза [141]. Все эти биомеханические изменения сагиттального профиля носят компенсаторный характер и направлены на поддержание баланса ОЦМ в функционально выгодных пределах. Дальнейшему прогрессированию сагиттальных деформаций позвоночника способствуют преимущественно сидячий образ жизни и формирующиеся стойкие СККС.

Однако в научной литературе отсутствует однозначное мнение о взаимосвязи сагиттального профиля пациента со СККС. Часть авторов (Wolf S.I. et al., 2014; D.

Kiernan et al., 2019) такой взаимосвязи не обнаруживает, тогда как другие (L. Abbasi et al., 2018; A. Szopa et al., 2020) отмечают её наличие [27, 96, 170, 181].

Стоит отметить, что в публикации Новикова В. А. с соавторами (2023) была выявлена значимая статистическая взаимосвязь между СККС и позвоночно-тазовыми соотношениями, однако только у пациентов с ДЦП III двигательного уровня по GMFCS, у которых на результаты исследования могло оказать влияние применение средств опоры в момент проведения обследования [18].

Несмотря на то, что частота встречаемости деформаций позвоночника в сагиттальной плоскости намного ниже, чем во фронтальной, нельзя недооценивать их отрицательное влияние на состояние ребенка с ДЦП. Любое нарушение сагиттального профиля позвоночника может затруднять удержание вертикальной позы, тем самым снижая двигательные возможности пациента [25, 168].

Анализ научной литературы свидетельствует о небольшом количестве работ, посвященных анализу влияния СККС на параметры сагиттального баланса. Большинство публикаций преимущественно акцентируют внимание на изменениях положения таза, при этом не затрагивают вышележащие отделы позвоночника. Существующий дефицит данных не позволяет сформировать целостное представление о биомеханических паттернах и поструральных перестройках, возникающих или отсутствующих в ответ на формирование СККС. Остаются недостаточно исследованными вопросы влияния СККС на сагиттальный баланс с учетом двигательного уровня пациента по шкале GMFCS, а также эффективности различных методов хирургической коррекции. Эти вопросы остаются актуальными и требуют дальнейшего изучения.

## 1.6 Методы консервативного лечения и профилактики СККС

Одним из ключевых факторов формирования контрактур у пациентов с ДЦП является повышение мышечного тонуса верхних и нижних конечностей. Тонус начинает проявляться как один из первых неврологических симптомов и может нарастать в первые годы жизни, поэтому уже с раннего возраста ребёнка начинают

применять консервативные методы профилактики и лечения: укладки, растяжки, ботулинотерапию, коррекцию в гипсовой повязке, специальные приёмы ЛФК и массажа, ортезирование, а также лечение, направленное на снижение тонуса, в том числе нейрохирургические операции.

Высокая спастичность является основой формирования контрактур при ДЦП. Важным консервативным способом коррекции СККС является введение в мышцы сгибатели голени препарата ботулотоксина типа А. Он разрешён к применению с возраста 2 лет и может оказывать клинический эффект в течение 4–6 месяцев, с постепенным снижением его выраженности к 3-4-му введению [60]. Вмешательство предпочтительно проводить под наркозом с применением ультразвуковой навигации. Могут наблюдаться осложнения ботулинотерапии в виде гриппоподобного состояния, рвоты, диареи, которые проходят самостоятельно. Снижение уровня локальной спастичности может коррегировать тоническую контрактуру, улучшить баланс туловища при вертикализации, облегчить гигиенический уход за пациентом и, в результате, улучшить качество его жизни [107, 109].

Для поддержания результата ботулинотерапии и предотвращения образования фиксированных контрактур ежедневно проводят занятия ЛФК и физиотерапию с акцентом на растяжение мышц, а также ортопедические укладки в тугоре или с применением динамических грузов [20, 116, 180]. Согласно концепции F. Miller (2005), уменьшение степени выраженности контрактур и снижение мышечного тонуса сгибателей голени достигаются за счёт длительного пассивного растяжения и разработки амплитуды движений в суставах, включённых в повседневную двигательную активность пациента [116]. В то же время современные исследования подчёркивают, что формирование клинически значимого и стойкого эффекта возможно лишь при регулярном выполнении упражнений на растяжение в рамках курсовой реабилитации продолжительностью не менее 8–12 недель [100]. В свою очередь, применение этапных гипсовых коррекций, которое позволяет отстрочить хирургическое вмешательство у пациентов младшего возраста, а также служит способом предоперационной подготовки при тяжёлых контрактурах (более 30°)

[123]. Перечисленные выше методы консервативного лечения оказывают положительное воздействие на сохранение и улучшение амплитуды движений в КС у пациентов с ДЦП.

Одним из медикаментозных способов коррекции тонуса у пациентов с ДЦП является применение пероральных миорелаксантов, однако отсутствие селективности их действия значительно ограничивает возможность их использования при лечении локальных контрактур [60].

В настоящее время значительное место при лечении генерализованной спастичности занимает интраканальное введение баклофена посредством сочленённой с аккумулятором имплантируемой помпы. Доставка препарата непосредственно к ЦНС позволяет существенно снизить его дозу для получения терапевтического эффекта. Однако отсутствие селективного воздействия, так же как при приёме пероральных миорелаксантов, ограничивает возможность их применения при лечении локальных контрактур. Недостатками метода являются также необходимость регулярной дозаправки помпы и замены аккумулятора, неисправность элементов системы, а также сложность подбора дозировки и опасность развития «синдрома отмены препарата». Общее количество осложнений при применении данной методики достигает 30% [117]. Тем не менее, большинство авторов констатировали снижение спастичности при применении данного метода, а некоторые указывали на минимальный клинический эффект [32, 70, 85]. При неэффективности данных методов лечения рекомендовано проведение нейрохирургических операций.

### 1.7 Нейрохирургические методы коррекции спастичности в лечении СККС

Пациенты со спастическими формами ДЦП, при отсутствии эффекта от ботулинотерапии в анамнезе, могут нуждаться в проведении нейрохирургического тонуспонижающего лечения. Данный вид лечения позволяет, в зависимости от клинической необходимости, провести коррекцию тонуса всех нижних конечностей или отдельных их сегментов.

С целью снижения очаговой спастичности широко применяется селективная невротомия двигательных ветвей, которая включает частичное расщепление моторных ветвей, иннервирующих мышцы с избыточным тонусом, на коллатерали, их электромиографический мониторинг и, по его результатам, пересечение гиперактивных пучков [74]. Следующим шагом в этом направлении стала разработка метода «гиперселективной невротомии» на уровне входа нерва в мышцу, что максимально приближает место денервации к объекту воздействия при минимальной вероятности осложнений [101]. Для устранения гипертонуса мышц сгибателей голени с целью коррекции СККС необходимо вмешательство на ветвях седалищного нерва. До проведения оперативного вмешательства для моделирования его результата выполняют диагностическую блокаду нерва, которая позволяет дифференцировать тоническую контрактуру от фиксированной [43, 157]. С этой же целью применяют и обследование под наркозом [53, 115].

В медицинской литературе достаточно скудно описан такой метод лечения, как селективная невротомия седалищного нерва. С одной стороны, Abdennebi и Bougatene (1996) сообщили о положительном опыте лечения СККС методом селективной невротомии ветвей седалищного нерва у 15 пациентов, а Descq с соавторами (1996) достигли аналогичного результата при лечении 11 пациентов с контрактурой 20°. Авторы отметили при этом также улучшение разгибания КС [28, 59]. Sitthinamsuwan с соавторами (2012) приводят данные не только о положительном влиянии невротомии на коррекцию контрактур за счёт снижения спастичности мышц сгибателей голени, но и об улучшении бытовых функций у пациента, таких как облегчение сидения при передвижении в инвалидном кресле [158]. С другой стороны, этот метод лечения в настоящее время практически не используется ввиду технических сложностей и связанных с ними возможных осложнений, таких как чрезмерная мышечная слабость, сенсорные нарушения и невропатическая боль.

Еще одним нейрохирургическим тонуспонижающим методом, широко применяемым в настоящее время у пациентов с ДЦП, является дорсальная селективная ризотомия на поясничном уровне. Селективная дорсальная ризотомия

(СДР) является общепризнанным стандартом нейрохирургической коррекции спастического синдрома при ДЦП [65]. СДР – это нейрохирургическая операция, которая заключается в ограничении афферентного потока сегментарных тонических рефлексов вследствие пересечения части волокон чувствительных корешков спинного мозга [133]. Для коррекции спастичности мышц нижних конечностей вмешательство выполняют на корешках пояснично-крестцового отдела [75]. Большинство авторов отметили увеличение амплитуды движений в КС после СДР, что сопровождалось увеличением мышечной силы и произвольного контроля двигательного сегмента конечности [23, 111, 132, 145]. Однако эффективность операции у разных авторов различалась. Так, В. В. Умнов (2013) в своем исследовании описал результаты выполнения СДР с двух сторон на уровне дорзальных корешков L1-S2. Всего из 65 исследованных КС с помощью ризотомии контрактуру удалось уменьшить в младшей возрастной группе в 50% случаев, а в старшей — в 46%, что говорит о невысоком влиянии данного метода лечения на амплитуду движений в изучаемом суставе вне зависимости от возраста пациента [23].

Стоит отметить исследование T.S. Park (2019), в котором автор указывает, что после СДР в сроки от 2,2 до 28,3 лет в 17% случаев двигательный уровень больных ухудшился, в 30% - улучшился, в 53% - не изменился [132].

Несмотря на доказанную клиническую результативность СДР в отношении снижения спастичности, в настоящее время метод не рассматривается как эффективный инструмент коррекции СККС.

## 1.8 Ортопедо-хирургические методы коррекции СККС

При отсутствии эффективности на фоне длительного консервативного лечения первичные тонические контрактуры переходят во вторичные фиксированные, что может рассматриваться как показание к ортопедо-хирургическому лечению.

В литературе описано множество вариантов хирургического лечения сгибательных контрактур КС, каждый из данных методов имеет свои плюсы и

минусы. Наиболее широко в литературе представлены такие методы лечения, как: временный гемиепифизеодез дистальной зоны роста бедренной кости, коррекция контрактуры с помощью компрессионно-дистракционного аппарата, удлинение или пересадка мышц сгибателей голени, корригирующие разгибательные надмышечковые остеотомии бедренной кости, задний релиз КС.

*Временный гемиепифизеодез дистальной зоны роста бедренной кости (ВГЭ)* — данный вид хирургического лечения относится к широкой группе операций, называемых «методикой управления ростом». Впервые данный метод описал W.P. Blount в 1949 году, применив его для коррекции осевых костных деформаций нижних конечностей, однако из-за большого количества осложнений методика Blount не применялась в клинической практике [44]. В настоящее время методика управления ростом популярна и активно применяется при разновеликости нижних и верхних конечностей, вальгусных и варусных деформациях суставов, СККС. При устранении СККС происходит постановка винтов/пластин в области передней порции дистальной зоны роста бедренной кости, осуществляется временное блокирование зон роста в области установленных металлоконструкций, а за счет продолжающегося роста по задней поверхности бедренной кости, осуществляется коррекция. Впервые подобный метод с использованием скоб описали A. Kramer и P.M. Stevens в 2001 году. В статье описаны результаты лечения 28 пациентов с СККС, из которых 11 были детьми с ДЦП. Авторы отметили уменьшение СККС с 10-25° до 0-11° уже через 18 месяцев после операции у 26 пациентов [99].

Более долгосрочные наблюдения были опубликованы A.S. Spiro с соавторами в 2012 году. В статье описаны результаты лечения 20 пациентов со СККС, из которых 7 больных были с ДЦП. За период наблюдения, составивший 35,3 месяца, исследователи определили величину уменьшения СККС с 21,4° до 7° [163].

В публикации N. Stiel с соавторами (2018) было проведено сравнительное исследование, показавшее, что в группе пациентов с ДЦП средняя коррекция составила с 21° до 11°, а у пациентов с последствиями спинномозговой грыжи - с 20° до 7° [166]. В исследовании М.О. Волковой (2021) также указано на

положительный результат лечения 18 больных с коррекцией контрактуры в среднем с 22° до -4° за 16 месяцев [5].

По данным литературы, авторы, применяющие данный вид ортопедо-хирургического лечения, описывают следующий ряд возможных осложнений: реактивный синовит КС, раневую инфекцию, феномен «рикошета», когда после удаления металлоконструкции происходит увеличение скорости роста зоны, на которую приходилась нагрузка, миграцию и расшатывание винтов и пластин, стресс-перелом мыщелка бедренной кости [31, 84, 97, 166].

ВГЭ как способ коррекции СККС имеет ряд важных преимуществ - малоинвазивность метода, отсутствие иммобилизации в послеоперационном периоде, возможность ранней вертикализации и продолжения базовой реабилитации, которые несомненно являются важными для данной группы пациентов. Однако данный метод лечения направлен на устранение, прежде всего, костной деформации и не оказывает влияния на мягкотканый компонент, который при СККС в рамках ДЦП играет первоочередную роль. К тому же ВГЭ обеспечивает медленную коррекцию (от 6–42 месяцев в зависимости от величины контрактуры и темпов роста ребенка), и за данный промежуток времени у пациента с ДЦП могут сформироваться контрактуры в смежных суставах, что потребует тяжёлой многоуровневой хирургической коррекции [89].

В дополнение хочется отметить, что основным противопоказанием к методике управляемого роста является зрелость костного скелета, а для достижения минимального положительного результата от операции необходимо минимум 12 месяцев прогнозируемого роста ребёнка.

Все вышесказанное даёт нам возможность сделать следующие выводы: у пациентов младшей возрастной группы СККС носит исключительно мягкотканый характер за счёт укорочения мышц, отвечающих за сгибание в КС, поэтому этиопатогенетически более оправдана коррекция контрактуры за счёт операций на мягких тканях, тогда как у пациентов старшей возрастной группы костные изменения (сгибательная деформация дистального отдела бедренной кости) формируются уже на фоне завершения созревания костного скелета и применение

временного гемиепифизеоза становится неэффективным. Несмотря на эффективность применения ВГЭ в качестве коррекции осевых деформаций у пациентов с другими нозологическими формами, его применение в рамках лечения пациентов с ДЦП признается неоправданным.

Проводя литературный поиск, нам удалось выявить ряд публикаций, в которых сообщается о применении *аппарата внешней фиксации* в качестве способа устранения СККС, однако в контексте лечения пациентов с ДЦП такие публикации носят единичный характер.

Компрессионно-дистракционный аппарат Илизарова и шарнирно-дистракционный аппарат Волкова-Оганесяна начали применяться в качестве способов коррекции СККС у пациентов с ДЦП во второй половине XX века. В 1984 г. в работе Х.А. Умханова методы аппаратной коррекции СККС были обоснованы как высокоэффективные, что послужило основой для становления комплексного ортопедо-хирургического подхода в лечении пациентов с ДЦП [24].

J.P. Damsin и I. Ghanem в 1996 году опубликовали результаты лечения СККС с применением шарнирно-дистракционного аппарата Илизарова, на основании которых сделали вывод, что данный метод позволяет коррегировать даже тяжёлую сгибательную контрактуру, но несмотря на столь положительный эффект лечения, авторы указывают на ряд осложнений: перелом дистального отдела бедренной кости, перелом проксимального отдела большеберцовой кости и тракционную невропатию общего малоберцового нерва [54].

Китайские исследователи W. Hu и соавторы (2008) также опубликовали результаты своей работы, основанной на коррекции контрактуры с помощью аппарата Илизарова. Было отмечено улучшение у 21 пациента из 25 на фоне коррекции СККС с  $80,61 \pm 25,51^\circ$  до  $8,91 \pm 2,39^\circ$  [86].

Несмотря на положительные результаты, в настоящее время данный метод в изолированном варианте почти не используется в связи с возможностью достижения такого же результата более простыми, менее травматичными и с меньшим риском осложнений способами. В частности, один из них описан В.В. Умновым (2013) и включает комбинацию гипсовой повязки с встроенным в неё

дистракционным устройством для постепенной дозированной коррекции. Автор применяет эту методику с положительным результатом при контрактуре более 30° [23].

*Сухожильно-мышечная пластика сгибателей голени*

В рамках лечения СККС при ДЦП удлинение сгибателей голени (УСГ) рассматривается как эффективное хирургическое вмешательство у пациентов младшей и старшей возрастных групп.

Чаще всего применяется открытое Z-образное либо перкутанное УСГ (полусухожильной, полуперепончатой, двуглавой и, в ряде случаев, тонкой мышц) в их дистальной части. Вместе с тем в медицинской литературе существует ряд публикаций, сообщающих о вмешательствах на проксимальном отделе этих мышц. В частности, Т. Damron с соавторами (1991) сообщили о применении комбинированного способа удлинения хамстрингов на проксимальном (полуперепончатая мышца) и дистальном (полусухожильная, двуглавая мышцы) уровнях, что позволило достичь коррекции СККС с 13° до 4° [53]. Тем не менее, ряд публикаций указывает на то, что удлинение мышц участвующих в сгибании КС на проксимальном уровне приводит к усилению поясничного лордоза [141].

В последние годы набирает популярность малоинвазивное перкутанное УСГ. Показаниями к чрескожному удлинению мышц являются: наличие небольшой СККС (до 10°) либо отсутствие фиксированной контрактуры при наличии ограниченного подколенного угла менее 130° (подколенный угол (ПУ) позволяет оценить степень вовлечения мышц задней поверхности бедра в формирование СККС), который необходим пациентам с ДЦП для полного замыкания КС в фазе шага.

Применение УСГ закрытым способом рекомендуется ограничивать преимущественно медиальной группой мышц. Данная тактика обусловлена высоким риском смещения сосудисто-нервного пучка, особенно характерным для тяжёлых СККС. В частности, исследование Т. Ariyawatkul с соавторами (2022) продемонстрировало, что у 15,6% пациентов общий малоберцовый нерв располагался на поверхности дистальной части сухожилия двуглавой мышцы

бедр. Такая анатомическая особенность создаёт высокую вероятность повреждения нерва при попытке транскутанного пересечения сухожилия. Вследствие этого авторы рекомендуют выполнять удлинение двуглавой мышцы бедра открытым способом или под контролем УЗИ навигации [34].

Анализ литературы позволяет выделить ряд публикаций, посвящённых данной методике. Так, Т. Mansour с соавторами (2010) в своем исследовании провели транскутанное миофасциальное УСГ у пациентов со СККС до  $10^\circ$  и отметили увеличение ПУ с  $128^\circ$  до  $140^\circ$  [110].

В исследовании J. Khaje Mozafari с соавторами (2019) выявили увеличение ПУ у 25 пациентов с  $116,2 \pm 2,7^\circ$  до  $150,5 \pm 2,3^\circ$  [95]. Аналогичные результаты были получены в работах А.В. Gordon (2008) и А. Nazareth (2019) [71, 120].

В дальнейшем J.T. Long с соавторами (2020) дополнили методику этапными коррекциями контрактур в гипсовых повязках, что позволило уменьшить величину СККС с  $12,3^\circ$  до  $4,0^\circ$ , а также снизить дефицит активного разгибания КС в фазе опоры с  $31,2^\circ$  до  $16,4^\circ$  [105].

Авторы считают, что чрескожное УСГ позволяет максимально сохранить их мышечную силу и сократить сроки послеоперационной реабилитации по сравнению с «открытыми» методиками [77, 175]. Однако, несмотря на это, применение данного метода эффективно лишь при незначительных контрактурах и невыраженном слое подкожно-жировой клетчатки [110]. Стоит также отметить, что при рецидиве контрактуры и повторных операциях, ввиду изменений анатомии подколенной области, увеличивается риск повреждения малоберцового нерва, в связи с чем в подобных случаях предпочтительно выполнение открытого вмешательства.

Открытый способ УСГ является классическим хирургическим методом и заключается в выполнении Z-образного удлинения или же полного пересечения сухожильной части мышц сгибателей голени [94]. Данный метод применяется как при минимальных, так и при тяжёлых СККС [110, 182].

В рамках Дельфийского консенсуса 2022 года эксперты единогласно определили показания к УСГ: наличие фиксированной СККС от  $10^\circ$  и величину ПУ

менее  $120^\circ$ , при этом возрастные ограничения установлены не были [93]. Однако стоит отметить, что в более раннем исследовании McCarthy с соавторами (2020) оптимальным возрастом для выполнения вмешательства считался порог до 10 лет [113]. При выполнении УСГ у пациентов младшего возраста (до 5 лет), как и при коррекции других контрактур, отмечается высокий риск рекурвации и рецидива СККС [62].

В исследовании W.N. Chang с соавторами (2004) удлинение медиальной и латеральной частей сгибателей голени было выполнено у 60 пациентов со спастической диплегией, что сопровождалось увеличением ПУ с  $128^\circ$  до  $137^\circ$  и уменьшением сгибательной контрактуры с  $8,9^\circ$  до  $4,6^\circ$  [48]. Аналогичные результаты получены S.A. Lovejoy с соавторами (2007) [106].

При дальнейшем изучении влияния этого метода лечения, T. Dreher с соавторами (2012) продемонстрировали увеличение разгибания в КС в положении стоя на  $17^\circ$  при удлинении медиальной части и на  $28^\circ$  при комбинированном удлинении подколенных сухожилий. Авторы отмечают, что комбинированное УСГ является более эффективным и характеризуется меньшим риском рецидивов при длительном наблюдении по сравнению с изолированным удлинением медиальной части [62]. В то же время H. Haberfehlner с соавторами (2018) и Ş. Bekmez с соавторами (2021) в своих публикациях сообщают о хороших результатах после удлинения только медиальной группы мышц сгибателей голени [39, 76].

A. Nazareth с соавторами (2019) отметили, что после открытого УСГ контрактура в положении стоя уменьшилась на  $11,2^\circ$  в фазе первоначального контакта (initial contact) и на  $6,7^\circ$  в периоде опоры (stance) [120].

Открытый метод УСГ является более безопасным по сравнению с чрескожным и, по данным T. Mansour с соавторами (2017), более эффективным, поскольку оказывает положительное влияние на ПУ [110]. В упомянутых выше публикациях применяют классическую Z-пластику сгибателей голени, однако встречаются единичные сообщения о выполнении полного пересечения (тенотомии) сухожильной части. Так, Z. Vozinovski с соавторами (2014) отметили увеличение ПУ на  $45^\circ$  у самостоятельно ходячих пациентов и на  $55^\circ$  — у детей, не способных

к самостоятельному передвижению [47]. Н. White с соавторами (2019) выявили лучшие результаты у пациентов женского пола (величина коррекции контрактуры -  $19,3^\circ$ ) по сравнению с мужским ( $15,6^\circ$ ) [178].

Общий анализ литературы показывает, что в мировой практике чаще выполняется удлинение медиальной группы мышц сгибателей голени, при этом латеральную часть (сухожилие двуглавой мышцы) оставляют интактной из-за риска развития возможных осложнений: рекурвации в КС и наклона таза кпереди [61, 94].

Эксперты, участвовавшие в Дельфийском консенсусе в 2022 году, рекомендовали у пациентов с ДЦП уровня GMFCS I–II выполнять удлинение только медиальной порции сухожилий, а при уровне GMFCS III–V - комбинированное удлинение сухожильно-мышечной части сгибателей голени [93].

Следует отметить, что существует ряд публикаций, описывающих долгосрочные результаты наблюдений за пациентами после УСГ и указывающих на формирование наружной торсионной деформации костей голени. Это было выявлено как при комбинированном (A. Marron et. al., 2020), так и при изолированном медиальном УСГ (L. Bezuidenhout et. al., 2023) [41, 112]. Всё же следует отметить ограниченное количество работ, посвящённых дифференцированным показаниям к УСГ, в связи с чем данный вопрос требует уточнения.

Вместе с тем следует подчеркнуть, что с помощью только УСГ одномоментно возможно устранение СККС не более чем на  $10^\circ$  во избежание осложнений в виде тракционных невропатий [23]. Поэтому в послеоперационном периоде данное хирургическое вмешательство дополняется этапными гипсовыми коррекциями для устранения остаточной СККС, что позволяет достичь полного разгибания в КС [12, 23, 105]. Для поддержания достигнутого эффекта рекомендуется использование укладок в тьюрах при максимальном разгибании КС [152].

Одним из наиболее часто описываемых осложнений после УСГ является невропатия малоберцового нерва различной степени тяжести [30]. Кроме того, вследствие нарушения мышечного баланса после операции может развиваться ограничение сгибания КС при ходьбе (stiff knee), либо рекурвация КС [9, 94].

Считается, что формированию последней в качестве компенсаторной реакции может способствовать наличие эквинусной контрактуры [48].

Встречается мнение, что удлинение подколенных сухожилий приводит к их ослаблению [52, 94]. Однако D.L. Damiano с соавторами (1999) в своём исследовании показали, что сила мышц-сгибателей КС первоначально после их удлинения снизилась, но через 9 месяцев после хирургического лечения возвращалась к исходному уровню [52]. В то же время Н. Haberfehlner с соавторами (2018) считают, что уменьшение мышечной силы обусловлено не самим хирургическим УСГ, а изначальным укорочением мышечного брюшка по причине основного неврологического заболевания. Следует отметить, что длина мышечного брюшка остаётся неизменной как в период формирования контрактуры (когда сила мышц велика), так и после УСГ, когда наблюдается её снижение [76].

Несмотря на отмечаемые осложнения и недостатки лечения, ни один из авторов не ставит под сомнение необходимость коррекции СККС [91, 92, 144, 152]. Рецидив контрактуры после УСГ встречается довольно часто и на ранних этапах подлежит консервативному лечению [177]. При длительно существующем рецидиве показано повторное хирургическое вмешательство, результат которого может быть менее выраженным или соответствовать первичной операции [48, 57, 144].

Важно отметить, что каждое последующее УСГ становится более сложным из-за образования послеоперационных рубцов, ретракции капсулы сустава и деформации костных компонентов КС. Наличие этих изменений может потребовать дополнительного применения задней капсулотомии и (или) надмышцелковой разгибательной остеотомии бедренной кости. [4, 171, 182]. С учётом вышесказанного рецидивная СККС может являться показанием к выполнению операций на костных сегментах КС.

В качестве ещё одного варианта хирургического лечения СККС рассматривается корригирующая разгибательная надмышцелковая остеотомия бедренной кости (КОБ). Её выполняют как метод, альтернативный УСГ, а в некоторых случаях — задней капсулотомии КС [42]. Разгибательная КОБ была

впервые предложена для лечения пациентов с нейро-мышечной патологией R. Osgood в 1913 г. [126]. В последующем метод был применён при деформирующих артритах, полиомиелитах [37]. У пациентов с ДЦП данный способ хирургической коррекции начал использоваться значительно позже [67].

Показания к выполнению операции различались у разных авторов в зависимости от степени выраженности контрактуры – до 30° и более 30° [13, 116, 123, 153, 167, 173]. Даже обсуждение на Дельфийском консенсусе не внесло ясности в проблему, так как диапазон показаний оказался слишком широким (СККС от 10° до 45° у пациентов старше 10 лет, уровни GMFCS I–III). Некоторые авторы рекомендуют выполнять КОБ только при закрытых зонах роста или в случаях, когда до их закрытия остаётся не более двух лет; другие — при выраженной контрактуре более 30°, комбинируя вмешательство с одновременным устранением мягкотканного компонента деформации [138, 150, 185]. Нередко СККС сопровождается внутренней торсионной деформацией бедренной кости, и в этих случаях операция предусматривает одновременную коррекцию сгибательной и торсионной деформации [150].

Без сомнения, одним из критериев принятия решения при выборе между мягкотканым и костным способом коррекции контрактуры является принципиально различный уровень травматичности и технической сложности вмешательства. КОБ требует высокой квалификации хирурга и имеет определённые технические сложности при устранении сгибательного костного компонента деформации. После выполнения разгибательной КОБ нередко сохраняется углообразная деформация, которая при продолжающемся росте пациента может прогрессировать [129].

С учётом вышеизложенного в настоящее время принято выполнять клиновидную (при контрактуре до 30°) или разгибательно-укорачивающую остеотомию (при контрактуре более 30°) в дистальном отделе бедренной кости, при которой угол разгибания бедра минимальный [119, 150, 167, 173]. Преимуществом укорачивающей КОБ является снижение риска послеоперационных осложнений и сохранение функциональных возможностей КС. За счёт резекции костного

фрагмента нивелируется риск тракционных повреждений сосудисто-нервного пучка в подколенной области, что является частым осложнением при данном хирургическом вмешательстве. Кроме того, данный подход позволяет сохранить исходную амплитуду сгибания в КС, предотвращая её послеоперационное ограничение, характерное для пациентов с ДЦП при устранении тяжёлых СККС. Несмотря на техническую сложность выполнения, операция демонстрирует положительные результаты при коррекции СККС, что нашло отражение в медицинской литературе.

De Morais Filho MC с соавторами (2008) достаточно подробно описали технику хирургического лечения тяжёлой СККС у пациентов с ДЦП и представили собственные результаты. Авторами выявлено уменьшение сгибательной контрактуры с  $15,91^\circ$  до  $5,68^\circ$  [58].

К сожалению, лишь в отдельных работах описана динамика ПУ после операции. Так, D. Taylor с соавторами (2016) отметили после КОБ увеличение ПУ с  $91^\circ \pm 11^\circ$  до  $114^\circ \pm 17^\circ$  на фоне уменьшения СККС с  $34^\circ \pm 8^\circ$  до  $8^\circ \pm 17^\circ$  [171]. Аналогичный результат получили M.C.M. Klotz с соавторами (2017) в виде увеличения ПУ с  $118.4^\circ$  до  $137.7^\circ$  и уменьшения контрактуры на  $20.5^\circ$ , а также M.H. Nabian с соавторами (2024), которые указали на уменьшение СККС с  $29,7^\circ \pm 6,1^\circ$  до  $6,0^\circ \pm 10,5^\circ$  и на увеличение ПУ с  $101.0^\circ \pm 14.5^\circ$  до  $123.7^\circ \pm 24.1^\circ$  [98, 119].

В то же время A. Geisbüsch с соавторами (2022) отметили уменьшение СККС лишь на  $12^\circ$  и увеличение ПУ всего на  $8^\circ$  [69].

У пациентов с ДЦП при длительном существовании СККС развивается перерастяжение четырёхглавой мышцы и собственной связки надколенника (ССН), а выпрямление КС в результате остеотомии создаёт дополнительные предпосылки к ослаблению разгибательного аппарата [36, 79, 98, 102, 153]. В связи с этим с целью предотвращения дефицита активного разгибания сустава после остеотомии часть авторов предлагают одномоментно, в зависимости от возраста пациента, выполнять укорочение ССН или низведение бугристости большеберцовой кости, отмечая положительные результаты коррекции [98, 123, 150, 153, 167]. В то же

время D. Boyer с соавторами (2018) сообщили об отсутствии существенных различий в результатах лечения при дополнении КОБ пластикой ССН и без неё [46].

К недостаткам операции относят риск рецидива СККС и развитие осложнений. Частота неблагоприятных исходов, по данным литературы, крайне вариабельна и, по сообщениям разных авторов, колеблется от 27% до 3% случаев, при этом в большинстве публикаций приводят средние величины между этими показателями [58, 150]. Н.К. Graham с соавторами (2003) установили, что наибольшая вероятность повторного формирования СККС наблюдается при выполнении КОБ у растущих пациентов с открытыми зонами роста [73]. У данной возрастной группы нередко формируется деформация бедренной кости, обусловленная сохранением костного выступа сзади, поэтому резекция данного фрагмента позволяет снизить частоту подобных осложнений [123].

Традиционно при хирургической коррекции СККС любым методом одним из наиболее частых осложнений является тракционное повреждение седалищного нерва, что подтверждается значительным числом публикаций, посвящённых результатам КОБ [30, 87, 123, 146, 184]. Несмотря на то, что практически все авторы указывают на возможные риски развития данного осложнения и подчёркивают важность укорочения бедренной кости как фактора профилактики тракционной невропатии, в литературе до сих пор существуют публикации о его возникновении [55]. В связи с этим при сохранении небольшой остаточной деформации после устранения контрактуры ряд авторов рекомендуют выполнять её коррекцию при помощи этапных гипсовых повязок [88]. Прочие осложнения, возникающие после КОБ, такие как болевой синдром или наклон таза, не являются специфическими для данной операции и описаны лишь в единичных публикациях [58, 104, 123, 131, 151, 167].

В послеоперационном периоде М.С.М. Klotz с соавторами (2017) и А. Geisbüsch с соавторами (2022) применяют иммобилизацию в гипсовой повязке с исключением движений в КС, тогда как Е. Rutz с соавторами (2022) в качестве альтернативы рекомендуют использование шарнирного ортеза [69, 98, 150].

Таким образом, КОБ как хирургический метод лечения СККС у пациентов с ДЦП является эффективным наравне с УСГ. Однако, в научной литературе отсутствует единое мнение о выборе хирургической методики в зависимости от возраста пациента [169]. Кроме того, показания к выбору каждого из этих методов остаются в значительной степени субъективными и недостаточно биомеханически обоснованными, в частности, с позиций анализа их влияния на сагиттальный профиль пациента, что определяет актуальность к дальнейшему изучению этого направления.

### 1.9 Влияние методов хирургической коррекции СККС на сагиттальный баланс

На основании исследований J. Dubousset (1994) было сформировано представление о сагиттальном балансе, которое можно охарактеризовать как динамическое, энергетически выгодное равновесие между позвоночником, тазом и механизмами компенсации его отклонений [63]. В многочисленных работах описываются не только рентгеноанатомические параметры, но и его взаимосвязь с различной ортопедической патологией [1, 19, 29]. В 2003 г. P. Roussouly выделил четыре типа сагиттального профиля позвоночника в зависимости от степени выраженности лордоза: гиполордотический (I и II), нормолордотический (III) и гиперлордотический (IV), первоначально разработанную для общей популяции [149]. При этом гиполордотические типы I и II, несмотря на сходную степень выраженности лордоза, различаются по положению таза и особенностям распределения нагрузки в пояснично-крестцовом отделе позвоночника. Установлено, что тип вертикальной осанки связан с риском развития дегенеративных процессов и спондилолистеза, что может приводить к снижению качества жизни [38, 125, 134, 161].

Впервые M. Rang (1990) описал концепцию «сагиттального баланса» у пациентов с ДЦП и отметил, что одной из главных целей лечения является улучшение баланса туловища в сагиттальной плоскости, что оказывает значимое влияние на походку [140]. Однако в дальнейшем при развитии данной тематики

недостаточно внимания уделялось биомеханической связи контрактур КС с положением таза и позвоночника в сагиттальной плоскости, несмотря на очевидность формирования компенсаторных механизмов. Остаётся открытым вопрос о характере влияния СККС и метода её коррекции на параметры сагиттального баланса.

Существуют мнения, что нарушения сагиттального профиля, в частности передний наклон таза, могут развиваться как после УСГ, так и после КОБ [48, 49, 58, 62, 71, 98].

Р.А. DeLuca с соавторами (1998) в своем исследовании показали, что удлинение лишь медиальной группы УСГ не приводит к переднему наклону таза, в то время как после дополнительного удлинения двуглавой мышцы отмечалась выраженная антеверзия с  $11^\circ$  до  $16^\circ$  [61]. Аналогичные результаты получили W.N. Chang с соавторами (2004), которые выполнили 60 пациентам со спастической диплегией удлинение медиальной и латеральной части подколенных сухожилий, после чего отметили увеличение переднего наклона таза [48]. В дальнейшем данные изменения приводили к развитию болевого синдрома, нарушению походки и формированию контрактур в тазобедренных суставах [49, 105, 124].

Широко распространено мнение, что УСГ приводит к ослаблению и без того слабых двусуставных мышц, являющихся также разгибателями тазобедренного сустава, что сопровождается ещё большим наклоном таза вперед [35, 79, 181]. Однако E.V. Zwick с соавторами (2002) пришли к выводу, что наклон таза в большей степени обусловлен слабостью мышц задней поверхности бедра [186]. Аналогичное мнение высказали P. Saraswat с соавторами (2023), отметив, что у пациентов с ДЦП передний наклон таза является избыточным еще до хирургического лечения [154]. Ряд авторов указывает, что основной причиной развития переднего наклона таза после операции является ретракция (или спастичность) *m. rectus femoris* и *m. iliopsoas* [45, 123, 130]. Стоит отметить, что на Дельфийском консенсусе эксперты пришли к выводу, что наклон таза назад является абсолютным показанием для удлинения сгибателей голени, а наклон таза вперед является относительным противопоказанием [94].

A.B. Gordon с соавторами (2008) опубликовали результаты анализа походки после чрескожного удлинения медиальной части мышц сгибателей голени, в которых увеличение наклона таза на  $2,3^\circ$  (с  $19,7^\circ$  до  $22^\circ$ ) было расценено как клинически значимое, что представляется дискуссионным [71].

При долгосрочном наблюдении через 8 лет после УСГ T. Dreher с соавторами (2012) отметили выраженное увеличение переднего наклона таза [62].

L. Feng с соавторами (2012) высказали мнение, что увеличение наклона таза после коррекции СККС при crouch-походке является неизбежным, поскольку сохраняется длительно существующее сгибательное положение бедренной кости [66].

В исследовании N. Nazareth с соавторами (2019) показали, что как чрескожное, так и открытое УСГ приводят к увеличению наклона таза кпереди на  $4-5^\circ$ , что является клинически значимым для детей с ДЦП [120].

J. Long с соавторами (2020) дополнили УСГ этапными коррекциями в гипсовых повязках в послеоперационном периоде и выявили увеличение переднего наклона таза на  $5^\circ$ , сопоставимое с результатами, представленными в оригинальной работе P.A. DeLuca [61, 105]. Аналогичные данные приводят M. Galan-Olleros с соавторами (2023) [68].

Имеется незначительное число публикаций, посвящённых влиянию уровня GMFCS на положение таза после устранения СККС. Так, J.L. Stout с соавторами (2008) отмечают положительные результаты коррекции контрактуры в КС и формирование антеверзии таза, независимо от уровня GMFCS [167]. Похожие результаты представили A.M. Hanson с соавторами (2023), которые показали, что у пациентов с нейтральным или задним положением таза до операции риск формирования антеверзии после вмешательства значительно ниже [78]. Эти данные косвенно подтверждают теорию L. Feng (2012) о том, что увеличение переднего наклона таза является закономерной компенсаторной реакцией на коррекцию СККС и в дальнейшем не изменяется [66].

В то же время M.P.C. Wijesekera с соавторами (2019) выполнили удлинение медиальной части мышц сгибателей голени у пациентов с I–III уровнем по GMFCS

и пришли к выводу, что стойкое увеличение антеверзии таза после проведенного хирургического лечения формируется только у пациентов III уровня [179].

В 2013 году S.A. Rethlefsen с соавторами продемонстрировали, что после ревизионного УСГ наклон таза кпереди выражен в большей степени по сравнению с первичным вмешательством [144]. Сходные результаты впоследствии были получены de Moraes Filho MC с соавторами (2020) [57]. В то же время в ряде публикаций не выявлено изменений положения таза после выполнения УСГ [41, 90].

В недавнем исследовании С. Church с соавторами (2026) удлинение сгибателей голени рассматривается как вмешательство, ассоциированное с риском нарушения сагиттального профиля. Авторы установили, что увеличение наклона таза кпереди сопровождается с компенсаторным усилением поясничного лордоза и последующим формированием болевого синдрома в поясничном отделе позвоночника. Полученные данные подчёркивают необходимость комплексной оценки позвоночно-тазовых соотношений при планировании хирургического лечения у пациентов с ДЦП [49].

В литературе описаны попытки избежать развития переднего наклона таза после УСГ, применяя транспозицию *m. rectus femoris*, в том числе в сочетании с КОБ [123, 130]. Однако М.С.М. Klotz с соавторами (2017) доказали, что транспозиция прямой мышцы бедра одновременно с КОБ и даже дополненная пластикой ССН, не предотвращает антеверзию таза в послеоперационном периоде [98].

Также J.L. Stout с соавторами (2008) разделил пациентов на три группы, в зависимости от объёма хирургического вмешательства: КОБ, пластика ССН и их комбинация. Для нивелирования осложнения, в виде переднего наклона таза, некоторым пациентам дополнительно выполняли удлинение *m. iliopsoas* и перемещение *m. rectus femoris*. Однако достоверных различий в динамике изменения положения таза между группами с дополнительными вмешательствами и без них выявлено не было [167].

Учитывая, что альтернативным методом устранения СККС является костный, теоретически не ослабляющий мышцы задней поверхности бедра и, тем самым, исключаящий отрицательное влияние на положение таза, обращает на себя внимание крайне ограниченное число публикаций, описывающих влияние КОБ на сагиттальный профиль туловища у пациентов с ДЦП.

Так, М.С. de Moraes Filho с соавторами (2008) при сочетании удлинения медиальной порции сгибателей голени с КОБ, отметили увеличение наклона таза кпереди  $12,04^\circ$  до  $21,91^\circ$  в раннем послеоперационном периоде. При дальнейшем наблюдении у пациентов старшей возрастной группы (13 лет) антеверзия таза увеличивалась, тогда как у пациентов младшего возраста, наоборот, уменьшалась [58]. Можно сделать вывод, что так как ранее в литературе не было упоминаний о переднем наклоне таза после изолированного удлинения медиальной группы сгибателей голени, вероятнее всего отрицательный эффект связан с комбинацией этих двух оперативных методик.

Этот вывод косвенно подтверждается результатами исследования J.L. Stout с соавторами (2008), в котором они отметили клинически значимое увеличение передней ориентации таза после КОБ и пластики ССН, при этом наиболее выраженные изменения оказались в группе пациентов, где применялась комбинация данных методов [167]. Сходные результаты получили Т.Ф. Novacheck с соавторами (2009), R. Sossai с соавторами (2015), М.Н. Nabian с соавторами (2024) [119, 123, 162].

Теоретическим объяснением полученных результатов может служить дисбаланс между мышцами сгибателями и разгибателями КС. Применение КОБ позволяет снизить риск ослабления мышц сгибателей голени, однако данный эффект может нивелироваться увеличением натяжения мышц разгибателей КС (являющихся еще и сгибателями в тазобедренном суставе), при проведении пластики ССН или пересадки бугристости большеберцовой кости. При этом в современной литературе представлено ограниченное число публикаций, непосредственно анализирующих влияние остеотомии на положение таза. Главным ограничением существующих исследований является выполнение КОБ в рамках

одномоментных многоуровневых операций (SEMLS), что исключало возможность оценки его изолированного влияния на позвоночно-тазовые соотношения [98, 119, 123, 162, 167].

Подводя итог проведённому обзору литературы, можно сделать следующие выводы: СККС достаточно часто встречается у пациентов с ДЦП, имеет прогрессирующий характер и может способствовать затруднению в передвижении пациента, развитию гонартроза с болевым синдромом и полной потере опороспособности у ранее передвигающегося ребенка. Несмотря на большое количество публикаций, посвящённых различным методам её хирургической коррекции, до настоящего времени отсутствует единое мнение как в отношении показаний к выбору конкретного метода лечения, так и в оценке влияния этих методов хирургической коррекции на смежные суставы. Кроме того, анализ литературы выявил существенные методологические различия в оценке положения таза в сагиттальном профиле. Преобладание работ, основанных на динамическом анализе походки, ограничивает возможность их прямого сопоставления с результатами статического рентгенологического обследования, сведения о котором в доступной литературе практически отсутствуют. Это обосновывает необходимость адаптации общепринятых в вертебродологии рентгенологических стандартов для пациентов с ДЦП.

Также остаётся недостаточно изученным вопрос о роли возрастного фактора в формировании изменений сагиттального профиля позвоночника и таза. Совокупность этих факторов подтверждает высокую актуальность дальнейшего научного изучения влияния различных методов коррекции СККС на глобальный сагиттальный баланс, включая положение таза и вышележащих отделов позвоночника.

## ГЛАВА 2

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

## 2.1 Дизайн диссертационного исследования

Диссертационная работа выполнена в ФГБУ «НМИЦ детской травматологии и ортопедии имени Г.И. Турнера» Минздрава России, является моноцентровым когортным проспективным исследованием (рис. 2.1) и одобрена локальным этическим комитетом ФГБУ «НМИЦ детской травматологии и ортопедии имени Г.И. Турнера» Минздрава России — протокол №23-3-4 от 10.11.2023 года. Научное исследование выполнено в соответствии с положениями Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации. Для участия в работе у законных представителей пациентов было получено письменное согласие на обработку и анализ обезличенных персональных данных, а также на публикацию полученных результатов исследования. Пациенты старше 15 лет дополнительно подписывали информированное согласие, тем самым подтверждая свое добровольное решение участвовать в представленном научном исследовании.

В данную работу вошли пациенты с ДЦП в возрасте от 4 до 17 лет со СККС, которым проводили хирургическое лечение по поводу контрактур в период с 2022 по 2025 годы включительно.

Сравнительный этап диссертационного исследования выполнялся с использованием протокола PICO (patients, interventions, comparison, outcomes) согласно подходу, предложенному A.L. Raich (2013). Данный подход позволяет структурировать ключевые компоненты исследования, обеспечивает логическую целостность и методологическую последовательность работы.

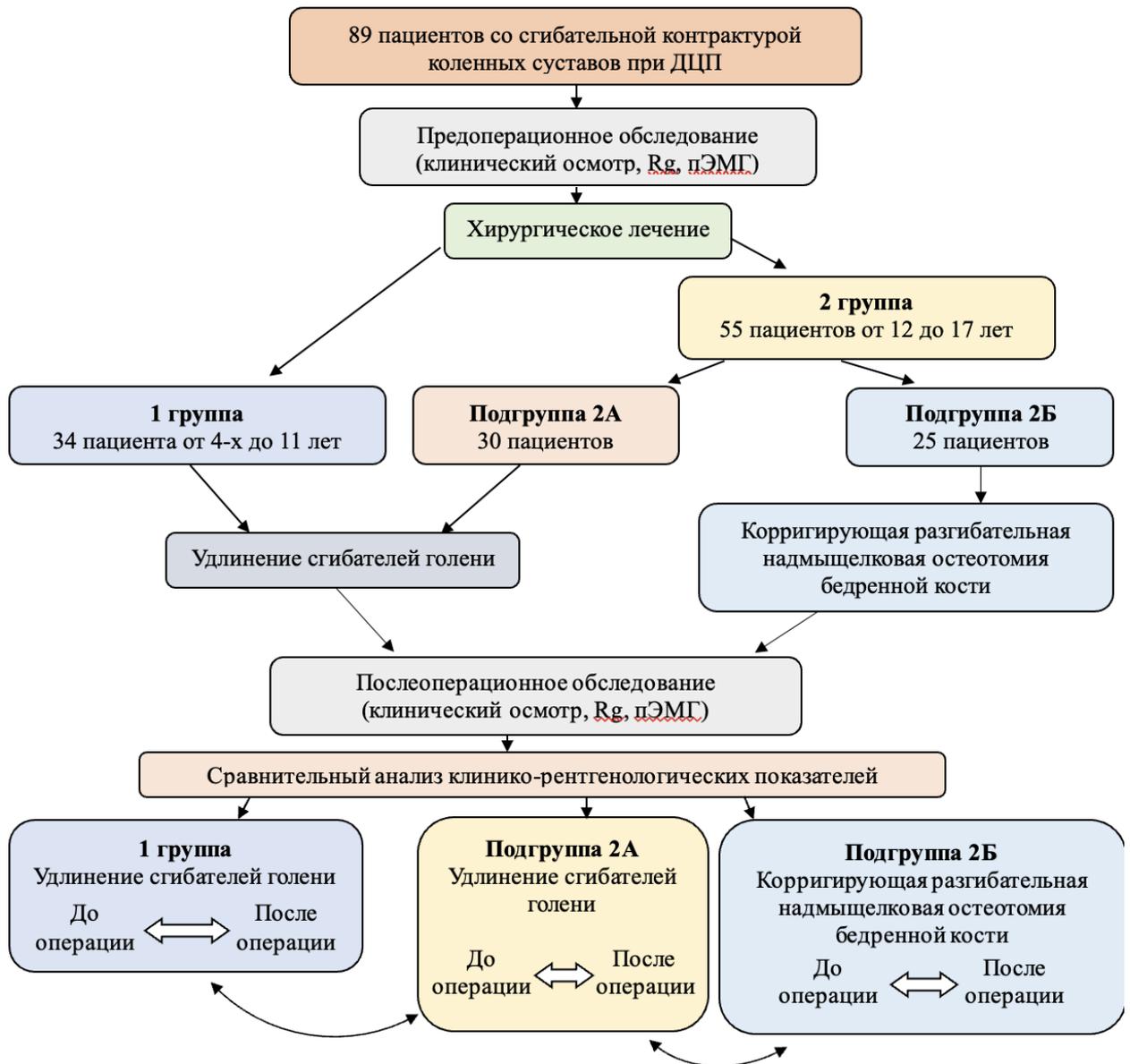


Рисунок 2.1. Структура диссертационной работы

Исследование включало в себя два различных сравнительных анализа, для каждого из которых разработан отдельный протокол:

- Первый протокол — сравнение влияния различных методов хирургического лечения сгибательной контрактуры коленных суставов (СККС) на позвоночно-тазовые соотношения у пациентов с ДЦП старшей возрастной группы (рис. 2.2).

- Второй протокол — сравнение влияния возраста пациента на сагиттальный баланс туловища после идентичной хирургической коррекции СККС. Пациенты были разделены на младшую (4–11 лет) и старшую (12–17 лет)

возрастные группы, сформированные в соответствии с классификацией периодов детского возраста Гундобина Н.П. (И.М. Воронцов, 2009) (рис. 2.3).



Рисунок 2.2. Протокол PICO (patients, interventions, comparison, outcomes) для сравнительного анализа влияния различных методов хирургической коррекции СККС на позвоночно-тазовые соотношения в сагиттальном профиле у пациентов старшего возраста



Рисунок 2.3. Протокол PICO (patients, interventions, comparison, outcomes) для оценки влияния возраста пациента на сагиттальный баланс туловища после коррекции СККС путем удлинения сгибателей голени

Критерии включения в исследование:

- Наличие у пациента спастической симметричной двусторонней формы ДЦП;
- II–III уровень двигательной активности по классификации GMFCS;
- Наличие изолированной формы СККС в диапазоне от 5° до 45°, не поддающейся пассивной коррекции;
- Отсутствие клинически значимого эффекта от предшествующего консервативного лечения, проводимого на протяжении не менее 6 месяцев;
- Отсутствие в анамнезе хирургических вмешательств с целью коррекции СККС;
- Полный комплект медицинской документации, необходимой для анализа результатов лечения;
- Наличие добровольного информированного согласия на участие в исследовании.

Критериями исключения пациентов из диссертационного исследования являлись:

- Фиксированная сгибательная контрактура тазобедренного сустава;
- Фиксированные контрактуры голеностопных суставов;
- Нестабильность тазобедренных суставов с индексом Реймерса более 30%;
- Наличие врожденных или приобретенных деформаций позвоночника;
- Наличие в анамнезе реконструктивных операций на тазобедренных суставах;
- Наличие пяточной или пяточно-вальгусной деформации стоп с функциональной недостаточностью трехглавой мышцы голени.

В исследование были включены данные о 89 пациентах в возрасте от 4 до 17 лет. У всех детей СККС имела двусторонний характер. Все пациенты, включенные в исследование, соответствовали указанным критериям, прошли

предоперационное обследование, хирургическое лечение и послеоперационное обследование.

В качестве источников данных для диссертационного исследования использовалась медицинская документация, включавшая сведения из историй болезни (амбулаторные карты пациентов, данные анамнеза, протоколы хирургических вмешательств, заключения инструментальных методов исследования), а также результаты лучевых и нейрофизиологических методов обследования. Лучевая диагностика была представлена цифровыми рентгенограммами скелета в положении стоя в боковой проекции, а также рентгенографией коленных суставов в положении максимального разгибания в положении лёжа в боковой проекции. Нейрофизиологическое обследование выполнялось методом поверхностной электромиографии мышц спины и нижних конечностей в положении стоя, в положении стоя с максимальным разгибанием коленных суставов и позвоночника, а также в процессе ходьбы.

Распределение пациентов по полу было следующим: 52 мальчика (58%) и 37 девочек (42%). Средний возраст пациентов на момент поступления в стационар составил 12 лет, а возрастной диапазон - от 4 до 17 лет включительно.

Диагноз устанавливался на основании результатов клинического обследования пациентов, включавшего анализ жалоб и данные ортопедического осмотра. Сопутствующий диагноз устанавливался при осмотре неврологом.

Показанием к хирургическому лечению являлось наличие СККС от  $5^{\circ}$  до  $45^{\circ}$ , не поддающейся пассивной коррекции, а также отсутствие положительной динамики от консервативного лечения, которое продолжалось не менее 6 месяцев.

На основании данных проспективного анализа и дизайна исследования разделение пациентов на группы происходило в несколько этапов. На первом этапе дети были разделены на группы в зависимости от возраста: первая – младшего возраста (от 4 до 11 лет) и вторая – старшего возраста (от 12 до 17 лет). На втором этапе исследования вторая группа была разделена на две подгруппы — 2А и 2Б в зависимости от методов хирургического лечения СККС, которые применялись пациентам этих групп.

## 2.2. Характеристика пациентов в исследуемых группах.

В первую клиническую группу были включены 34 пациента в возрасте от 4 до 11 лет, которым выполняли хирургическое лечение для устранения СККС в объеме удлинения сгибателей голени. Распределение пациентов первой группы по возрасту и полу отражено в таблице 2.1.

Таблица 2.1.

Распределение пациентов первой группы исследования по возрасту и полу

Пол	Возраст			Итого	
	4-6	7-10	11	Абс. число	%
Мужской	5	13	1	19	56%
Женский	5	7	3	15	44%
Всего	10	20	4	34	100%

Распределение пациентов первой группы по уровням двигательной активности в соответствии с международной классификацией GMFCS было следующим: уровень II – 12 пациентов (35%), уровень III - 22 пациента (65%) (рис. 2.4).

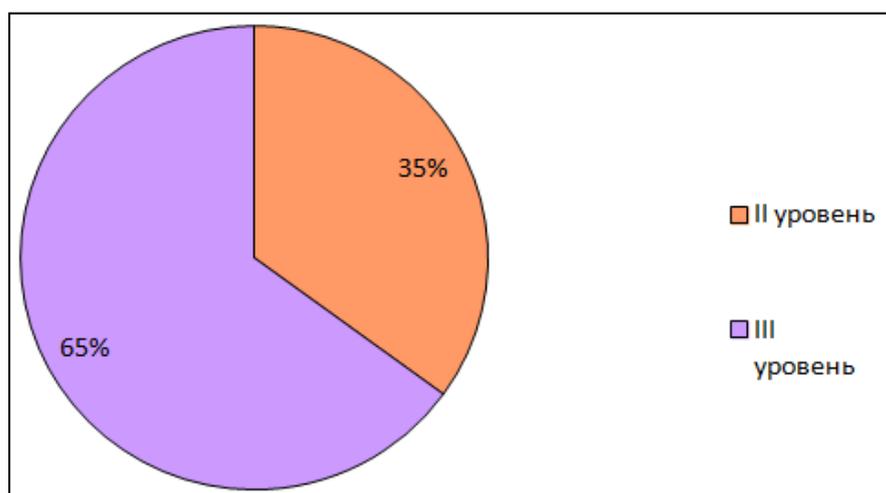


Рисунок 2.4. Распределение пациентов по уровню GMFCS в первой группе

На основании данных таблицы 2.1 и рисунка 2.4, можно сделать вывод, что в первой группе исследования отмечалось большее число пациентов мужского пола, дошкольного и младшего школьного возраста, а по классификации больших моторных функций (GMFCS) наибольшую долю составили дети с III уровнем.

Вторую клиническую группу (основную) составили 55 пациентов в возрасте от 12 до 17 лет, которые были разделены на две подгруппы: 2А, состоящую из 30 человек, и подгруппу 2Б — 25 человек, в зависимости от метода применяемой хирургической коррекции СККС.

В подгруппе 2А хирургическое лечение проводили в объеме удлинения сгибателей голени, которое сопровождалось тенотомией дистальной части полусухожильной, полуперепончатой, тонкой и двуглавой мышц бедра.

В подгруппе 2Б оперативное вмешательство выполняли в объеме корригирующей разгибательной надмышцелковой остеотомии бедренной кости (КОБ) с фиксацией достигнутого результата накостной пластиной и винтами.

Распределение пациентов второй группы исследования по возрасту и полу отражено в таблице 2.2.

Таблица 2.2

Распределение пациентов второй группы исследования по возрасту, полу

2 группа	Пол	Возраст		Итого	
		12-15	16-17	Абс. число	%
Подгруппа 2А	мужской	16	5	21	39%
	женский	5	4	9	16%
Подгруппа 2Б	мужской	9	2	11	20%
	женский	10	4	14	25%
Всего		40	15	55	100%

По уровням двигательного развития по шкале GMFCS пациенты второй группы распределились следующим образом (рис. 2.5):

Подгруппа 2А: уровень II - 12 пациентов, III уровень – 18 пациентов.

Подгруппа 2Б: уровень II - 19 пациентов, III уровень – 6 пациентов.

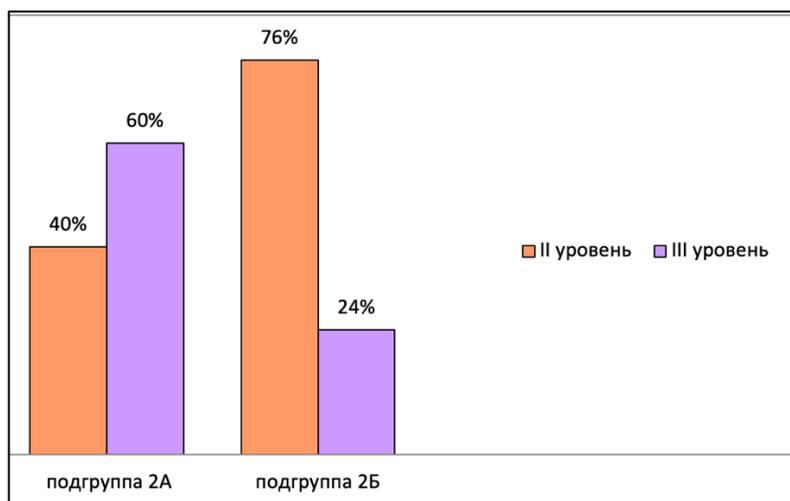


Рисунок 2.5. Распределение пациентов по уровню GMFCS во второй группе

При анализе распределения пациентов второй группы по уровням GMFCS обращает на себя внимание диспропорция в подгруппе 2Б, где преобладают пациенты с уровнем II. Следует подчеркнуть, что данная асимметрия не является методологическим ограничением для настоящего исследования. Дизайн работы не предполагал обязательного формирования подгрупп с равномерным распределением по двигательным уровням, поскольку ключевым критерием включения являлась способность пациентов к статическому удержанию вертикальной позы (самостоятельно или с использованием вспомогательных средств), что соответствует функциональным возможностям пациентов как II, так и III уровней по шкале GMFCS. Необходимость в строгом симметричном распределении по двигательным уровням возникла бы в случае применения методов динамического анализа, например видеоанализа ходьбы, которые не входили в протокол исследования. Поскольку основной фокус работы был направлен на оценку статических рентгенологических параметров сагиттального баланса, а не на динамические характеристики, выявленная неравномерность распределения не оказывает влияния на валидность последующего сравнительного анализа между подгруппами 2А и 2Б.

При анализе состава подгрупп не было выявлено статистически значимых различий по гендерному признаку. Распределение по полу в обеих подгруппах было

в целом сопоставимым, а небольшие численные расхождения носили случайный характер (см. таблицу 2.2).

Для подтверждения корректности сравнительного анализа была проведена оценка исходной сопоставимости групп. Статистический анализ ключевых характеристик (возраст, пол) не выявил статистически значимых различий между группой 1 и подгруппой 2А. Учитывая это, а также ранее установленную гомогенность подгрупп 2А и 2Б, дизайн исследования позволил провести два основных сравнения: внутри второй группы — между подгруппами 2А и 2Б для оценки влияния различных методов хирургического лечения на позвоночно-тазовые соотношения; между возрастными группами — между 1 группой и подгруппой 2А для изучения влияния возраста на позвоночно-тазовые соотношения после идентичного хирургического вмешательства.

Общим показанием к хирургическому лечению для всех пациентов в исследовании, вне зависимости от выбранного метода, являлось наличие фиксированной СККС в диапазоне от  $5^\circ$  до  $45^\circ$ .

У пациентов первой группы (младшей возрастной группы) проведение КОБ не было показано по причине высокого риска последующего развития вторичных деформаций дистального отдела бедренной кости в процессе продолжающегося активного роста ребенка и наличия патологической спастичности мышц.

Вследствие этого объективная оценка влияния метода хирургической коррекции СККС на позвоночно-тазовые соотношения и сагиттальный баланс туловища у данной категории пациентов основана на анализе результатов вмешательств на мягких тканях (удлинение сгибателей голени) и их сравнении с пациентами подгруппы 2А, получившими аналогичное лечение.

Для повышения достоверности результатов была изучена взаимосвязь методов коррекции СККС с позвоночно-тазовыми соотношениями в сагиттальной плоскости. Сравнение показателей проводили среди пациентов второй группы (2А и 2Б).

Для основного сравнительного анализа, представленного в диссертационной работе, использовали данные, полученные через 6 месяцев после операции,

которые сопоставлялись с дооперационными показателями. Максимальный период наблюдения за пациентами в исследовании на момент написания диссертации составил 3 года.

Дизайн исследования предполагал два ключевых направления для сравнительного анализа. Первое направление — оценка влияния различных методов хирургического лечения у пациентов старшей возрастной группы на позвоночно-тазовые соотношения в сагиттальном профиле. С этой целью проводили сравнение результатов между подгруппами 2А (удлинение сгибателей голени) и 2Б (корректирующая остеотомия). Второе направление — изучение возрастных особенностей эволюции компенсаторных механизмов организма при одинаковом типе вмешательства. Для этого осуществляли сравнение между пациентами первой группы (младший возраст) и подгруппой 2А (старший возраст).

## 2.3 Характеристика основных методов обследования

Для оценки клинико-функционального состояния и анализа результатов хирургического лечения у пациентов с ДЦП с наличием СККС использовали следующие методы обследования: клинико-неврологический, лучевой (рентгенологическое исследование), нейрофизиологический метод (поверхностная электромиография) и статистический.

### 2.3.1 Клиническое обследование

В ходе анализа медицинской документации пациентов, включённых в исследование, были рассмотрены клинические и неврологические характеристики, включая следующие параметры:

1. жалобы пациентов и их законных представителей;
2. особенности течения и анамнеза заболевания;

3. основные клинические проявления, ассоциированные с формированием СККС, а также сроки их возникновения;

4. очаговые неврологические проявления до и после хирургического лечения.

Для оценки качества жизни пациентам со СККС при ДЦП и их родителям предоставляли возможность заполнить опросник Pediatric Quality of Life Inventory (PedsQL™ 3.0) и оценить выраженность болевого синдрома в коленном суставе по шкале Kujala.

Для оценки качества жизни применяли специализированный модуль PedsQL™ 3.0 для пациентов с детским церебральным параличом (Cerebral Palsy Module) [109]. Данный опросник был представлен в двух версиях, для самостоятельного заполнения ребенком и для заполнения родителем, и включал в себя семь специфичных доменов, таких как «Повседневная деятельность», «Перемещение и равновесие», «Школьные занятия», «Боль», «Усталость», «Прием пищи», «Речь и общение». Интерпретацию результатов проводили по 100-балльной системе, где более высокий балл указывал на лучшее качество жизни, а 0 — на наихудшее.

Для количественной оценки функционального состояния коленного сустава и объективизации выраженности болевого синдрома применяли специализированный опросник Kujala [14]. Опросник включал 13 пунктов, направленных на оценку как функциональных ограничений у пациента (хромота, поддержка при ходьбе, бег, прыжки), так и специфических симптомов, связанных с функцией коленного сустава (боль, отёк, нестабильность). Итоговый результат представлял собой сумму баллов от 0 до 100, где 100 баллов соответствовали полному отсутствию симптомов и двигательных ограничений, а 0 баллов — максимальной выраженности болевого синдрома и наиболее грубому нарушению функции самого сустава. Следует отметить, что при анализе показателей данной шкалы учитывалась ее теоретически ограниченная валидность для пациентов с сопутствующей неврологической патологией, что компенсировалось параллельным использованием общего опросника PedsQL™ 3.0 для получения комплексной картины состояния пациента.

После проведения хирургического лечения пациентам было предложено заполнить визуальную аналоговую шкалу боли по Wong-Baker (ВАШ) – с градацией интенсивности боли от 0 («нет боли») до 10 («крайне сильная боль») (рис. 2.6). Оценку по данной шкале проводили однократно на 3-и сутки после проведенного хирургического вмешательства. Опросник не использовали на дооперационном этапе, так как исходный болевой синдром у пациентов носил преимущественно хронический, функциональный характер и оценивался с помощью более специфичной для этой цели шкалы Kujala. Основной целью являлось сопоставление уровня боли у пациентов после различных видов хирургических вмешательств — удлинения сгибателей голени и корригирующей надмышечковой остеотомии бедренной кости.



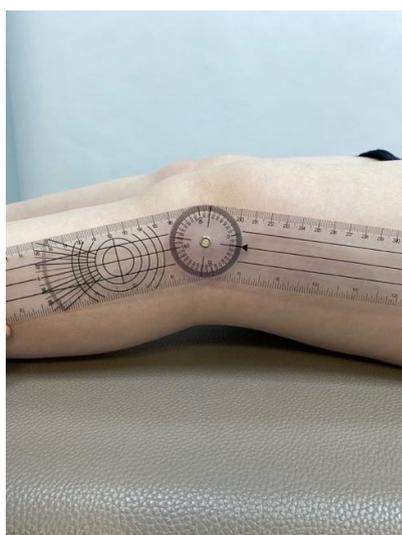
Рисунок 2.6. Визуальная аналоговая шкала боли по Wong-Baker (цитируется по: «Wong DL, Baker CM. Pain in children: comparison of assessment scales. In: Whaley LF, Wong DL, eds. Nursing Care of Infants and Children. St. Louis, MO: Mosby; 1983»)

При проведении ортопедического осмотра оценивали амплитуду движений в тазобедренных, коленных, голеностопных суставах, а также форму стоп. Для всех угловых измерений использовали стандартный калиброванный гониометр (рис. 2.7). Данное клиническое обследование, включая всю ангулометрию нижних конечностей, проводили в положении пациента лёжа на спине.

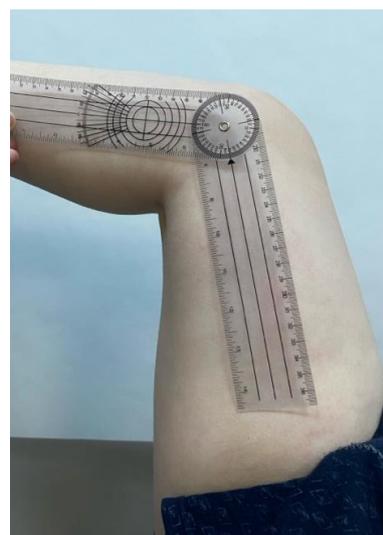
Отведение в тазобедренных суставах оценивали как с согнутыми в тазобедренных и коленных суставах нижними конечностями, так и с полностью выпрямленными нижними конечностями (тест Фелпса). Ротационные движения в тазобедренных суставах оценивали в положении лёжа на спине с выпрямленными нижними конечностями.

Клиническая характеристика амплитуды движений в коленных суставах включала оценку пассивного разгибания, подколенного угла и дефицита активного разгибания (рис. 2.7). Величину СККС оценивали в положении пациента лёжа на спине при максимальном пассивном разгибании нижней конечности, измеряя имеющийся угол между бедром и голенью в области коленного сустава. Подколенный угол определяли в положении лёжа на спине при сгибании в тазобедренном суставе  $90^\circ$  и максимальном разгибании в коленном суставе. Дефицит активного разгибания оценивали в положении пациента стоя у опоры с максимальным активным разгибанием коленных суставов. В норме активное разгибание в коленном суставе должно соответствовать пассивному разгибанию.

Клиническая оценка состояния голеностопного сустава и стопы была важным этапом отбора пациентов, направленным на исключение сопутствующих деформаций, которые могли бы непосредственно влиять на сагиттальный баланс туловища. С учетом этого фактора проводили оценку пассивной и активной амплитуды движений в голеностопном суставе. Основное внимание уделяли исключению пяточной деформации стопы вследствие слабости трицепса голени. Такое состояние выявляли путем оценки способности пациента к активной подошвенной флексии и выполнения пробы «вставания на носки».



А



Б

Рисунок 2.7. Клиническая оценка амплитуды движений в коленном суставе:

А – пассивное разгибание; Б – подколенный угол

Оценку амплитуды движений голеностопного сустава проводили как для выявления эквинусной контрактуры, так и для исключения пяточной деформации стопы, являющейся критерием исключения пациентов из исследования.

### 2.3.2 Рентгенологическое обследование

Рентгенологическое обследование пациентов в данном исследовании включало выполнение цифровых панорамных рентгенограмм скелета с захватом С7 шейного позвонка, грудного и поясничного отделов позвоночника, а также таза и коленных суставов в положении стоя в боковой проекции. Кроме того, выполняли дополнительное рентгенологическое исследование коленных суставов в боковой проекции — при их максимальном разгибании в положении лежа. Инструментальные методы обследования были применены у всех пациентов, включённых в исследование, как до проведения хирургического лечения, так и в послеоперационном периоде. Рентгенографические исследования выполнялись с использованием аппарата фирмы Philips модели «Medio 50 CP». В предоперационном периоде цифровую рентгенографию выполняли с целью оценки влияния СККС на позвоночно-тазовые соотношения, а также для расчета величины сгибательной контрактуры коленного сустава. Оценка параметров физиологических изгибов грудного и поясничного отделов позвоночника и позвоночно-тазовых соотношений осуществляли при помощи программы «Surgimap» v. 2.3.2.1.

С этой целью осуществляли измерение и оценку следующих параметров: угол наклона таза (PI — Pelvic Incidence), угол отклонения таза (PT — Pelvis Tilt), угол наклона крестца (SS — Sacral Slope), угол грудного кифоза (TK — Thoracic Kyphosis), поясничного лордоза (LL — Lumbar Lordosis), показатель отклонения вертикальной сагиттальной оси (SVA — Sagittal Vertical Axis), а также бедренно-большеберцовый угол (ББУ). Выбор данных параметров обусловлен тем, что они являются общепринятыми и ключевыми для оценки глобального сагиттального баланса туловища. Совокупность тазовых (PI, PT, SS), позвоночных (LL, TK, SVA)

и периферических (ББУ) углов позволяет комплексно оценивать и проводить анализ компенсаторных взаимосвязей между тазом, позвоночником и нижними конечностями у пациентов с ДЦП с наличием различной степени выраженности СККС. Анализ этих взаимосвязей составил основу для понимания патологических поструральных адаптаций у детей с ДЦП.

Протокол послеоперационного рентгенологического обследования был дифференцирован в зависимости от целей:

- Оценка консолидации костных фрагментов на уровне остеотомии бедра (только для подгруппы 2Б, пациенты после корригирующей остеотомии бедренной кости): контрольные рентгенограммы коленного сустава в двух проекциях выполняли через 5 недель после хирургического лечения для оценки первичной консолидации костных фрагментов и принятия решения о начале реабилитации, а также повторно через 10 недель после хирургического лечения для решения вопроса о полной вертикализации пациента;
- Оценка сагиттального профиля пациентов (все группы): панорамную рентгенографию скелета в боковой проекции в положении стоя проводили через 6 месяцев после операции с целью динамической оценки позвоночно-тазовых соотношений.

Для измерения величины кифоза грудного отдела позвоночника выполняли построение касательных линий к замыкательной пластинке Th1 позвонка и каудальной пластинке Th12 позвонка. Затем к проведенным линиям проводили перпендикуляры и определяли величину угла между ними. Аналогично для измерения лордоза поясничного отдела позвоночника касательные линии проводили к замыкательной пластинке L1 и краниальной замыкательной пластинке S1 позвонков. К ним проводили перпендикулярные линии и определяли величину угла между ними (рис 2.8).

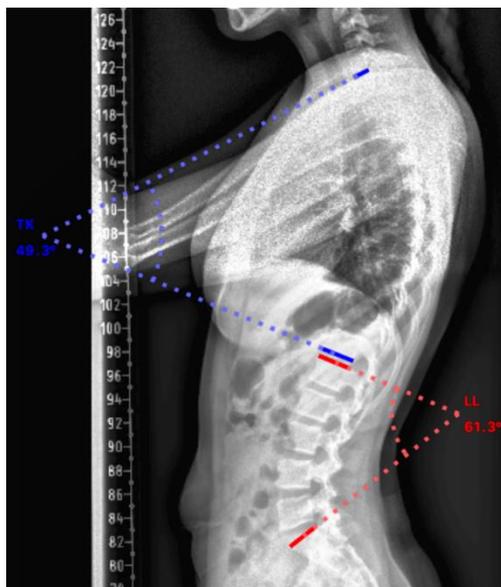


Рисунок 2.8. Показатели сагиттального профиля позвоночника, измеряемые на боковой рентгенограмме. ТК — величина грудного кифоза; LL — величина поясничного лордоза

Для измерения параметров, характеризующих сагиттальный профиль позвоночного столба, таких как: угол наклона таза (Pelvic Incidence — PI), угол отклонения таза (Pelvis Tilt — PT), угол наклона крестца (Sacral Slope — SS), применяли следующее построение:

Наклон таза (PI) — угол между перпендикуляром от центра верхней пластинки и линией, соединяющей центр верхней пластинки с осью тазобедренного сустава, анатомический параметр, который геометрически равен сумме наклона крестца и отклонения таза.

Отклонение таза (PT) — угол между вертикальной линией и линией, соединяющей центр верхней пластинки с осью тазобедренного сустава. Наклон крестца (SS) — угол между плоскостью верхней пластинки и горизонтальной линией (рис. 2.9).

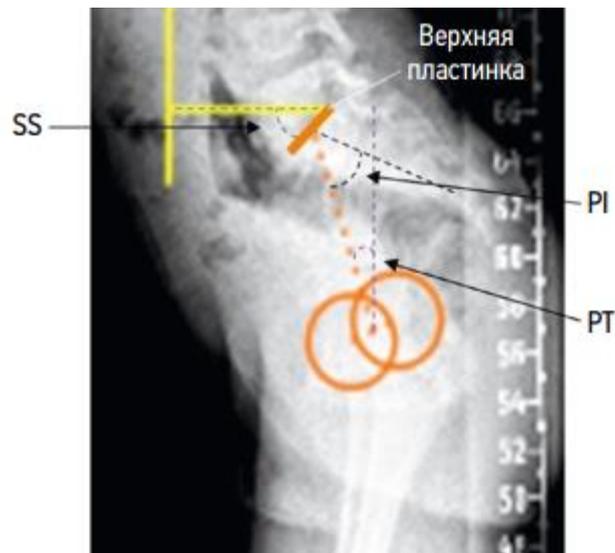


Рисунок 2.9. Показатели сагиттального профиля таза, измеряемые на рентгенограмме в боковой проекции. PI — угол наклона таза, PT — угол отклонения таза, SS — угол наклона крестца.

Для оценки гармоничности сагиттальных позвоночно-тазовых соотношений проводили сравнительный анализ индивидуальных измерений показателей пациентов с теоретически рассчитанными идеальными значениями. Расчет последних проводили на основе предиктивных формул, предложенных в литературе Schwab с соавторами (2006):  $LL = \frac{1}{2}PI + 40^\circ$ ;  $SS = \frac{1}{2}PI + 15^\circ$  и  $LL = SS + 25^\circ$ . Для верификации точности измерений тазовых параметров дополнительно использовали геометрическую формулу:  $PI = PT + SS$  [156].

С целью измерения величины бедренно-большеберцового угла выполняли построение линий, соответствующих анатомической оси бедренной и большеберцовой костей в боковой проекции и оценивали величину угла между ними (рис. 2.10).



Рисунок 2.10. Показатель бедренно-большеберцового угла в боковой проекции.

Таким образом, совокупная оценка вышеперечисленных рентгенологических показателей позволяет сформировать представление о параметрах сагиттального профиля у обследованных пациентов.

### 2.3.3 Нейрофизиологическое обследование

Поверхностная электромиография (пЭМГ) была включена нами в протокол обследования пациентов с целью проведения комплексной оценки состояния мышц, влияющих на сагиттальный баланс туловища у пациентов с ДЦП при наличии СККС, а также для динамической оценки их состояния в зависимости от хирургических методов коррекции контрактуры. Данное исследование носило поисковый характер и было выполнено на сформированной выборке из 30 пациентов, отбор проводили методом рандомизации поровну между основными группами ( $n = 10$  из группы 1,  $n = 10$  из подгруппы 2А и  $n = 10$  из подгруппы 2Б), что обеспечило её репрезентативность. Основной целью было выявление ключевых паттернов мышечной активности и формирование гипотез для последующих исследований.

Исследование охватывало не только мышцы нижних конечностей, но и ключевые поструральные группы, такие как ягодичные и паравертебральные, что позволяло анализировать влияние хирургической коррекции на глобальные механизмы вертикализации и пострурального контроля у пациентов с ДЦП. На этапе планирования исследования предполагалось, что электрофизиологические показатели могут отразить влияние хирургического вмешательства на функциональное взаимодействие между сегментами и обеспечить дополнительный уровень анализа динамики сагиттального баланса. Полученные данные использовали также для анализа взаимосвязей с клиническими и рентгенологическими показателями с целью более полного понимания эффектов и влияния проводимой коррекции контрактуры на поструральный контроль пациента.

С целью оценки функционального состояния мышечной системы пациентов со СККС на фоне ДЦП было проведено нейрофизиологическое исследование на электронейромиографе «Нейро-МВП-4» (Россия), включавшее пЭМГ. Использовали четырёхканальный нейромиоанализатор НМА-4-01 «Нейромиан» (НПКФ «Медиком», г. Таганрог). В комплекс нейромиоанализатора входит блок пациента для регистрации электромиограмм, электроды, персональный компьютер (IBM PC).

Исследование проводили пациентам до и через 6 месяцев после хирургического лечения, направленного на устранение СККС. Исследование интерференционного паттерна позволяло дать характеристику общего состояния мышечного аппарата пациента на основе одновременной оценки до 8 выбранных мышц и включало в себя динамическую регистрацию ответа мышц правой и левой половины тела.

Выбор исследуемых мышечных групп был обусловлен их ключевой ролью в поддержании сагиттального баланса туловища, а функциональные положения были выбраны с целью отражения основных биомеханических задач (стояние, активное разгибание, ходьба). Исследование включало поверхностную электромиографию следующих мышц: выпрямляющая позвоночник (*m. erector spina*), большая ягодичная (*m. gluteus maximus*), четырёхглавая (*m. quadriceps*

femoris) и мышцы задней поверхности бедра (двуглавая мышца (*m. biceps femoris*), полусухожильная (*m. semitendinosus*), полуперепончатая (*m. semimembranosus*)) и трехглавая мышца голени (*m. triceps surae*). Регистрацию мышечных ответов проводили в трёх функциональных положениях: стоя со свободным положением тела, стоя с максимальным разгибанием в коленных суставах и спины, а также при выполнении шаговых движений.

С целью регистрации ответа мышц нижних конечностей использовали поверхностные электроды с фиксированным межэлектродным расстоянием. Для мышц, выпрямляющих позвоночник, и больших ягодичных использовали одноразовые накожные регистрирующие электроды с переменным межэлектродным расстоянием, которые располагались в проекции моторной точки мышцы (рис. 2.11).



Рисунок 2.11. Расположение поверхностных электродов для регистрации биоэлектрической активности мышц нижних конечностей и паравертебральных мышц

Заземляющий электрод в виде ленты располагался на верхней конечности. Обработка данных включала визуальный анализ сигналов и просмотр результатов. При анализе результатов измеряли эпоху максимальной амплитуды моторного ответа (М-ответа) в абсолютных значениях (мкВ) биопотенциалов мышц-мишеней

за период 1 секунды и проводили их сравнительную оценку до и после хирургического лечения СККС.

#### 2.3.4 Статистический анализ

Анализ данных выполняли с помощью программного обеспечения MS Office 365 Excel и IBM SPSS Statistics 27.

Количественные показатели в исследовании представлены преимущественно в виде медианы (Me) и интерквартильного размаха, указанного в формате [Q1; Q3], где Q1 — 25-й процентиль, а Q3 — 75-й процентиль. В отдельных случаях для описания показателей исходных характеристик групп также использовались среднее арифметическое (M), стандартное отклонение (SD) и диапазон значений (min-max).

На первом этапе оценивали нормальность распределения количественных данных с помощью критерия Шапиро-Уилка (при  $n < 50$ ). Поскольку распределение большинства ключевых переменных статистически значимо отличалось от нормального ( $p < 0,05$ ), для дальнейшего анализа применяли непараметрические методы.

Для сравнения количественных показателей применялись следующие непараметрические критерии:

- Внутригрупповой анализ: для сравнения связанных выборок, а именно, для оценки динамики показателей у одних и тех же пациентов до и после хирургического лечения в каждой из групп (1, 2А и 2Б), использовался Т-критерий знаковых рангов Вилкоксона.

- Межгрупповой анализ: для сравнения двух независимых выборок, то есть для прямого сопоставления результатов между разными группами пациентов (подгруппа 2А и 2Б; группа 1 и подгруппа 2А), применялась двухэтапная процедура:

1. Сначала для каждого пациента вычислялась дельта ( $\Delta$ ) — абсолютное изменение показателя после лечения ( $\Delta = \text{значение после} - \text{значение до}$ ).

2. Затем проводилось сравнение этих дельт между двумя независимыми группами с помощью U-критерия Манна-Уитни.

Для оценки взаимосвязи между качественными и количественными переменными использовали тест ранговой корреляции Спирмена. Уровень статистической значимости был установлен на уровне  $p < 0,05$ .

Сила корреляционных связей интерпретировалась согласно шкале Чеддока:  $|r| = 0.1-0.3$  - слабая корреляция,  $|r| = 0.3-0.5$  - умеренная корреляция,  $|r| > 0.5$  - сильная корреляция. Обработку данных проводили методом парного исключения (попарного удаления), что позволило сохранить максимальный объём выборки.

## ГЛАВА 3

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБСЛЕДОВАНИЯ ПАЦИЕНТОВ СО СГИБАТЕЛЬНОЙ  
КОНТРАКТУРОЙ КОЛЕННОГО СУСТАВА ПРИ ДЕТСКОМ ЦЕРЕБРАЛЬНОМ  
ПАРАЛИЧЕ

В исследование включено 89 детей со сгибательной контрактурой коленного сустава (СККС) на фоне детского церебрального паралича (ДЦП) в возрасте от 4 до 17 лет, проходивших лечение в ФГБУ «НМИЦ детской травматологии и ортопедии имени Г.И. Турнера» с 2022 по 2025 гг. Пациенты были разделены на две группы в зависимости от возраста и метода хирургического лечения: первая группа (n=34) в возрасте от 4 до 11 лет и вторая группа – от 12 до 17 лет, которая, в свою очередь, была подразделена на две подгруппы - 2А (n=30) и 2Б (n=25) в зависимости от методов хирургического лечения СККС, которые применялись пациентам этих групп.

## 3.1 Результаты клинического обследования

Клиническое обследование включало в себя оценку жалоб пациента или его законных представителей, качества жизни детей, измерение амплитуды движений в суставах нижних конечностей, анализ мышечного тонуса и двигательного статуса пациента.

Проведенный анализ проспективных историй болезни и результатов опроса детей и их законных представителей выявил наиболее часто встречающиеся жалобы, связанные с наличием СККС:

- быструю утомляемость при ходьбе;
- боль в переднем отделе коленного сустава во время нагрузки;
- боль в области трехглавой мышцы голени;
- затруднение удержания тела в вертикальном положении;
- потеря возможности к самостоятельному передвижению.

В ходе исследования было установлено, что частота жалоб у пациентов последовательно возрастала с увеличением их возраста: с 12% у пациентов первой группы, до 36% во второй группе в целом (28% в подгруппе 2А и 43% в подгруппе 2Б). Этот факт свидетельствует о прогрессирующем течении заболевания, выражающемся в возрастании нагрузки на опорно-двигательный аппарат за счёт длительности существования СККС и в увеличении частоты жалоб со стороны пациентов по мере увеличения их возраста и двигательных нарушений.

Анализ анамнестических данных показал, что СККС, как и любая другая контрактура при спастических формах ДЦП, развивается на протяжении длительного периода времени. Средняя продолжительность её формирования от момента появления первых признаков недостаточного разгибания в коленном суставе (КС) составила  $4.1 \pm 3.11$  года (диапазон от 1 до 14 лет).

С целью оценки влияния СККС на качество жизни ребенка пациентам и их законным представителям были выданы опросники PedsQL 3.0, разделенные на две версии для родителей и детей. При интерпретации полученных данных установлено, что общее количество баллов по шкале качества жизни было снижено у пациентов обеих групп исследования, но при этом большее снижение отмечалось в первой группе пациентов (таблица 3.1).

Таблица 3.1

Результаты сравнительного анализа уровня качества жизни по данным опросника PedsQL пациентов и родителей.

Наименование групп		Опросник для родителей (общее количество баллов) M±SD (min-max)	Опросник для детей (общее количество баллов) M±SD (min-max)
Первая группа		57±13,4 (39-74)	61±9 (53-72)
Вторая группа	2А	61±20,7 (26-91)	68±14,2 (54-90)
	2Б	68±24,1 (25-95)	83±8,8 (72-95)

Оценка качества жизни пациентов согласно опроснику PedsQL выявила несколько ключевых закономерностей. Родители систематически оценивали качество жизни своих детей значительно ниже, чем сами пациенты. Наибольшее

неудовлетворение качеством жизни отмечалось в доменах, связанных с физической активностью: «перемещение и равновесие», «усталость», «повседневная деятельность». Корреляционный анализ выявил статистически значимую обратную связь между баллами PedsQL и величиной контрактуры ( $\rho = -0,41$ ;  $p < 0,01$ ), а также между результатами PedsQL и возрастом пациента ( $\rho = -0,36$ ;  $p < 0,05$ ).

Анализ средних значений по отдельным доменам опросника PedsQL позволил выявить четкую и последовательную тенденцию в оценке качества жизни между исследуемыми группами (рис. 3.1–2).

Наиболее благополучная картина наблюдалась в подгруппе 2Б. При этом, на основании полученных данных установлено, что такая закономерность была характерна как по самооценке детей (73 балла), так и по мнению родителей (69 баллов). Пациенты этой группы демонстрировали самые высокие результаты по общему баллу, а также в ключевых функциональных доменах, таких как «Перемещение и равновесие» и «Школьные занятия». Однако, в домене «Боль», напротив, были показаны наименьшие баллы в обеих версиях опросника (70 и 67 баллов).

Сравнение результатов опросников подгруппы 2А и первой группы исследования выявило неоднозначную картину. По общему баллу подгруппа 2А демонстрировала несколько лучшие показатели. Однако, в отдельных функциональных доменах, например, «Перемещение и равновесие» по оценке родителей, младшая группа показывала более высокие баллы, чем подгруппа 2А (43 против 37). Таким образом, данные опросников выявили различия в качестве жизни между группами пациентов.

### Сравнительный анализ родительской версии опросников PedsQL

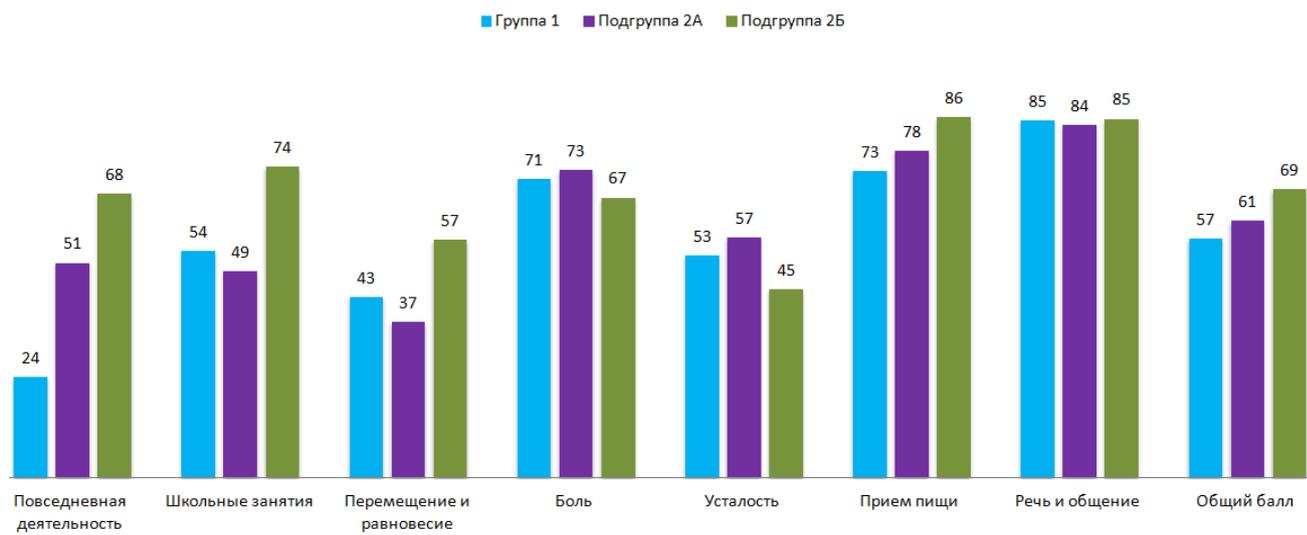


Рисунок 3.1. Сравнительный анализ родительской версии опросников PedsQL

### Сравнительный анализ детской версии опросников PedsQL

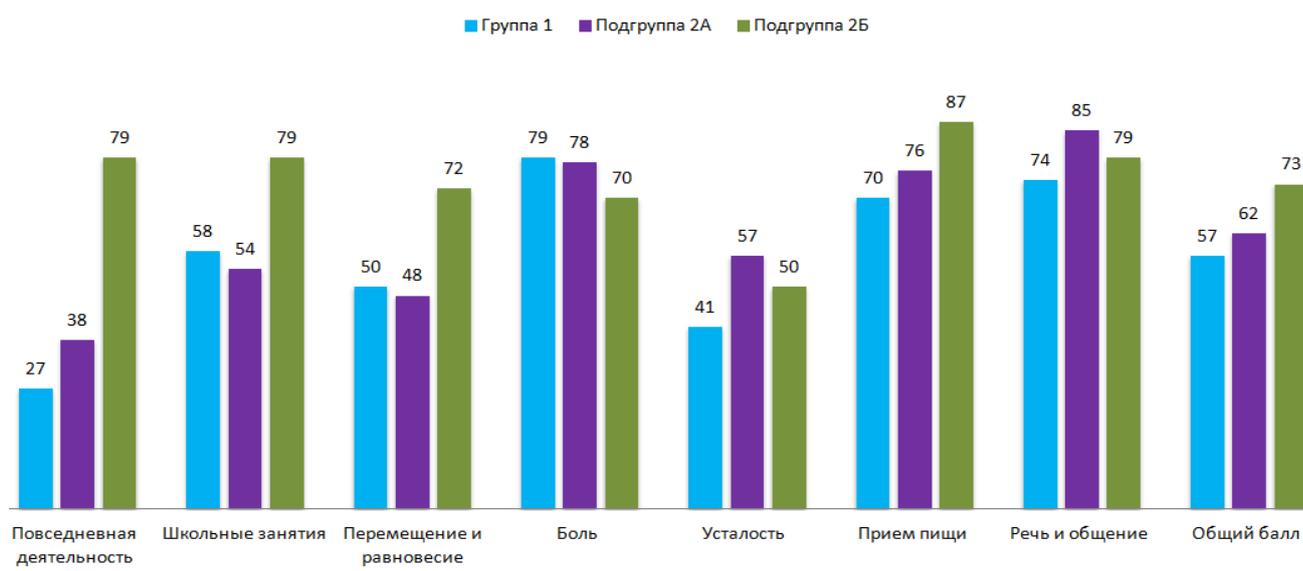


Рисунок 3.2. Сравнительный анализ версии опросников PedsQL для детей

На фоне зафиксированного снижения общего качества жизни и увеличения числа жалоб со стороны пациентов и их законных представителей, результаты оценки функции КС по шкале Kujala выявили противоположную тенденцию. Анализ показал следующие средние значения: в 1 группе  $54,5 \pm 6,69$  балла, в подгруппе 2А -  $59,1 \pm 16,7$  балла и в подгруппе 2Б -  $66,3 \pm 12,6$  балла. Таким образом, наблюдалось явное улучшение субъективной оценки функции КС по мере взросления пациентов, несмотря на утяжеление их ортопедического статуса.

Для дальнейшего изучения факторов, влияющих на качество жизни пациентов, был проведен корреляционный анализ. По версии опросника PedsQL для детей выявлены положительные корреляции двигательного уровня по шкале GMFCS с доменами «повседневная деятельность» ( $\rho = 0,498$ ;  $p < 0,05$ ), «перемещение и равновесие» ( $\rho = 0,381$ ;  $p < 0,002$ ) и «приём пищи» ( $\rho = 0,386$ ;  $p = 0,002$ ). В родительской версии эти связи были выражены сильнее в доменах с «повседневной деятельностью» ( $\rho = 0,522$ ;  $p < 0,001$ ), «перемещением и равновесием» ( $\rho = 0,451$ ;  $p < 0,001$ ), «школой» ( $\rho = 0,443$ ;  $p < 0,001$ ), «приёмом пищи» ( $\rho = 0,348$ ;  $p = 0,006$ ), а также «речью и общением» ( $\rho = 0,29$ ;  $p = 0,02$ ).

Величина СККС, в свою очередь, коррелировала с доменами «перемещение и равновесие» ( $\rho = 0,272$ ;  $p = 0,03$ ) и «усталость» ( $\rho = 0,267$ ;  $p = 0,036$ ) в родительской версии опросника. Возраст пациента показал положительную корреляцию с уровнем усталости, по мнению родителей ( $\rho = 0,419$ ;  $p = 0,001$ ). Следует отметить, что во всех выявленных взаимосвязях коэффициенты корреляции не превышали 0,52, что указывает на слабую или умеренную силу связей.

Следующим этапом исследования стала объективная оценка функции КС с помощью гониометрии. При клиническом осмотре пациентов проводили оценку амплитуды движений в тазобедренных, коленных и голеностопных суставах (таблица 3.2). Анализ амплитуды движений в тазобедренных суставах выявил наличие многоплоскостных контрактур. Средние показатели амплитуды отведения были следующими: в первой группе -  $28 \pm 8^\circ$  ( $20^\circ - 45^\circ$ ), во второй подгруппе 2А -  $30 \pm 7^\circ$  ( $20^\circ - 45^\circ$ ) и в подгруппе 2Б  $27 \pm 9^\circ$  ( $15^\circ - 45^\circ$ ). Полученные результаты свидетельствуют о наличии приводящей контрактуры в тазобедренных суставах (отведение менее  $40^\circ$ ) во всех группах исследования, что непосредственно указывает на укорочение приводящих мышц бедра.

Наиболее выраженные патологические изменения наблюдались при оценке амплитуды ротационных движений в тазобедренных суставах. Наружная ротация в группе 1 составила  $26 \pm 16^\circ$  ( $15 - 80^\circ$ ), в подгруппе 2А -  $23 \pm 10^\circ$  ( $10^\circ - 45^\circ$ ) и в подгруппе 2Б -  $10 \pm 9^\circ$  ( $0 - 30^\circ$ ). Внутренняя ротация в 1-й группе исследования

составила  $60 \pm 14^\circ$  ( $35^\circ$ – $80^\circ$ ), в подгруппе 2А -  $63 \pm 14^\circ$  ( $35^\circ$ – $80^\circ$ ), в подгруппе 2Б -  $79 \pm 9^\circ$  ( $60^\circ$ – $90^\circ$ ).

Таблица 3.2

Средние групповые показатели амплитуды движений в суставах нижних конечностей

Наименование суставов		Амплитуда движений			Нормативные показатели (Маркс В.О. 1978)
		Первая группа, ° M±SD (min-max)	Вторая группа		
			2А, ° M±SD (min-max)	2Б, ° M±SD (min-max)	
Тазобедренные суставы	Отведение	$28 \pm 8^\circ$ ( $20^\circ$ - $45^\circ$ )	$30 \pm 7^\circ$ ( $20^\circ$ - $45^\circ$ )	$27 \pm 9^\circ$ ( $15^\circ$ - $45^\circ$ )	$40^\circ$ - $45^\circ$
	Наружная ротация	$26 \pm 16^\circ$ ( $15^\circ$ - $80^\circ$ )	$23 \pm 10^\circ$ ( $10^\circ$ - $45^\circ$ )	$10 \pm 9^\circ$ ( $0^\circ$ - $30^\circ$ )	$40^\circ$ - $45^\circ$
	Внутренняя ротация	$60 \pm 14^\circ$ ( $35^\circ$ - $80^\circ$ )	$63 \pm 14^\circ$ ( $35^\circ$ - $80^\circ$ )	$79 \pm 9^\circ$ ( $60^\circ$ - $90^\circ$ )	$30^\circ$ - $40^\circ$
Коленные суставы	Разгибание	$166,3 \pm 5,8^\circ$ ( $150^\circ$ - $175^\circ$ )	$162,5 \pm 7,9^\circ$ ( $150^\circ$ - $175^\circ$ )	$166,4 \pm 6^\circ$ ( $155^\circ$ - $175^\circ$ )	$0^\circ$
	Подколенный угол	$105 \pm 8^\circ$ ( $90^\circ$ - $120^\circ$ )	$101 \pm 12^\circ$ ( $90^\circ$ - $125^\circ$ )	$108 \pm 6^\circ$ ( $90^\circ$ - $120^\circ$ )	Более $140^\circ$
	Дефицит активного разгибания	$18 \pm 10^\circ$ ( $5^\circ$ - $45^\circ$ )	$20 \pm 9^\circ$ ( $5^\circ$ - $35^\circ$ )	$17 \pm 9^\circ$ ( $5^\circ$ - $35^\circ$ )	$0^\circ$
Голеностопные суставы	Тыльная флексия	$88 \pm 10^\circ$ ( $70^\circ$ - $110^\circ$ )	$86 \pm 11^\circ$ ( $70^\circ$ - $110^\circ$ )	$87 \pm 11^\circ$ ( $70^\circ$ - $100^\circ$ )	$74^\circ$ - $90^\circ$

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что у пациентов 1-й группы исследования амплитуда движений наружной ротации находилась в пределах физиологической нормы, тогда как во 2-й группе наблюдалось её выраженное ограничение. При этом внутренняя ротация у всех пациентов несет патологический избыточный характер, особенно в подгруппе 2Б, что свидетельствует о формировании у пациентов внутривротационного паттерна.

Исходная величина СККС оценивалась по углу максимального разгибания в КС. Средние значения данного показателя в исследуемых группах составили: в 1-й группе -  $166,3 \pm 5,8^\circ$ , в подгруппе 2А -  $162,5 \pm 7,9^\circ$  и в подгруппе 2Б -  $166,4 \pm 6^\circ$ .

Наличие укорочения мышц задней группы бедра подтверждалось также значительным уменьшением подколенного угла (ПУ), который в среднем по всем

группам исследования был на  $34^\circ$  меньше по сравнению со значением физиологической нормы.

Кроме того, был отмечен выраженный дефицит активного разгибания КС, который во всех группах превышал величину пассивной сгибательной контрактуры. Средние значения дефицита активного разгибания составили: в 1-й группе -  $18 \pm 10^\circ$  ( $5^\circ - 45^\circ$ ), в подгруппе 2А -  $20 \pm 9^\circ$  ( $5^\circ - 35^\circ$ ) и в подгруппе 2Б -  $17 \pm 9^\circ$  ( $5^\circ - 35^\circ$ ).

В среднем показатели тыльной флексии голеностопного сустава находились в пределах референтных значений, однако анализ диапазона выявил наличие эквинусной контрактуры у ряда пациентов: в 1-й группе - у 21 пациента, в подгруппе 2А - у 3 пациентов и в подгруппе 2Б - у 4-х. Положительный тест Сильвершильда у данных пациентов указывал на ведущую роль укорочения икроножной мышцы в формировании СККС.

При оценке формы стоп было выявлено преобладание plano-вальгусного типа деформации во всех группах исследования. Наибольшая доля пациентов с данной патологией зафиксирована в 1-й группе и подгруппе 2А (данные представлены в таблице 3.3).

Таблица 3.3

Распределение пациентов по форме стоп по группам

Наименование групп		Форма стоп	
		Удовлетворительная, n / %	Плано-вальгусная, n / %
Первая группа		12 пациентов / 35%	22 пациентов / 65%
Вторая группа	2А	13 пациентов / 43%	17 пациентов / 57%
	2Б	14 пациентов / 56%	11 пациентов / 44%
Всего		39 пациентов / 44%	50 пациентов / 56%

С целью изучения взаимосвязи величины СККС с частотой жалоб на повышенную утомляемость и выраженностью болевого синдрома был проведен соответствующий анализ. Выявлена четкая тенденция к увеличению числа жалоб по мере прогрессирования контрактуры. Так, например, в группе пациентов с наименее выраженными контрактурами (1-я группа n=34) жалобы отмечались лишь

у 12% обследуемых. При переходе к более выраженным контрактурам (2-я группа) доля пациентов, предъявляющих жалобы, последовательно и значительно возрастала: в подгруппе 2А (n=30) жалобы предъявляли уже 28% пациентов, а в подгруппе 2Б (n=25) - 43% больных. Такое распределение свидетельствует о наличии прямой зависимости между выраженностью контрактуры и субъективными проявлениями заболевания со стороны пациента.

Статистический анализ подтвердил достоверность этой взаимосвязи, выявив сильную положительную корреляцию ( $\rho = 0,62$ ,  $p < 0,01$ ) между величиной контрактуры и частотой жалоб у пациентов.

Следующим этапом исследования осуществляли анализ взаимосвязи между уровнем двигательных функций по шкале GMFCS и величиной СККС. В таблице 3.4 представлены средние значения угла контрактуры в зависимости от уровня по GMFCS в каждой группе.

Таблица 3.4

Распределение пациентов в зависимости от двигательного уровня по GMFCS и средняя величина сгибательной контрактуры коленного сустава

Группа		Уровень GMFCS	Количество пациентов, n	Средний угол контрактуры, ° (±SD)	Диапазон °
1 группа		2	12	11.7° (±6.8)	5°-30°
		3	22	12.9° (±4.5)	5°-20°
2 группа	2А	2	7	16.3° (±9.2)	5°-30°
		3	23	20.8° (±8.9)	5°-45°
	2Б	2	18	13.9° (±6.4)	5°-30°
		3	7	15° (±8.7)	10°-25°

Из таблицы 3.4 следует, что, несмотря на визуально отмечаемую тенденцию к увеличению среднего угла контрактуры при повышении двигательного уровня по шкале GMFCS в отдельных подгруппах, для объективной оценки данной зависимости был выполнен анализ ранговой корреляции Спирмена. Статистически значимой связи между указанными параметрами выявлено не было.

### 3.2 Методологическое примечание: рентгенологический стандарт Pelvic tilt

Оценка исходного сагиттального профиля пациентов проводилась на основании рентгенологического обследования в положении стоя. Ключевым аспектом методологии являлось распределение пациентов в зависимости от положения таза, определяемого по величине показателя Pelvic Tilt (PT).

Следует отметить, что интерпретация PT в данном исследовании базируется на общепринятом рентгенологическом стандарте спинальной ортопедии (в частности, классификации SRS-Schwab), который принципиально отличается от динамических показателей, используемых в системе трехмерного биомеханического анализа походки (Gait Analysis). Наше исследование использует следующие критерии PT для статической оценки сагиттального баланса (рис. 3.3):

- Антеверзия таза (передний наклон):  $PT < 5^\circ$ ;
- Нейтральное положение: PT в диапазоне  $5^\circ - 20^\circ$ ;
- Ретроверзия таза (наклон назад):  $PT > 20^\circ$ .



Рисунок 3.3. Критерии классификации угла наклона таза (Pelvic Tilt, PT), использованные в исследовании для оценки сагиттального баланса.

Таким образом, прямое сопоставление результатов настоящего исследования с данными работ, посвященных анализу положения таза в контексте кинематики движений, следует считать методологически некорректным, поскольку указанные подходы отражают разные аспекты положения таза: динамические параметры походки и статические анатомические взаимоотношения. В нашем исследовании оценивались преимущественно статические рентгенологические показатели позвоночно-тазового комплекса в положении стоя, что исключает их сопоставление с кинематическими данными.

Применение рентгенологических параметров обеспечивает более высокую степень доказательности при оценке пространственных характеристик позвоночно-тазовых соотношений. Использование данного стандарта является строгим и объективным инструментом, позволяющим достоверно оценивать влияние хирургической коррекции СККС не только на изменение угла наклона таза, но и на состояние глобального сагиттального баланса.

### 3.3 Результаты рентгенологического обследования

Основной целью рентгенологического обследования в настоящем исследовании являлось не описание структурных деформаций при СККС, а выявление и обоснование концептуальной модели биомеханических компенсаций, развивающихся в ответ на прогрессирование контрактуры. Мы стремились не ограничиваться констатацией нарушений анатомической оси, а выявить и подтвердить наличие патогенетических механизмов формирования и эволюции сформированных компенсаторных паттернов на уровне всей биомеханической цепи «коленный сустав – таз – позвоночник».

Для решения этой задачи было проведено рентгенологическое обследование 89 пациентов в возрасте от 4 до 17 лет, у которых анализировали не только показатели объема движений КС, но и позвоночно-тазовых соотношений в сагиттальной плоскости. Сводные данные и результаты сравнительного анализа между исследуемыми группами представлены в таблице 3.5.

Анализ полученных рентгенологических данных показал, что у всех обследованных пациентов имеются нарушения анатомической оси нижних конечностей, проявляющиеся изменением бедренно-большеберцового угла в диапазоне от  $155,4 \pm 11,5^\circ$  до  $165,6 \pm 6,7^\circ$ . Во всех группах исследования было выявлено высокое положение надколенника (*patella alta*), что подтверждается значением индекса Insall-Salvati (в среднем от 1,6 до 1,7). Такое патологическое состояние также считается характерным признаком, сопутствующим длительно существующей СККС. При сравнительном анализе 1 и 2 групп пациентов выявлены

существенные различия в рентгенологической картине. У пациентов младшей возрастной категории (1-я группа) среднее значение индекса Insall-Salvati оказалось на 0,1 выше, чем у детей старшего возраста (2-я группа).

Таблица 3.5

Сравнительный анализ рентгенологических показателей в исследуемых группах

Рентгенологические показатели	1 группа	2 группа		Здоровые дети (Mac-Thiong., et al. 2007; Hesarikia H. et al. 2018)
		2А	2Б	
Среднее арифметическое и стандартное отклонение (M±sd)				
Pelvic tilt (PT)	14,5±11,7°	8,2±14°	2,9±10,8°	10,3±6,5°
Pelvic incidence (PI)	41,7±8,2°	44,7±13,9°	40,1±11,5°	45,4±10,7°
Sacral slope (SS)	27,2±11°	36,5±11,1°	37,1±9°	35,4±8,1°
Thoracic kyphosis по Cobb	44,8±14,4°	52,2±14,6°	44,5±13,1°	37,1±9,9°
Lumbar lordosis по Cobb	37±16,5°	54,4±20,8°	50,1±15,4°	39,6±12,4°
Sagittal vertical axis (SVA)	51,7±58 мм	29,3±88,6 мм	43,4±57,3 мм	<50 мм
Индекс Insall-Salvati	1,7±0,4	1,6±0,2	1,6±0,1	0,8-1,2
Бедренно-большеберцовый угол (ББУ)	164,7±9,8°	155,4±11,5°	165,6±6,7°	180±5°

При анализе индивидуальных рентгенологических показателей была выявлена выраженная гетерогенность пациентов старшей возрастной группы по параметру положения таза (Pelvic tilt, PT). В отношении пациентов 1 группы подобное деление не применялось в виду высокой постуральной пластичности и отсутствия ригидных деформаций в этом возрасте.

В зависимости от исходного значения PT пациенты подгрупп 2А и 2Б были разделены на три группы:

- Группа с антеверзией таза (передний наклон): значения PT < 5°;
- Группа с нейтральным положением таза: значения PT в диапазоне 5°–20°;
- Группа с ретроверзией таза (задний наклон): значения PT > 20°.

Углубленный анализ позволил выявить, что подгруппы 2А и 2Б принципиально различались по их дооперационному положению таза в сагиттальной плоскости.

Подгруппа 2А оказалась гетерогенной в неё вошли пациенты с тремя типами положения таза: с исходной антеверзией 13 человек, с нейтральным - 10 человек, с выраженным наклоном таза назад 7 человек. Напротив, подгруппа 2Б была представлена преимущественно пациентами с исходно нейтральным или передним положением таза (по 12 человек соответственно), и только у одного человека наблюдался наклон таза назад.

Это различие является ключевой находкой нашего исследования, поскольку демонстрирует фундаментальное различие биомеханических сагиттальных профилей у пациентов с СККС.

Анализ позвоночно-тазовых соотношений выявил два принципиально различных типа осанки (по классификации P. Roussouly) [149]. У пациентов 1-й группы и подгруппы 2А отмечался II тип осанки - «плоская спина», который характеризуется сниженными значениями тазовых параметров (PI, PT, SS) и уменьшенным поясничным лордозом, а также значительным смещением сагиттальной вертикальной оси (SVA) кпереди. Данные параметры соответствуют декомпенсированному типу осанки с ограниченными компенсаторными возможностями таза. Принципиально иные показатели были получены при анализе рентгенологических показателей пациентов подгруппы 2Б, которые продемонстрировали параметры, соответствующие III типу осанки - «сбалансированная осанка», которая характеризуется сбалансированными значениями позвоночно-тазовых параметров (PI, PT, SS) и физиологическим положением SVA. Однако в ходе исследования установлено, что данная компенсация достигается за счёт формирования умеренного поясничного гиперлордоза ( $50,1 \pm 15,4^\circ$ ), значение которого превышает верхнюю границу нормативного диапазона, рассчитанного для соответствующей тазовой морфологии по формуле ( $GLL \approx PI+9^\circ$ ).

Ключевым показателем, отражающим состояние глобального сагиттального баланса, являлась сагиттальная вертикальная ось (SVA). В исследуемых группах значения SVA варьировали в широком диапазоне: от  $29,3 \pm 88,6$  мм, что соответствовало компенсированному состоянию, до  $51,7 \pm 58$  мм,

свидетельствовавших о начальной декомпенсации, отражая различные стадии адаптационно-компенсаторных возможностей организма в ответ на наличие СККС.

Таким образом, рентгенологический анализ позволил выявить, что пациенты со СККС, в зависимости от возраста и, вероятно, длительности заболевания, формируют два принципиально различных механизма адаптации позвоночно-тазового комплекса. Были выявлены группы пациентов с декомпенсированным типом осанки («плоская спина») и компенсированным типом («сбалансированная осанка»), который достигался за счёт развития поясничного гиперлордоза.

Наличие этих различных сагиттальных профилей у детей ставит закономерный вопрос о лежащих в их основе биомеханических взаимосвязях. Для статистической оценки того, как именно СККС связана с параметрами таза и позвоночника в каждой из исследуемых групп, в следующих разделах был проведен корреляционный анализ.

### 3.4. Результаты анализа клинико-рентгенологических методов обследования

Для оценки влияния СККС у пациентов с ДЦП на параметры позвоночно-тазовых соотношений был проведен корреляционный анализ между клиническими и рентгенологическими показателями в рамках каждой из исследуемых групп.

#### 3.4.1 Результаты анализа параметров в первой группе

В 1-й группе был выявлен ряд статистически значимых взаимосвязей между клиническими и рентгенологическими показателями, отражающих влияние СККС у пациентов с ДЦП на смежные клинико-биомеханические параметры, что свидетельствует о преимущественно локальном характере нарушений. Наиболее важные корреляции представлены на рисунке 3.4.

В ходе исследования установлено, что величина сгибательной контрактуры показала сильную положительную связь с ПУ ( $\rho = 0,55$ ;  $p = 0,001$ ) и сильную отрицательную связь с дефицитом активного разгибания ( $\rho = -0,57$ ;  $p = 0,001$ ).

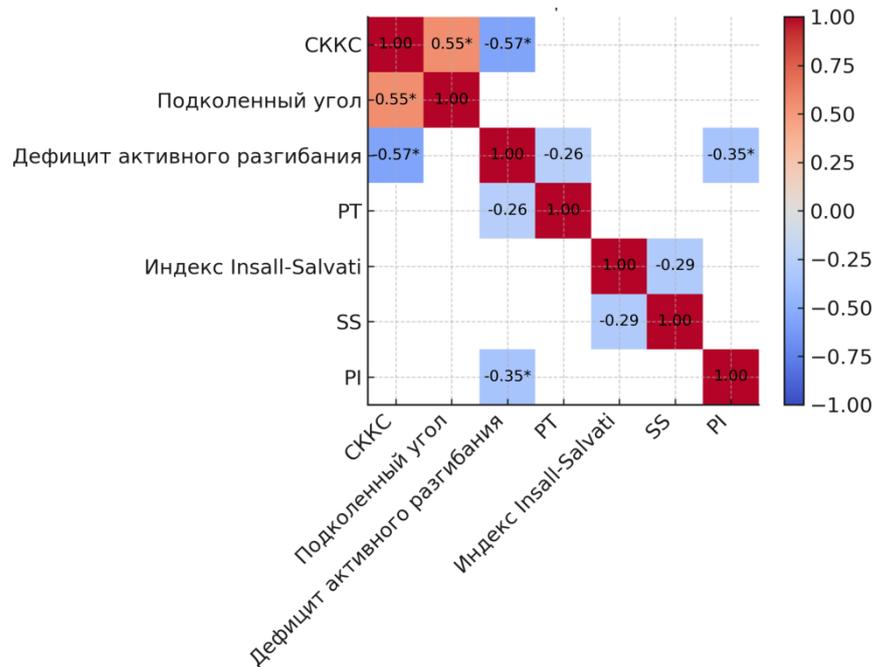


Рисунок 3.4. Тепловая карта матрицы корреляции для первой группы

Анализ внутригрупповых взаимосвязей позвоночно-тазовых параметров подтвердил их тесную биомеханическую взаимосвязь. Эти данные отражают сложные механизмы поддержания сагиттального баланса туловища у детей с ДЦП и подчеркивают важность комплексной оценки состояния всего опорно-двигательного аппарата.

Несмотря на отсутствие статистически значимых корреляций между величиной контрактуры и большинством параметров сагиттального баланса в ходе исследования выявлены клинически важные тенденции. Слабая отрицательная корреляция между дефицитом активного разгибания с PT ( $\rho = -0,26$ ;  $p = 0,134$ ) и индексом Insall-Salvati с SS ( $\rho = -0,291$ ;  $p = 0,096$ ), что может указывать на начальные этапы формирования компенсаторных изменений осанки.

Таким образом, у пациентов 1-й группы не было выявлено статистически значимых корреляций между параметрами СККС и ключевыми показателями сагиттального баланса (PT, SS, LL, SVA). Единственным исключением стала статистически значимая умеренная отрицательная корреляция между дефицитом активного разгибания и параметром тазового индекса (PI) ( $\rho = -0,35$ ;  $p = 0,04$ ).

### 3.4.2. Результаты анализа параметров в подгруппе 2А

У пациентов подгруппы 2А проведенный анализ выявил специфические биомеханических взаимосвязи, в которых СККС оказывает прямое влияние на глобальный сагиттальный баланс туловища. Наиболее важные корреляции представлены на рисунке 3.5.

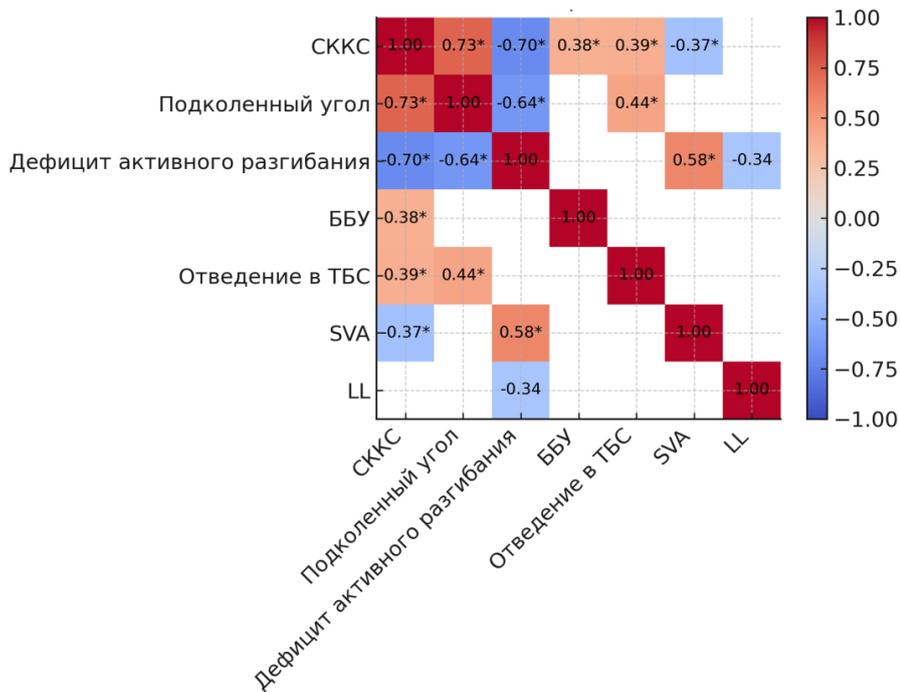


Рисунок 3.5. Тепловая карта матрицы корреляции для подгруппы 2А

Клинические параметры, отражающие выраженность СККС, продемонстрировали сильные и статистически значимые взаимные корреляции: между сгибательной контрактурой и ПУ ( $\rho = 0,73$ ;  $p < 0,001$ ), между сгибательной контрактурой и дефицитом активного разгибания ( $\rho = -0,7$ ;  $p < 0,001$ ), между ПУ и дефицитом активного разгибания ( $\rho = -0,64$ ;  $p < 0,001$ ).

Анализ выявил ограниченное влияние СККС на смежные сегменты нижних конечностей в данной подгруппе пациентов. Была установлена единственная статистически значимая умеренная положительная корреляция между величиной СККС и бедренно-большеберцовым углом ( $\rho = 0,38$ ;  $p = 0,037$ ), при этом между другими клиническими параметрами КС достоверной взаимосвязи выявлено не было ( $p > 0,05$ ). В ходе работы также не было выявлено значимых корреляций

между индексом Insall-Salvati и основными ангулометрическими параметрами КС ( $p > 0,05$ ).

Взаимосвязи с ротационными движениями в тазобедренных и голеностопных суставах были преимущественно статистически незначимы ( $p > 0,05$ ). Однако были установлены статистически значимые положительные корреляции между отведением в тазобедренных суставах и величиной СККС ( $\rho = 0,39$ ;  $p = 0,035$ ), а также ПУ ( $\rho = 0,44$ ;  $p = 0,016$ ).

Важнейшим результатом исследования стало выявление статистически подтвержденных патогенетических взаимосвязей между СККС и параметрами позвоночного баланса, имеющих фундаментальное клиническое значение. Установлено, что дефицит активного разгибания КС продемонстрировал сильную положительную взаимосвязь с сагиттальной вертикальной осью (SVA) ( $\rho = 0,58$ ;  $p < 0,001$ ) и выраженной статистической тенденцией к отрицательной корреляции с поясничным лордозом (LL) ( $\rho = -0,34$ ;  $p = 0,067$ ). А также была выявлена умеренная отрицательная корреляция между величиной СККС и сагиттальной вертикальной осью (SVA) ( $\rho = -0,37$ ;  $p = 0,044$ ).

Эти связи могут указывать на наличие компенсаторных поструральных адаптаций. Увеличение СККС связано с уменьшением поясничного лордоза (LL) и смещением корпуса кпереди (увеличение SVA), что является признаком декомпенсации сагиттального баланса туловища.

Стоит подчеркнуть, что такая глобальная декомпенсация развивалась на фоне «ригидного» таза. Клинические параметры КС не продемонстрировали никаких достоверных связей с параметрами таза (PT, PI, SS) и грудным кифозом (TK). Отсутствие корреляций указывает на то, что у пациентов данной группы таз не участвует в компенсации СККС путем изменения наклона туловища. Вся компенсаторная нагрузка ложится непосредственно на позвоночник. При этом внутренние биомеханические связи между параметрами таза и позвоночника оставались сохранными, что подтверждается наличием сильных корреляционных связей между PI, PT, SS, TK и LL.

### 3.4.3 Результаты анализа параметров в подгруппе 2Б

Анализ клинико-рентгенологических параметров у пациентов подгруппы 2Б, в отличие от предыдущей группы, выявил иную картину статистически значимых взаимосвязей, указывающую на другой тип компенсации в ответ на СККС. Ключевые корреляции, лежащие в основе этого механизма адаптации, представлены на рисунке 3.6.

В ходе исследования выявлена взаимосвязь между клиническими параметрами КС при сгибательной контрактуре: сильная отрицательная корреляция между СККС и дефицитом активного разгибания ( $\rho = -0,79$ ;  $p < 0,001$ ), примечательно, что, значимой связи с ПУ выявлено не было ( $p > 0,05$ ).

В ходе исследования установлена умеренная положительная корреляция между величиной сгибательной контрактуры и углом наклона крестца (SS) ( $\rho = 0,46$ ;  $p = 0,021$ ). Аналогично, дефицит активного разгибания также продемонстрировал умеренную отрицательную взаимосвязь с тазовым индексом (PI) ( $\rho = -0,49$ ;  $p = 0,013$ ) и наклоном крестца (SS) ( $\rho = -0,44$ ;  $p = 0,027$ ).

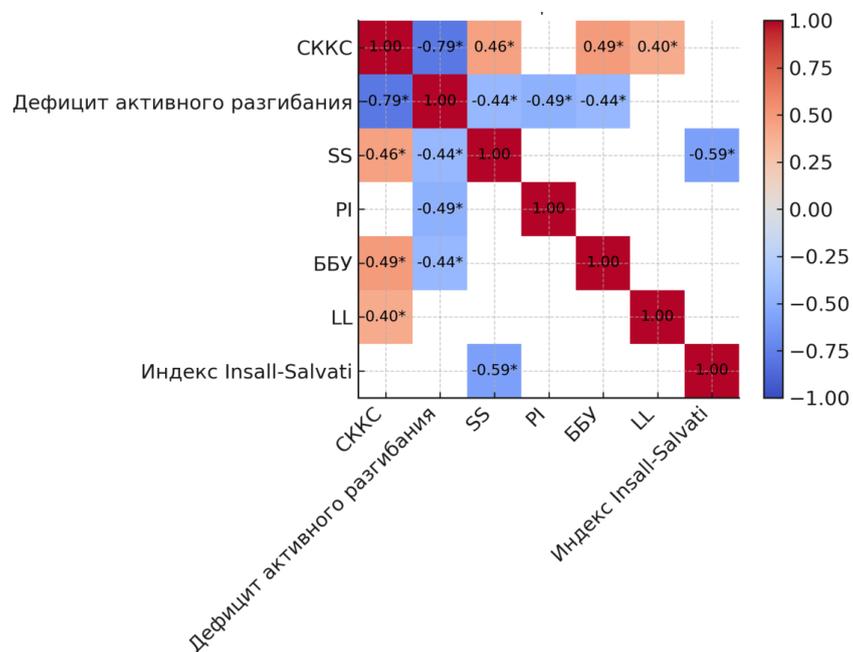


Рисунок 3.6. Тепловая карта матрицы корреляции для подгруппы 2Б

В этой подгруппе исследования, в отличие от других групп пациентов, бедренно-большеберцовый угол (ББУ) показал умеренную

положительную корреляцию со сгибательной контрактурой ( $\rho = 0,49$ ;  $p = 0,011$ ) и умеренная отрицательная взаимосвязь с дефицитом активного разгибания ( $\rho = -0,44$ ;  $p = 0,03$ ).

Важно отметить, что при тазовом типе компенсации, характерном для данной подгруппы, патологический процесс не затрагивает позвоночник равномерно. В то время как для грудного кифоза (ТК) прямого влияния СККС не выявлено ( $p > 0,05$ ), для поясничного лордоза (LL) была установлена статистически значимая умеренная положительная корреляция с величиной СККС ( $\rho = 0,403$ ;  $p = 0,046$ ). Это позволяет сделать вывод о том, что основным элементом компенсации являются изменения именно в тазовом комплексе. При этом, как и ожидалось, внутренние биомеханические связи между параметрами таза и позвоночника оставались сохранными, что подтверждается наличием классических сильных корреляций. Взаимосвязи с движениями в тазобедренных и голеностопных суставах были преимущественно статистически незначимы ( $p > 0,05$ ).

Таким образом, анализ данных в подгруппе 2Б продемонстрировал комплекс взаимосвязей, противоположный предыдущей группе. Были установлены статистически значимые корреляции между параметрами СККС и показателями таза (наклон крестца), а также бедренно-большеберцовым углом. Одновременно с этим, установлено различное влияние параметров изгибов позвоночника: статистически значимая взаимосвязь с грудным кифозом не выявлена ( $p > 0,05$ ), тогда как для поясничного лордоза определена достоверная положительная корреляция ( $\rho = 0,403$ ;  $p = 0,046$ ).

### 3.5 Результаты нейрофизиологического обследования

Нейрофизиологическое исследование в объеме электромиографии с регистрацией амплитуды М-ответа при стимуляции мышечных волокон было проведено 30 пациентам со СККС при ДЦП в возрасте от 4 до 17 лет.

Для оценки мышечной активности у пациентов было проведено две функциональные пробы, направленных на анализ особенностей мышечной

активации в трех биомеханических положениях: стоя, полное разгибание спины и коленных суставов, а также шаговые движения. Выбор указанных положений был обусловлен необходимостью оценки стабилизации мышц туловища и нижних конечностей при поддержании сагиттального баланса, а также участия мышц разгибателей спины и нижних конечностей во время движения, для выявления координации произвольной активации мышц, включая работу антагонистов и синергистов мышц во время шага.

Характеристика средних значений параметров электрогенеза мышц нижних конечностей и туловища (проба №1 и №2) у пациентов со СККС при ДЦП до проведения хирургического лечения в зависимости от групп представлена в таблице 3.6–7.

На основании электромиографической регистрации активности мышц нижних конечностей и туловища в трёх функциональных положениях у пациентов были получены следующие результаты:

1. Первая группа:

- В положении стоя наблюдался физиологический профиль активации мышц с равномерным распределением нагрузки между всеми мышечными группами, обеспечивающий оптимальный баланс тела.

- В положении выпрямления - физиологическое увеличение активности мышц разгибателей, особенно *m. Erector spine* (средняя амплитуда 218.3 мкВ), *m. Semimembranosus* (средняя амплитуда 352.4 мкВ), *m. Gluteus max* (средняя амплитуда 214 мкВ), с прогрессирующей активацией в динамике.

- Во время шага - высокая активность *m. Gastrocnemius* (средняя амплитуда 714.2 мкВ) при умеренной активации других мышц, что свидетельствует о координированном участии мышц стабилизаторов и разгибателей.

Параметры электрогенеза мышц нижних конечностей и туловища у пациентов со СККС при ДЦП (проба №1)

Мышцы	Первая группа (мкВ) M±SD	Вторая группа	
		2А (мкВ) M±SD	2Б (мкВ) M±SD
В положении стоя			
L. Erector spine	216.6±150	128,4±70,2	195,7±102.6
L. Rectus femoris	220.7±109	256,6±227.4	189,9±122.2
L. Semimembranosus	222±136.1	224,6±183.6	202,6±141.7
L. Gastrocnemius	186.5±66.9	97,6±64.3	158,6±100
R. Erector spine	170.5±79.5	155,8±131.6	150,7±97.1
R. Rectus femoris	277.4±162.2	157,6±97.7	198±123
R. Semimembranosus	197.4±152	125,8±90.4	188,7±160
R. Gastrocnemius	179±110.1	114,0±81.6	153,9±92.3
В положении максимального разгибания в коленных суставах и спины			
L. Erector spine	218.3±196	95,6±42.5	207,8±176.1
L. Rectus femoris	372.5±361.5	576,8±333.1	416,7±469.7
L. Semimembranosus	352.4±281.9	252,2±147.3	268±124.6
L. Gastrocnemius	230±122.8	175,6±90.9	191±90
R. Erector spine	238±141.6	117,8±65.6	164,1±124.3
R. Rectus femoris	427.6±379.6	462,2±264.9	449,7±304
R. Semimembranosus	308.7±187.7	231,2±192.7	223,4±126.6
R. Gastrocnemius	183.2±71.3	166,6±67.2	201,1±80.5
Во время шаговых движений			
L. Erector spine	284.1±184.2	397,8±107.9	340,9±184.1
L. Rectus femoris	444.9±222.6	810±509.9	393,8±340.7
L. Semimembranosus	386.3±293.8	675,8±491	369,7±164.6
L. Gastrocnemius	585.1±709.4	483±356.9	342,8±166.8
R. Erector spine	320.5±424.9	242,8±114.9	355,3±219.5
R. Rectus femoris	430.2±249.4	751,5±399.8	475,5±347.7
R. Semimembranosus	276.6±165.2	401,8±237.7	315,2±183.5
R. Gastrocnemius	277.9±80.8	421,3±282.9	317±73.2

Параметры электрогенеза мышц нижних конечностей и туловища у пациентов со СККС при ДЦП (проба №2)

Мышцы	Первая группа (мкВ) M±SD	Вторая группа	
		2А (мкВ) M±SD	2Б (мкВ) M±SD
В положении стоя			
L. Erector spine	168.4±116.3	133,2±61.3	228.3±168.2
L. Gluteus max	156.7±139.3	80,4±51.5	131.3±106.3
L. Rectus femoris	203.8±66.6	383,3±255.6	221,3±167.3
L. Tibialis	181±57.2	437±350	264,8±157
L. Gastrocnemius	210.8±66	135,8±70	169,3±75.2
R. Erector spine	183.4±117.1	151,4±136.6	216.6±127.5
R. Gluteus max	122.8±80.5	85,6±45.4	114.9±97.1
R. Rectus femoris	196.6±142.4	228,5±145.9	283,3±241.1
R. Tibialis	138.4±99.6	244±55.6	228,4±155
R. Gastrocnemius	157.2±48.7	137±18.3	198,6±119.2
В положении максимального разгибания в коленных суставах и спины			
L. Erector spine	157.1±54.3	93,4±45.8	226.1±223.9
L. Gluteus max	214±144.3	141,4±111.4	153.2±134
L. Rectus femoris	416.4±358.8	935,5±916.8	348±309
L. Tibialis	322±189	464,3±354.1	286±164.2
L. Gastrocnemius	366.4±240.9	236,5±139.4	157,7±63.8
R. Erector spine	262.5±202.5	113±70.9	171±149.5
R. Gluteus max	226.7±91	188,2±162.1	149.8±115.5
R. Rectus femoris	557.2±484	578,3±396.9	411,7±297.6
R. Tibialis	353.8±280.5	324,8±220.6	193,3±92.4
R. Gastrocnemius	259±113.5	232,5±110	186,7±91.2
Во время шаговых движений			
L. Erector spine	250±164.4	339.6±160.1	342.2±194.5
L. Gluteus max	235±166.9	355,6±265.9	501±478.9
L. Rectus femoris	453.6±223.8	840,0±932.6	588,4±548.4
L. Tibialis	480.6±290.3	509,5±405.2	538,7±492.4
L. Gastrocnemius	714.2±765.2	350,3±190.4	421,3±205.3
R. Erector spine	342.5±433.5	208.4±125.7	347±227.5
R. Gluteus max	237.1±182.4	202,6±168.2	324.8±341.6
R. Rectus femoris	503.6±444.8	595,0±383.3	522±390.4
R. Tibialis	368.4±262.9	565,5±212.8	415,6±320.5
R. Gastrocnemius	295±109	428,0±193.1	421,9±229.3

## 2. Вторая группа

### 1) Подгруппа 2А

- В положении стоя наблюдалось снижение активности мышц разгибателей, особенно m. Gastrocnemius (средняя амплитуда 135,8 мкВ) на фоне

гиперактивности *m. Rectus femoris* (средняя амплитуда 383,3 мкВ), указывающей на переднюю спастическую синергию и мышечный дисбаланс.

- В положении выпрямления – преобладала активность *m. Rectus femoris* (средняя амплитуда 935,5 мкВ) при слабой и асимметричной активации мышц разгибателей спины (*m. Erector spine* - 93,4 мкВ) и бедра (*m. Gluteus max* -141,4 мкВ) и нижних конечностей, что отражает спастическую синергию.

- Во время шага - гиперактивность всех мышц, особенно *m. Erector spine* (средняя амплитуда 397.8 мкВ), *m. Rectus femoris* (840 мкВ), *m. Semimembranosus* (675,8 мкВ) и *m. Tibialis anterior* (509,5 мкВ), что может указывать на гиперсинергию и выраженный мышечный дисбаланс.

## 2) Подгруппа 2Б

- В положении стоя – активность мышц ближе к физиологической, но снижена для *m. Erector spine* (средняя амплитуда 195,7 мкВ), что может отражать слабость этой группы мышц.

- В положении выпрямления – высокая активность *m. Erector spine* (до 226.1 мкВ) при слабой активации мышц нижних конечностей.

- Во время шага - активность снижена, особенно для *m. Gastrocnemius* (до 342.8 мкВ) и *m. Semimembranosus* (до 369,7 мкВ).

Электрофизиологические данные, полученные до хирургического лечения, дополняют клинические и рентгенологические характеристики пациентов и могут служить дополнительным критерием стратификации нарушений.

С целью объективной оценки связи между электрической активностью мышц и двигательным функциональным состоянием пациентов был проведен корреляционный анализ между показателями ЭМГ и уровнем двигательной активности по шкале GMFCS для каждой группы исследования.

В 1-й группе были выявлены сильные положительные корреляции между уровнем по шкале GMFCS и амплитудой биоэлектрической активности ключевых мышц-стабилизаторов (коэффициенты Спирмена варьировали от 0,79 до 0,85). В частности, значимые связи были установлены для *m. Rectus femoris*, *m. Gluteus maximus* и *m. Gastrocnemius* во всех функциональных пробах. Полученные

результаты указывали на то, что у детей 1-й группы исследования (младшего возраста) более высокий уровень двигательной активности напрямую связан с лучшими показателями функциональной сохранности мышц.

В подгруппе 2А также была установлена сильная взаимосвязь между уровнем по шкале GMFCS и мышечной активностью (коэффициенты Спирмена достигали  $\pm 0,89$ ). Были выявлены сильные положительные корреляции (для *m. Semimembranosus* и *m. Erector spinae*), а также ряд сильных обратных связей (для *m. Rectus femoris* и *m. Tibialis anterior* в положении стоя). Обратная корреляция предполагает, что у пациентов с более низким уровнем по GMFCS наблюдалась компенсаторная гиперактивность данных групп мышц. Это отражает формирование индивидуальных особенностей перераспределения мышечной нагрузки при декомпенсированном типе сагиттального баланса.

В подгруппе пациентов 2Б, напротив, наиболее выраженная положительная корреляция была отмечена между уровнем по шкале GMFCS и активностью *m. Gastrocnemius* в положении стоя ( $\rho = 0,78$ ). Этот факт может указывать на то, что при компенсации на уровне таза функциональная сохранность икроножной мышцы остается важным маркером двигательных возможностей.

### 3.6 Резюме

В настоящей главе представлены результаты комплексного обследования 89 пациентов со СККС при ДЦП. Клинический анализ продемонстрировал, что прогрессирование контрактуры с возрастом прямо коррелирует с увеличением частоты жалоб и снижением качества жизни.

Ключевым результатом исследования стало установление того, что адаптация опорно-двигательного аппарата к СККС носит эволюционный характер. У пациентов младшей возрастной группы (4–11 лет), выявлен локальный характер нарушений не оказывающего влияния на глобальный сагиттальный баланс. Однако у пациентов старшего возраста (старше 12 лет) формируются два различных типа системной постуральной дезадаптации: тип позвоночной декомпенсации (II тип

осанки по Roussouly, «плоская спина») и тип тазовой компенсации (III тип осанки по Roussouly, «сбалансированная осанка»).

Различие данных паттернов нашло отражение в результатах электромиографического исследования. В совокупности, представленные в главе данные свидетельствуют о наличии эволюционной последовательности в развитии постуральных нарушений, инициированных СККС. Эта последовательность берет начало от локальной биомеханической проблемы и приводит к формированию одного из двух типов глобального сагиттального дисбаланса, что создает объективную основу для последующей интерпретации и обсуждения подходов к лечению данной категории пациентов.

## ГЛАВА 4

ОСОБЕННОСТИ ХИРУРГИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ И ПОСЛЕОПЕРАЦИОННОГО  
ВЕДЕНИЯ ПАЦИЕНТОВ СО СГИБАТЕЛЬНОЙ КОНТРАКТУРОЙ КОЛЕННОГО  
СУСТАВА ПРИ ДЕТСКОМ ЦЕРЕБРАЛЬНОМ ПАРАЛИЧЕ

В настоящей главе представлены основные принципы и технические особенности хирургических вмешательств, применявшихся в исследуемых группах пациентам с ДЦП со сгибательными контрактурами коленных суставов (СККС). Ключевое различие между представленными группами исследования заключалось в варианте воздействия на опорно-двигательный аппарат пациента в ходе вмешательства: операции на сухожильно-мышечном сегменте (удлинение сгибателей голени в группе 1 и подгруппе 2А) и вмешательства на костных структурах (корректирующая надмышцелковая остеотомия бедра в подгруппе 2Б). Такое разделение позволило провести сравнительный анализ двух принципиально разных подходов к коррекции СККС и их последующего влияния на позвоночно-тазовые соотношения. Кроме того, сравнение результатов удлинения сгибателей голени у пациентов разных возрастных групп (группа 1 и подгруппа 2А) позволило оценить влияние возрастного фактора на сагиттальный баланс туловища.

4.1 Особенности техники хирургических вмешательств в исследуемых группах  
и послеоперационного ведения

В данном разделе представлено описание технических аспектов выполнения хирургических вмешательств на сухожильно-мышечном аппарате и костных структурах, а также ведения пациентов в послеоперационном периоде. Цель раздела – изложить принципы и основные элементы каждой оперативной методики, а также акцентировать внимание на особенностях каждого из них.

#### 4.1.1 Удлинение сгибателей голени

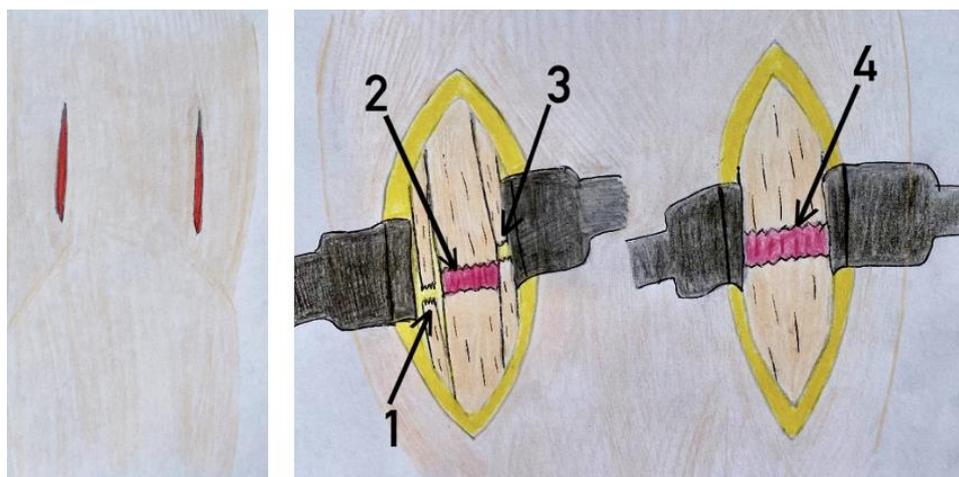
Удлинение сгибателей голени (УСГ) выполняли открытым способом.

Операцию осуществляли из двух отдельных продольных доступов в медиальной и латеральной частях подколенной ямки с целью осуществления доступа к сухожильной части мышц (*m. semimembranosus*, *m. semitendinosus*, *m. gracilis* и *m. biceps femoris*), которые располагались непосредственно в проекции сухожильных порций мышц-сгибателей голени, что обеспечивало прямой доступ к сухожилиям (рис. 4.1).

В латеральной части подколенной ямки выполняли продольный разрез кожи длиной 1 см. Тупо и остро расслаивали подкожно-жировую клетчатку, рассекали поверхностную фасцию и визуализировали сухожильную порцию двуглавой мышцы бедра (*m. biceps femoris*). Остроконечным скальпелем выполняли её тенотомию, сохраняя целостность мышечной части без повреждений, что являлось важным техническим аспектом и особенностью данного хирургического вмешательства.

В медиальной части подколенной ямки осуществляли разрез кожи длиной до 2 см. Тупым и острым путем при помощи хирургических ножниц расслаивали подкожно-жировую клетчатку. Последовательно рассекали поверхностные фасции и выделяли сухожилия. Первым выделяли сухожилие полусухожильной мышцы (*m. semitendinosus*) при помощи лопатки Буяльского и выполняли его полную тенотомию электрокоагулятором. Из этого же доступа идентифицировали и рассекали фасцию полуперепончатой мышцы (*m. semimembranosus*), выделяли её сухожильное растяжение и выполняли тенотомию с сохранением мышечных волокон. Последним этапом вмешательства из этого же доступа после вскрытия соответствующей фасции выделяли и полностью выполняли тенотомию сухожилия тонкой мышцы (*m. gracilis*). Строгая последовательность выполнения тенотомии сухожилий являлась важным элементом хирургического протокола, поскольку позволяла в полном объеме и с минимальным риском осложнений осуществить рассечение всех необходимых сухожильных порций. Пальпаторно проверяли натяжение в медиальной и латеральной частях сгибателей голени. Эта манипуляция

служила неотъемлемым контрольным этапом операции. Оценка натяжения сгибателей голени обеспечивала контроль полноценности и адекватности объема выполнения тенотомии сухожилий. Операцию завершали послойным ушиванием раны наглухо и наложением асептической повязки. После операции пациенту накладывали циркулярную гипсовую повязку от верхней трети бедра до нижней трети голени.



А

Б

Рисунок 4.1. Техника открытого удлинения сгибателей голени: А — доступ к медиальной и латеральной группам сухожилий сгибателей голени; Б — выполнение удлинения медиальной и латеральной групп сухожилий: 1 - тенотомия тонкой мышцы, 2 - тенотомия полуперепончатой мышцы, 3 - тенотомия полусухожильной мышцы, 4 – тенотомия двуглавой мышцы бедра.

#### Послеоперационное ведение

Хирургическая тактика заключалась в отказе от одномоментной полной коррекции сгибательной контрактуры на операционном столе. Как уже отмечено, в ходе вмешательства выполняли только тенотомии сухожильных порций сгибателей голени. Это обуславливало определенную тактику ведения пациента в послеоперационном периоде. Основную коррекцию остаточной контрактуры начинали на 3-и сутки после операции и проводили её путем наложения этапных гипсовых повязок. Такой подход с дозированным и постепенным увеличением

разгибания в коленном суставе был направлен на минимизацию риска тракционных осложнений со стороны сосудисто-нервного пучка.

В ходе этапных коррекций контрактур, средняя продолжительность которых составляла 7 дней, достигали положения переразгибания в  $5-10^\circ$  в коленном суставе. Данный объем коррекции контрактуры был создан преднамеренно с целью предотвращения рецидива сгибательной контрактуры в отдаленном послеоперационном периоде, что было особенно важно для пациентов с патологической спастичностью мышц. После достижения этого результата лечения начинался 3-недельный период непрерывной иммобилизации в достигнутом положении. За 5 дней до планового снятия гипсовых повязок пациентам рекомендовали выполнять дозированную осевую нагрузку непосредственно в гипсовых повязках с использованием опоры для стояния или вертикализатора. Это отражало специфику применяемой нами тактики ведения пациентов со СККС после УСГ.

Необходимость начала нагрузки на конечность в раннем послеоперационном периоде была связана с профилактикой развития остеопороза. После завершения периода иммобилизации основной задачей лечебного процесса являлось восстановление объема движений в коленном суставе. С этой целью назначали курс лечебной физкультуры (ЛФК), направленный на разработку движений в коленных суставах. По мере постепенного восстановления объема движений в коленных суставах пациенты приступали к обучению ходьбе в тьюторах на коленные суставы и ортопедической обуви, первоначально с дополнительной опорой. Для профилактики повторного развития СККС на протяжении всего реабилитационного периода и в течение последующих 6 месяцев после операции было рекомендовано применять тьютор на область коленных суставов на время сна. Описанный подход являлся обязательным элементом послеоперационного ведения данной категории пациентов.

#### 4.1.2 Корректирующая надмышцелковая остеотомия бедренной кости

У пациентов с этим вариантом коррекции СККС доступ к дистальной части бедренной кости осуществляли из линейного разреза длиной 12 см по наружной поверхности дистальной трети бедра. Тупым и острым путем последовательно расслаивали подкожно-жировую клетчатку и освобождали фасцию четырехглавой мышцы бедра. После визуализации латеральной широкой мышцы бедра (*m. vastus lateralis*) тупым способом отводили её медиально и проксимально, что важно для сохранения и предотвращения повреждения мышечных структур. Далее при помощи электрокоагулятора рассекали надкостницу бедренной кости в поперечном направлении и распатором Ламботте скелетировали метаэпифиз бедренной кости. Выбранное нами направление рассечения надкостницы представляло собой важнейший аспект, обеспечивающий оптимальный доступ и визуализацию костных структур при последующем выполнении корректирующей остеотомии. С целью обеспечения адекватной защиты окружающих тканей нижней трети бедренной кости устанавливали два ретрактора Хомана, смещая их максимально дистально. Электрокоагулятором намечали линию предстоящей остеотомии на 1 см проксимальнее верхнего полюса надколенника, после чего выполняли поперечную остеотомию бедренной кости перпендикулярно её диафизу осциллирующей пилой и долотом.

В зависимости от характера имеющейся деформации бедренной кости осуществляли следующие варианты коррекции:

Разгибательная остеотомия: Данный вид вмешательства использовали при наличии изолированной СККС. Определяющей особенностью методики, направленной на устранение сгибательной деформации, являлось формирование и резекция костного клина с основанием, обращенным кпереди (рис. 4.2). После выполнения основной поперечной остеотомии бедренной кости отступали на 0,5 см дистальнее линии проведенной остеотомии и выполняли вторую остеотомию. Направление линии остеотомии выбирали таким образом, чтобы зона её проведения располагалась под углом  $45^\circ$  вверх к конечной точке предыдущей

остеотомии на уровне заднего кортикального слоя бедренной кости. Остеотомию выполняли осциллирующей пилой на протяжении всего поперечного диаметра бедренной кости. Таким образом, формировали клин, вершина которого располагалась у заднего кортикального слоя бедренной кости.

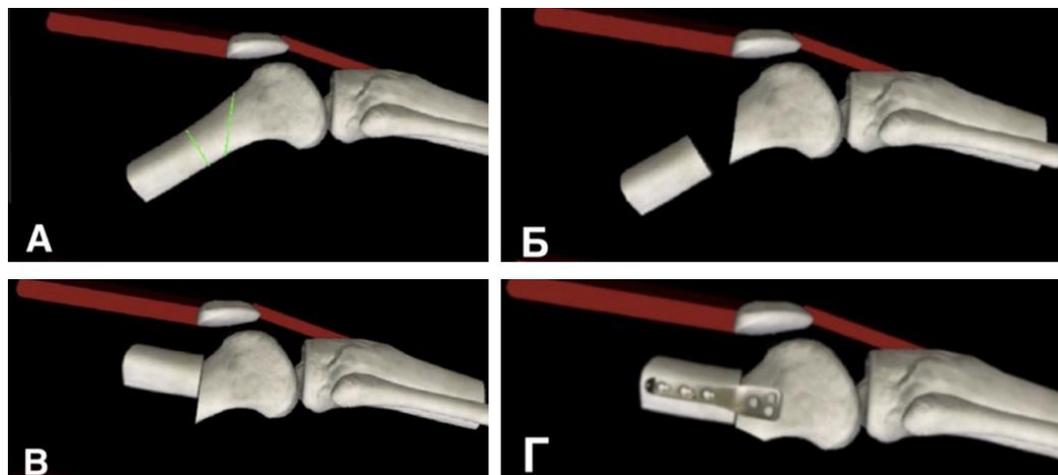


Рисунок 4.2. Схематическое изображение техники корригирующей разгибательной остеотомии бедренной кости: А - разметка клиновидной резекции с основанием, обращённым кпереди; Б - резекция костного клина; В - сопоставление костных отломков после резекции клина с устранением сгибательной деформации; Г - остеосинтез металлоконструкцией.

После удаления клиновидного фрагмента сопоставляли костные отломки, что позволяло исправить деформацию на уровне костных структур и добиться полного устранения контрактуры в коленном суставе.

Деторсионно-разгибательная остеотомия: данный вид оперативного вмешательства применяли при наличии сгибательной контрактуры на уровне коленного сустава с торсионной деформацией бедренной кости. Методика предполагала одномоментную коррекцию деформации в двух плоскостях. Это являлось особенностью проведения операции, обеспечивающей одномоментное устранение многокомпонентной деформации. Ключевым элементом интраоперационного контроля ротационного компонента являлось применение двух направляющих спиц Киршнера. Перед выполнением остеотомии в сагиттальной плоскости (спереди назад) проводили две спицы параллельно друг

другу и перпендикулярно оси бедренной кости. Одну спицу устанавливали проксимальнее, а другую — дистальнее предполагаемой зоны остеотомии.

После выполнения поперечной остеотомии на ранее указанном уровне (1 см проксимальнее верхнего полюса надколенника) осуществляли ротацию дистального фрагмента (рис. 4.3). Направляющие спицы служили визуальными ориентирами, позволяя точно контролировать и дозировать величину коррекции. Ротацию продолжали до тех пор, пока угол между спицами не достигал физиологически нормального значения наружной ротации, составляющего  $40^\circ$ . Коррекция ротационного компонента являлась первым этапом хирургического вмешательства и представляла собой его отличительную особенность. Ротационная деформация бедренной кости является клинически наиболее сложным компонентом патологии и требует первоочередной коррекции. После устранения ротационной деформации выполняли коррекцию сгибательного компонента с формированием клина по методике, изложенной выше. Последующее сопоставление костных отломков устраняло сгибательную деформацию за счёт закрытия клиновидного дефекта и одновременно фиксировало достигнутую ротационную коррекцию. Таким образом, добивались одномоментного устранения деформации в обеих плоскостях.

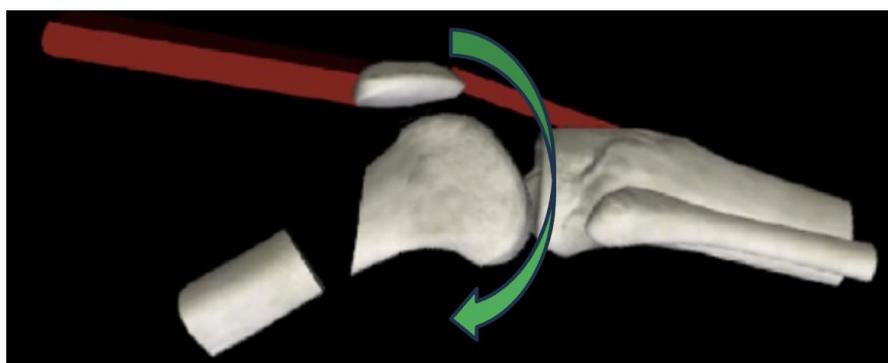


Рисунок 4.3. Схематическое изображение техники корригирующей деторсионно-разгибательной надмыщелковой остеотомии бедренной кости. Зелёная стрелка указывает направление ротационной коррекции дистального костного фрагмента относительно проксимального для устранения торсионной деформации.

### Укорачивающая деторсионно-разгибательная остеотомия:

Этот вариант операции использовали у наиболее тяжёлой категории пациентов с выраженными двусторонними контрактурами в коленных суставах, у которых одномоментная коррекция создавала высокий риск тракционного повреждения сосудисто-нервного пучка. Хирургическое вмешательство представляло собой одноэтапную операцию, последовательно устраняющую три компонента патологического состояния: ротацию бедра, укорочение и разгибание. Именно этап укорочения бедренной кости являлся ключевым элементом, который снижал натяжение мягких тканей и позволял безопасно выполнить полную коррекцию разгибания и ротационного компонента деформации в рамках одной операции.

Контроль коррекции ротационного компонента деформации осуществляли по методике, изложенной выше. Завершив устранение торсионной деформации бедренной кости, приступали к проведению укорачивающей остеотомии бедра. Именно этот этап являлся ключевой особенностью методики хирургического вмешательства для данной категории пациентов. В нашем исследовании для данной группы пациентов мы применяли стандартизированный протокол, подразумевающий укорочение на 1 см. Для этого выполняли второй поперечный пропил, зона которого проходила строго параллельно предыдущей линии остеотомии, на 1 см проксимальнее основной линии остеотомии, и резецировали сформированный цилиндрический костный фрагмент. Данное укорочение позволяло уменьшить критическое натяжение мягких тканей в подколенной области, что являлось оптимальным для безопасного сопоставления костных отломков с полной коррекцией сгибательной контрактуры.

В качестве основного метода остеосинтез выполняли накостной пластиной и винтами с угловой стабильностью (PHR). Интраоперационный рентгенологический контроль являлся обязательным этапом, который позволял объективно верифицировать как адекватность и полноценность выполненной коррекции деформации, так и корректность положения металлоконструкции (рис. 4.4).

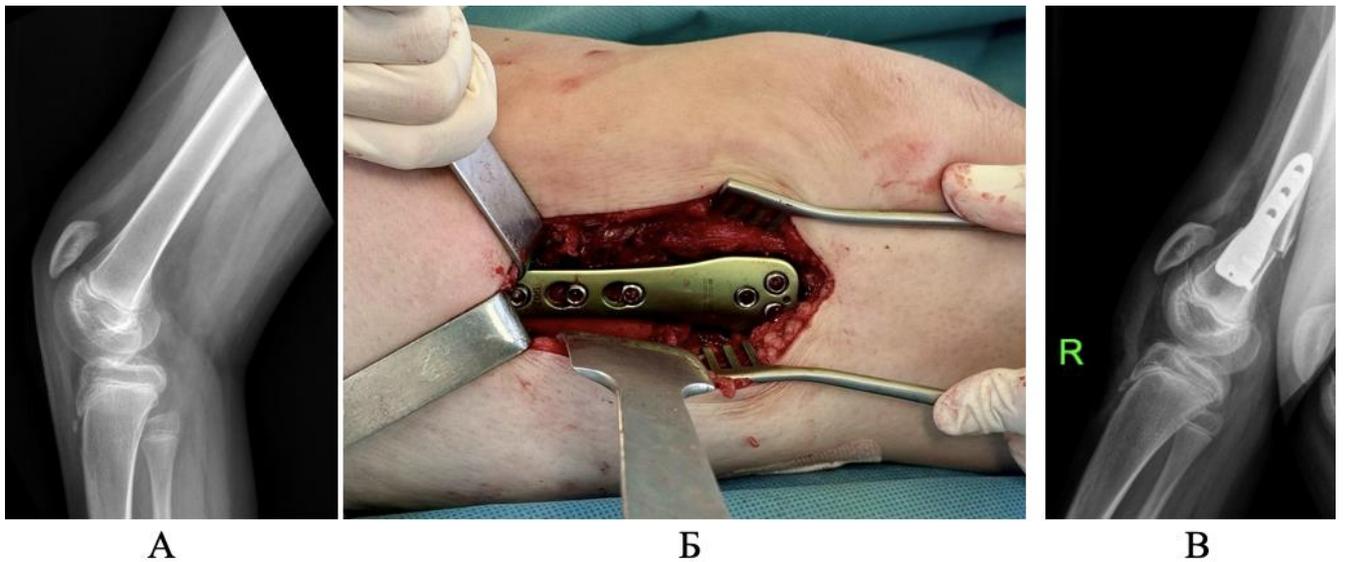


Рисунок 4.4. Корректирующая надмыщелковая разгибательно-укорачивающая остеотомия бедренной кости: А - предоперационная рентгенограмма коленного сустава в боковой проекции, величина СККС составляет 30°; Б – интраоперационная фотография установки металлоконструкции; В – послеоперационная рентгенограмма коленного сустава в боковой проекции.

Однако, учитывая частое наличие у данной категории пациентов сниженной минеральной плотности костной ткани, стандартная фиксация не во всех случаях обеспечивала необходимую первичную стабильность остеосинтеза. В связи с этим была разработана и апробирована модифицированная металлоконструкция, применённая в клинической серии из пяти пациентов «Устройство для остеосинтеза бедренной кости после корректирующей надмыщелковой остеотомии» (Патент РФ на изобретение № 2810888С1 от 29.12.2023 г.). Её конструктивной особенностью являлось дополнение стандартной винтовой фиксации сквозным болтом-стяжкой (рис. 4.5). Этот элемент создавал дополнительную компрессию между костными фрагментами и повышал стабильность остеосинтеза. Применение данной разработки было направлено на минимизацию риска потери достигнутой коррекции, сокращение сроков послеоперационной иммобилизации и создание условий для реабилитации пациентов в раннем послеоперационном периоде.

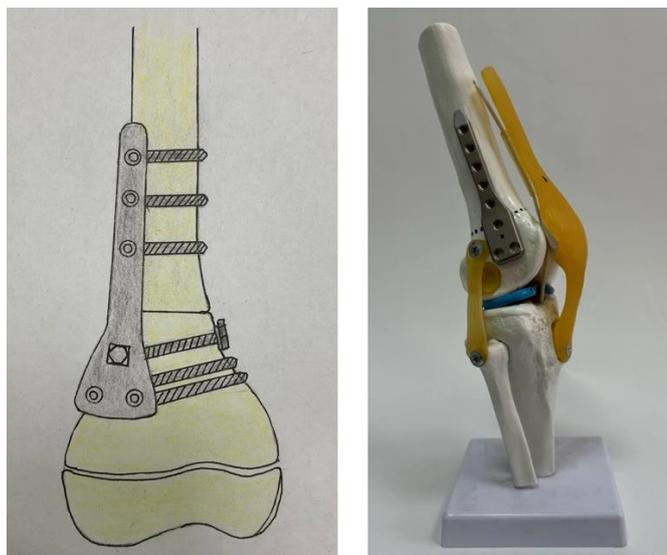


Рисунок 4.5. Схематическое изображение модифицированной металлоконструкции при корригирующей надмыщелковой остеотомии бедренной кости у детей с ДЦП.

После ушивания раны накладывали высокую циркулярную гипсовую повязку до верхней трети бедра с деротационным фиксатором по задней поверхности в области голеностопного сустава.

Послеоперационное ведение: длительность иммобилизации в гипсовой повязке составляла в среднем 5 недель. После снятия гипсовой повязки пациенту выполняли контрольную рентгенографию бедренной кости в прямой и боковой проекциях. При наличии на снимках первичных признаков консолидации в зоне остеотомии пациенту назначали курс ЛФК с целью разработки движений в коленном суставе, а также рекомендовали использование тьютора на коленные и голеностопные суставы с деротационным фиксатором сроком на 6 недель. Осевая нагрузка на конечность полностью исключалась, что являлось обязательным элементом ведения данной категории пациентов в послеоперационном периоде. Решение о начале дозированной осевой нагрузки принимали индивидуально, основываясь на данных контрольной рентгенографии, которую выполняли в среднем через 12 недель после операции. Критерием для разрешения нагрузки служили рентгенологические признаки умеренной консолидации, которую определяли по наличию костной мозоли на уровне остеотомии бедренной кости и нечеткости её контуров.

Пациентам, которым применяли разработанное новое фиксирующее устройство (Патент РФ № 2810888С1), тактика послеоперационного ведения была оптимизирована. Использование данной металлоконструкции позволило отказаться от внешней иммобилизации, начать раннюю реабилитацию с целью разработки движений в коленном суставе уже с 3-й недели после операции, а к вертикализации пациента приступать уже с 6-й недели после хирургического лечения, что позволило сократить сроки восстановительного лечения в два раза.

Вертикализацию пациента проводили в ортезах на коленные суставы и ортопедической обуви с использованием вспомогательных средств опоры, таких как опоры для стояния и ходунки.

#### 4.2 Особенности хирургического лечения пациентов первой группы

Первая группа включала 34 пациента, им выполняли коррекцию СККС при помощи мягкотканой операции - УСГ (согласно описанию, представленному в разделе 4.1.1).

Клинический пример №1: Пациент А., 10 лет.

Диагноз: ДЦП. Спастическая диплегия, GMFCS II. Сгибательная контрактура коленного сустава с двух сторон.

Жалобы: трудности при передвижении.

Ортопедический статус: передвигается самостоятельно спастической походкой, со сгибанием в коленных суставах нагружая преимущественно передне-внутренние отделы стоп. Коленные суставы: сгибательная контрактура  $20^\circ$  с двух сторон, подколенный угол  $95^\circ$  с двух сторон, дефицит активного разгибания  $20^\circ$  с двух сторон. Форма стоп: мобильная плано-вальгусная деформация стоп (рис. 4.6).

Рентгенологические данные по рентгенограмме правого и левого коленного сустава в боковой проекции: показатель бедренно-большеберцового угла составлял  $160^\circ$ , а индекс Insall-Salvati 1,4. Панорамная рентгенография скелета в положении стоя в боковой проекции выявила начальные признаки нарушения сагиттального

баланса, носящие компенсаторный характер в ответ на СККС. Так, при нормальном значении тазового индекса  $PI=48,8^\circ$  отмечался наклон таза назад  $PT=21,3^\circ$  и уменьшение наклона крестца  $SS=27,5^\circ$ . Данные изменения в положении таза сопровождались сглаженностью поясничного лордоза ( $LL=34,6^\circ$ ), в то время как грудной кифоз ( $TK=33,6^\circ$ ) оставался в пределах физиологических значений. При этом отмечался передний сагиттальный дисбаланс, о чем свидетельствовало положительное значение сагиттальной вертикальной оси ( $SVA = 47,7$  мм) (рис. 4.7).

Пациенту проводили хирургическое вмешательство в объеме двустороннего УСГ (согласно методике, описанной в разделе 4.1.1).

Послеоперационный период протекал без осложнений. Проводили иммобилизацию и этапные коррекции гипсовых повязок в соответствии со стандартным протоколом послеоперационного ведения пациентов, изложенным в разделе 4.1.1. За 5 дней до планового снятия гипсовых повязок приступали к вертикализации в гипсовых повязках с использованием опоры для стояния или вертикализатора. Через 3 недели после операции выполняли снятие гипсовых повязок. Для профилактики рецидива СККС с этого же момента было рекомендовано использование ночного тьютора на время сна. К обучению ходьбе приступали после снятия гипсовых повязок в тьюторах на коленные суставы и ортопедической обуви с использованием опоры для стояния или ходунков.

При контрольном осмотре через 6 месяцев после операции отметили полное устранение СККС. Объем движений в коленных суставах восстановился до полного разгибания ( $180^\circ$ ), подколенный угол увеличился до  $170^\circ$  и дефицит активного разгибания устранён полностью. Рентгенологический контроль подтвердил восстановление нормальных анатомических соотношений в коленном суставе: бедренно-большеберцовый угол составил  $180^\circ$ , а снижение индекса Insall–Salvati до 1,3 свидетельствовало о нормализации положения надколенника.

По данным панорамной рентгенографии скелета в боковой проекции выявили значительную перестройку позвоночно-тазовых соотношений с устранением исходных компенсаторных механизмов. В частности, отмечали нормализацию тазовых параметров:  $PT=8^\circ$ ,  $SS=38,7^\circ$ ,  $PI=46,7^\circ$ , а также

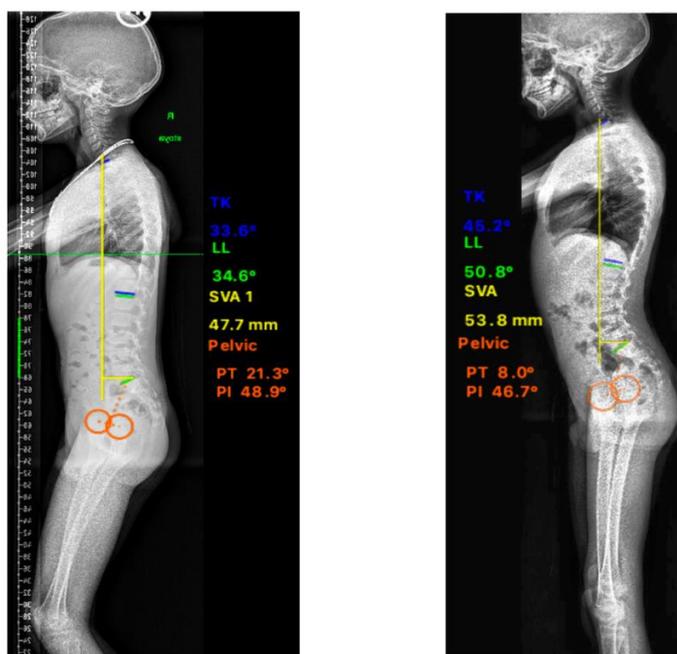
восстановление поясничного лордоза до физиологических значений ( $LL=54,2^\circ$ ) при умеренном увеличении грудного кифоза ( $TK=46^\circ$ ). Тем не менее, передний сагиттальный дисбаланс сохранился, что подтверждалось величиной сагиттальной вертикальной оси (SVA), составившей 53,8 мм.



А

Б

Рисунок 4.6 Внешний вид пациента сбоку: А – до хирургического лечения; Б – после хирургического лечения



А

Б

Рисунок 4.7 Рентгенограммы скелета в боковой проекции: А – до хирургического лечения; Б – после хирургического лечения.

Хирургический подход к пациентам первой группы был сфокусирован на коррекции мягкотканого компонента деформации СККС.

#### 4.3 Особенности хирургического лечения пациентов основной группы

Основная группа была разделена на подгруппы: 2А (30 человек) и 2Б (25 человек). Пациентам подгруппы 2А устранение СККС проводили при помощи мягкотканого вмешательства (УСГ), в подгруппе 2Б для аналогичной цели выполняли корригирующую разгибательную надмышцелковую остеотомию бедра.

##### 4.3.1 Особенности хирургического лечения пациентов подгруппы 2А

Хирургическая тактика в подгруппе 2А была направлена на устранение СККС путем воздействия на мягкотканый компонент деформации. У всех 30 пациентов подгруппы 2А ключевым этапом хирургического вмешательства являлось УСГ (согласно описанию, представленному в разделе 4.1.1).

Клинический пример №2: Пациент Б., 14 лет.

Диагноз: ДЦП. Спастическая диплегия, GMFCS III. Сгибательная контрактура коленного сустава с двух сторон. Плано-вальгусная деформация стоп.

Жалобы: трудности при передвижении.

Ортопедический статус: передвигается спастической походкой с поддержкой за подмышечные впадины, с приведением нижних конечностей, со сгибанием в тазобедренных и коленных суставах, нагружая преимущественно передне-внутренние отделы стоп. Коленные суставы: сгибательная контрактура 20° с двух сторон, подколенный угол 90° с двух сторон, дефицит активного разгибания 30° с двух сторон. Форма стоп: мобильная плано-вальгусная деформация стоп (рис. 4.8).

Рентгенологические данные по рентгенограмме правого и левого коленного сустава в боковой проекции: показатель бедренно-большеберцового угла составлял 160°, а индекс Insall-Salvati 1,8. По данным панорамной рентгенографии скелета в

боковой проекции в положении стоя: тазовые параметры находились в пределах референтных значений ( $PT=14,3^\circ$ ,  $SS=47,7^\circ$ ,  $PI=62^\circ$ ). При этом наблюдались признаки нарушения сагиттального баланса: значительно увеличенный поясничный лордоз ( $LL=76,4^\circ$ ) и грудной кифоз ( $TK=77,6^\circ$ ), а также выраженное смещение сагиттальной вертикальной оси кпереди ( $SVA$ ) 114,2 мм (рис. 4.9).

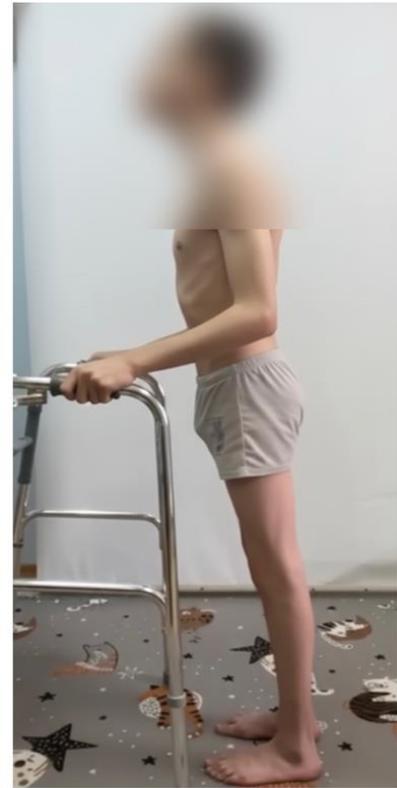
Пациенту проводили хирургическое вмешательство в объеме двустороннего УСГ (согласно методике, описанной в разделе 4.1.). Послеоперационный период протекал без осложнений. Иммобилизация и последующая реабилитация пациента проводились в соответствии со стандартным протоколом, изложенным в разделе 4.1.1.

При контрольном осмотре через 6 месяцев после операции отмечено полное устранение СККС. Объем движений в коленных суставах восстановился до полного разгибания ( $180^\circ$ ), подколенный угол увеличился до  $160^\circ$ , дефицит активного разгибания устранён полностью. Рентгенологический контроль также показал положительную динамику: бедренно-большеберцовый угол составил  $180^\circ$ , а индекс Insall–Salvati незначительно снизился до 1,7.

По данным панорамной рентгенографии скелета в положении стоя в боковой проекции выявлены изменения сагиттальных параметров позвоночника и таза. Отмечено смещение положения таза кпереди ( $PT = 8,7^\circ$ ), что сопровождалось увеличением наклона крестца ( $SS = 55,1^\circ$ ) при стабильном тазовом индексе ( $PI = 63,8^\circ$ ). Данные изменения в тазовом комплексе привели к выраженному нефизиологическому увеличению как поясничного лордоза ( $LL = 99,4^\circ$ ), так и грудного кифоза ( $TK = 80,4^\circ$ ). Несмотря на эти отклонения, сохранялся оптимальный глобальный сагиттальный баланс, о чём свидетельствовало значение сагиттальной вертикальной оси ( $SVA = 0,5$  мм).

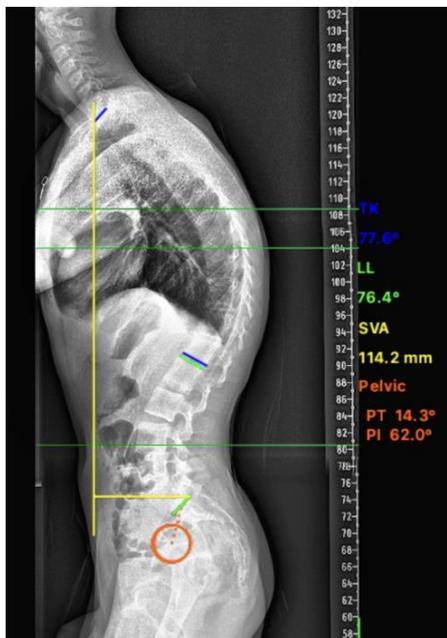


А

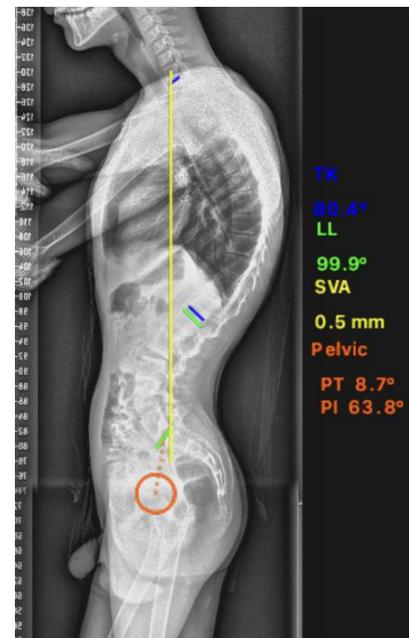


Б

Рисунок 4.8 Внешний вид пациента сбоку: А – до хирургического лечения; Б – после хирургического лечения.



А



Б

Рисунок 4.9 Рентгенограммы скелета в боковой проекции: А – до хирургического лечения; Б – после хирургического лечения.

#### 4.3.2 Особенности хирургического лечения пациентов подгруппы 2Б

Хирургическая тактика у пациентов в подгруппе 2Б предполагала устранение СККС посредством коррекции костного компонента деформации на уровне дистального метаэпифиза бедренной кости. Принципиальное отличие данного подхода от мягкотканых вмешательств (группа 1 и подгруппа 2А) заключалось в восстановлении механической оси конечности.

Пациентам в зависимости от их ортопедического статуса выполняли корригирующую надмышцелковую остеотомию бедра (согласно описанию, представленному в разделе 4.1.2). Разгибательная остеотомия была выполнена 5 пациентам, укорачивающая деторсионно-разгибательная - 5 пациентам, а деторсионно-разгибательная - 15 пациентам. Подробное распределение представлено на рис. 4.10.



Рисунок 4.10 Распределение видов корригирующей надмышцелковой остеотомии бедра в зависимости от ортопедического статуса пациентов.

У всех 25 пациентов подгруппы 2Б ключевым этапом хирургического вмешательства являлась корригирующая разгибательная надмышцелковая остеотомия бедра.

Клинический пример №3: Пациент Б., 14 лет.

Диагноз: ДЦП. Спастическая диплегия, GMFCS II. Торсионная деформация бедренной кости с двух сторон. Сгибательная контрактура коленного сустава с двух сторон.

Жалобы: быстрая утомляемость, трудности при передвижении.

Ортопедический статус: передвигается самостоятельно спастической походкой с внутренней ротацией нижних конечностей и со сгибанием в коленных суставах, нагружая преимущественно передние отделы стоп. Тазобедренные суставы: наружная ротация  $5^\circ$  с двух сторон, внутренняя ротация  $85^\circ$  с двух сторон. Коленные суставы: сгибательная контрактура  $10^\circ$  с обеих сторон, подколенный угол  $110^\circ$  с двух сторон, дефицит активного разгибания  $10^\circ$  с двух сторон. Форма стоп: удовлетворительная (рис. 4.11).

Рентгенологические данные по рентгенографии правого и левого коленного сустава в боковой проекции: показатель бедренно-большеберцового угла составлял  $170^\circ$ , а индекс Insall-Salvati 1,4 (рис. 4.12). По данным панорамной рентгенографии скелета в боковой проекции в положении стоя отмечался наклон таза кпереди  $PT=-3,1^\circ$ , при этом наклон крестца составлял  $SS=48,4^\circ$ , а тазовый индекс оставался неизменным  $PI=45,3^\circ$ . Поясничный лордоз ( $LL=51,0^\circ$ ) находился в пределах физиологических значений, тогда как грудной кифоз ( $TK=27,7^\circ$ ) был сглажен. Выявлен передний сагиттальный дисбаланс, что отражало смещение сагиттальной вертикальной оси (SVA) кпереди на 72,6 мм (рис. 4.13).

Проведенное хирургическое вмешательство: корригирующая деторсионно-разгибательная надмышцелковая остеотомия бедренной кости с двух сторон (согласно методике 4.1.2).

Послеоперационный период протекал без осложнений. Имобилизация и последующая реабилитация пациента проводились в соответствии со стандартным протоколом, изложенным в разделе 4.1.2.

Через 6 месяцев после операции при контрольном осмотре отмечено полное устранение СККС. Объём движений восстановился до полного разгибания ( $180^\circ$ ), подколенный угол увеличился до  $170^\circ$ , а дефицит активного разгибания был устранен до  $0^\circ$ . Также зафиксировано улучшение ротационного профиля нижних

конечностей: наружная ротация в тазобедренных суставах составила  $40^\circ$ , внутренняя —  $50^\circ$ .

Рентгенологический контроль подтвердил восстановление нормальных анатомических соотношений в коленном суставе: бедренно-большеберцовый угол составил  $180^\circ$ , а снижение индекса Insall–Salvati до 1,3 свидетельствовало о нормализации положения надколенника.

По данным панорамной рентгенографии скелета в положении стоя в боковой проекции выявлены изменения сагиттальных параметров позвоночника и таза. Отмечена нормализация тазовых показателей до физиологических значений ( $PT = 4,8^\circ$ ,  $SS = 40,3^\circ$ ,  $PI = 45,1^\circ$ ). Данные изменения в тазовом комплексе способствовали восстановлению физиологических параметров поясничного лордоза ( $LL = 56,8^\circ$ ) и грудного кифоза ( $TK = 35,7^\circ$ ). Кроме того, отмечено восстановление оптимального глобального сагиттального баланса, о чём свидетельствовало значение сагиттальной вертикальной оси ( $SVA = 8,8$  мм).

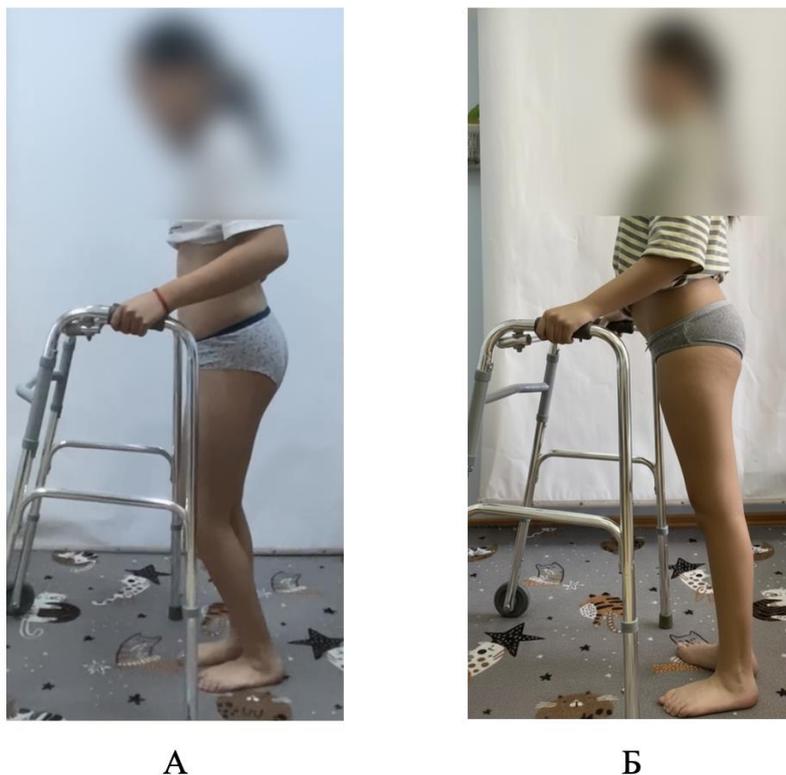


Рисунок 4.11 Внешний вид пациента сбоку: А – до хирургического лечения; Б – после хирургического лечения.



Рисунок 4.12 Рентгенограммы коленных суставов пациента в боковой проекции: А — перед операцией, сгибательная контрактура  $10^\circ$  обоих суставов; Б — после операции деторсионно-разгибательной надмыщелковой остеотомии бедренной кости.

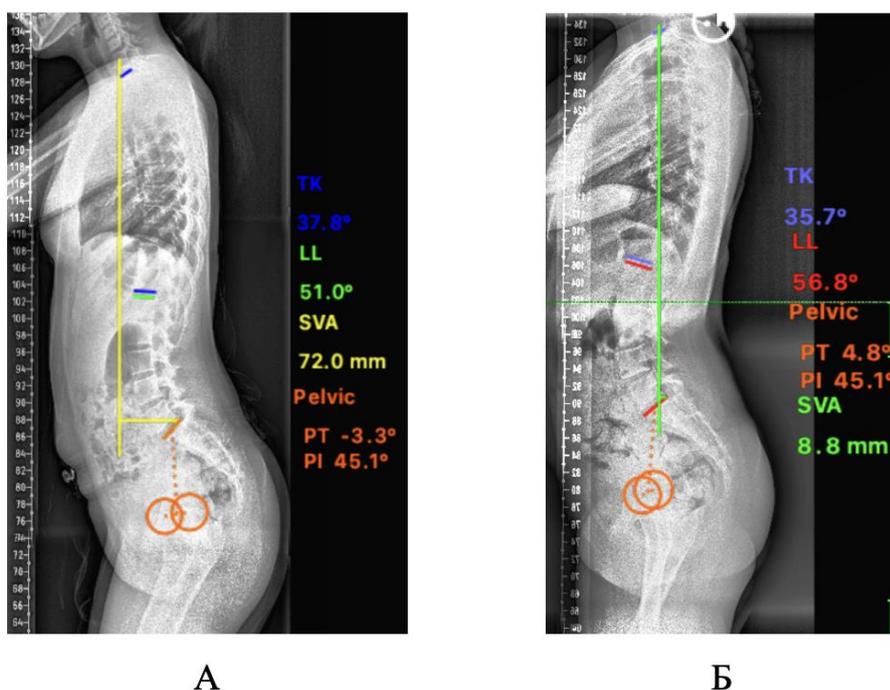


Рисунок 4.13 Рентгенограммы скелета в боковой проекции: А – до хирургического лечения; Б – после хирургического лечения.

Таким образом, в настоящей главе представлены и детально рассмотрены особенности хирургического лечения детей с ДЦП, применявшиеся в каждой из исследуемых групп со сгибательной контрактурой коленного сустава.

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ХИРУРГИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Представлен анализ результатов хирургического лечения 89 детей со сгибательной контрактурой коленного сустава (СККС) при детском церебральном параличе (ДЦП). Сравнительные характеристики полученных результатов оценены через 6 месяцев после операции. Пациентам 1 группы (n=34) и подгруппы 2А (n=30) проводили удлинение сгибателей голени (УСГ), направленное на коррекцию мягкотканого компонента ортопедических нарушений. Детям подгруппы 2Б (n=25) выполняли коррекцию деформации костных структур путем проведения корригирующей надмышцелковой остеотомии бедренной кости (КОБ).

В ходе исследования проведен сравнительный внутригрупповой (до и после хирургического лечения) и межгрупповой анализ результатов хирургического лечения пациентов с ДЦП со СККС. Основной задачей этого раздела и нашего исследования являлись оценка и сравнение влияния двух хирургических методов коррекции СККС на позвоночно-тазовые соотношения в сагиттальном профиле, а также их зависимость от возрастных характеристик пациента.

### 5.1 Сравнительные результаты клинического обследования пациентов после проведенного хирургического лечения

#### 5.1.1 Анализ динамики болевого синдрома после операции и его влияние на реабилитацию

После проведенного хирургического лечения пациенты заполняли визуальную аналоговую шкалу боли по Wong-Baker (ВАШ). В подгруппах 1 и 2А болевой синдром оценивали во время проведения этапных гипсовых коррекций, направленных на устранение остаточной контрактуры в коленном суставе (КС) после операции. Отмечено, что он характеризуется интенсивной, но локализованной болью при растяжении мышц по задней поверхности бедра.

В подгруппе 2Б оценку проводили на 3-и сутки после хирургического вмешательства, отражая общий болевой синдром. Показатели среднего балла шкалы ВАШ представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1

## Распределение баллов шкалы ВАШ

1 группа M±SD (min-max)	Подгруппа 2А M±SD (min-max)	Подгруппа 2Б M±SD (min-max)
5,5±1,6 (2–8)	5,9±1,8 (2–8)	7,2±2 (5–10)

Анализ данных, представленных в таблице 5.1, показал существенные различия между группами по интенсивности болевого синдрома, измеренного по визуальной аналоговой шкале Wong-Baker (ВАШ). Наиболее высокий средний балл зафиксирован в подгруппе 2Б (7,2±2), где пациенты перенесли КОБ. В группах с мягкотканными вмешательствами показатели были достоверно ниже: 5,5±1,6 в 1-й группе и 5,9±1,8 в подгруппе 2А соответственно.

Данное различие нельзя объяснить исключительно возрастным фактором восприятия боли, так как подгруппы 2А и 2Б были сопоставимы по возрасту (14,2±1,6 и 13,7±2,1 лет соответственно). Факт наличия более выраженного болевого синдрома в послеоперационном периоде в подгруппе 2Б, обусловлен, с нашей точки зрения, более высокой травматичностью проведения остеотомии костных структур и наличием установленной металлоконструкции. При этом, следует учитывать и исходный статус пациентов: подтверждением их изначально повышенной чувствительности к болевому синдрому служат данные предоперационного опросника PedsQL 3.0. Несмотря на самый высокий общий показатель качества жизни, именно в подгруппе 2Б были зафиксированы наименьшие значения в домене «Боль» (70 баллов по самооценке детей и 67 баллов по оценке родителей). Таким образом, пациенты подгруппы 2Б начинали лечение с более выраженной субъективной болевой чувствительностью, что закономерно усилило восприятие послеоперационного дискомфорта на фоне более травматичного хирургического вмешательства.

При контрольном осмотре пациентов с ДЦП на фоне СККС была установлена определенная особенность субъективной оценки процесса в ходе проведения реабилитационных мероприятий. Более половины пациентов из 1-й группы и подгруппы 2А отметили, что процесс активной разработки движений в КС был связан со значительными трудностями. В частности, пациенты старшей возрастной группы (подгруппа 2А) указывали на наличие стойкого болевого синдрома при разработке движений в КС.

Одновременно с этим необходимо подчеркнуть, что для пациентов подгруппы 2Б, несмотря на более выраженный болевой синдром в послеоперационном периоде (средний балл по шкале ВАШ  $7,2 \pm 2$ ), последующий этап реабилитационного лечения воспринимали значительно легче. Это подтверждается результатами клинического опроса: пациенты указывали, что разработка движений давалась им легче и, по их субъективным ощущениям, не сопровождалась значимым усилением боли.

Это можно объяснить тем, что после коррекции костного компонента деформации устраняется основной механический блок, вследствие чего движения в КС осуществляются в более благоприятных биомеханических условиях и не требуют дополнительного растяжения мягкотканых структур. В отличие от УСГ, при котором коррекция контрактуры достигается за счёт увеличения амплитуды движений в суставе и потому нередко сопровождается временной болезненностью в период реабилитации, остеотомия изменяет кинематический сектор движения в суставе. КОБ ограничивает сгибание и тем самым способствует расширению диапазона разгибания, тем самым обеспечивая перераспределение движения в сторону функционально более значимого. Поскольку остеотомия является внесуставным вмешательством, восстановление объема движения после неё происходит в менее травматических условиях и характеризуется более благоприятным реабилитационным течением.

## 5.1.2 Оценка уровня качества жизни по опроснику PedsQL

Анализ динамики качества жизни пациентов по опроснику PedsQL 3.0 продемонстрировал различные данные, зависящие от возрастных особенностей детей, типа хирургического вмешательства, а также субъективной оценки (родителя или ребенка) (таблица 5.2).

Таблица 5.2

Результаты сравнительного анализа уровня качества жизни по данным опросника PedsQL пациентов и родителей.

Группы	Опросник для родителей до (общее количество баллов) M±SD (min-max)	Опросник для детей До (общее количество баллов) M±SD (min-max)	Опросник для родителей после (общее количество баллов) M±SD (min-max)	Опросник для детей После (общее количество баллов) M±SD (min-max)	Δ	
					Родители	Детей
первая группа	57±13,4 (39–74)	61±9 (53–72)	68±7,7 (60–75)	69±3,8 (65–72)	9,7± 13	5,3± 9,3
вторая группа	2А 61±20,7 (26–91)	68±14,2 (54–90)	66±5 (55–75)	68±4,2 (55–80)	6,5± 31,8	-4,5± 7,8
	2Б 68±24,1 (25–95)	83±8,8 (72–95)	66±12,2 (58–75)	67±19 (54–80)	1,5± 8,7	-0,8± 16,3

Согласно данным, представленным в таблице 5.2 установлено, что в 1-й группе (дети до 11 лет) наблюдалась положительная динамика в качестве жизни пациентов после проведенного хирургического лечения. Качество жизни статистически и клинически улучшилось как по оценкам родителей Δ +9,7, так и по самооценке детей Δ +5,3. Это свидетельствует о высокой общей удовлетворенности результатами лечения пациентов в младшей возрастной группе.

В подгруппе 2А (подростки, УСГ) были выявлены различные оценки качества жизни. Родители отмечали улучшение качества жизни своих детей Δ +6,5. Однако сами пациенты оценили свое состояние после операции несколько ниже, чем до её выполнения Δ -4,5. Эта негативная динамика в самооценке может

объясняться несколькими факторами. Во-первых, пациенты старшей возрастной группы более тяжело переносят само вмешательство и период реабилитационного лечения. Во-вторых, происходит перестройка давно сформированного патологического двигательного стереотипа. Необходимость ежедневного выполнения физических упражнений, преодоления болевого синдрома и сна в тьюторах, представляет собой значительную психоэмоциональную нагрузку, которая воспринималась подростком как ухудшение качества жизни, несмотря на объективные двигательные улучшения функции КС.

В подгруппе 2Б зафиксировано минимальное улучшение по оценкам родителей  $\Delta +1,5$  и незначительное снижение по самооценке самих детей  $\Delta -0,8$ . Такие изменения закономерны, учитывая травматичность вмешательства и продолжительный реабилитационный период, существенно влияющий на показатели качества жизни в ранние сроки послеоперационного наблюдения.

Сравнительный анализ данных опросников PedsQL показывают, что несмотря на то, что все варианты хирургических вмешательств были направлены на улучшение функции КС, их влияние на субъективное восприятие качества жизни, особенно у детей старшего возраста, неоднозначно и требует учета, особенного внимания, а также дополнительной оценки и подготовки их психоэмоционального состояния в период дальнейшей реабилитации.

### 5.1.3 Анализ динамики амплитуды сгибания в коленном суставе

Оценка показателей амплитуды сгибания в КС являлась одним из важных компонентов анализа результатов проведенного вмешательства. Этот факт объяснялся тем, что хирургическая коррекция СККС теоретически сопряжена с риском возникновения ятрогенного ограничения движений в суставе. Данный неблагоприятный исход мог бы способствовать формированию или усугублению патологического паттерна походки по типу «stiff knee gait». При этом состоянии основной дефицит сгибания в КС проявляется преимущественно в фазе переноса,

как правило, вне зависимости от сохранного пассивного объема движений в суставе.

Таблица 5.3

Показатели амплитуды сгибания в коленном суставе по группам  
исследования после хирургического лечения

Амплитуда движений	1 группа M±SD (min-max)	Подгруппа 2А M±SD (min-max)	Подгруппа 2Б M±SD (min-max)	Нормативные показатели
сгибание в коленном суставе	123°±11,7 (100–140)	116°±12,3 (90–135)	124°±11,7 (85–140)	130°-140°

Согласно результатам, представленным в таблице 5.3, средние значения амплитуды сгибания в КС после хирургического лечения во всех исследуемых группах соответствовали физиологической функциональной норме. Эти показатели свидетельствуют об отсутствии системного формирования клинически значимого ограничения сгибания в суставе, что подтверждает безопасность примененных методов коррекции в отношении данного параметра. Одновременно с этим необходимо подчеркнуть, что детальный анализ полученных данных выявил определённые различия в группах исследования, отражающие специфические особенности воздействия различных хирургических вмешательств на достижение результата.

Наименьшее среднее значение амплитуды сгибания в КС наблюдалось в подгруппе 2А - 116°±12,3. Этот результат коррелирует с ранее полученными субъективными данными пациентов этой группы о наиболее сложном и тяжелом реабилитационном периоде лечения, связанном с наличием болевых ощущений в процессе терапии. Можно предположить, что трудности с преодолением болевого синдрома при разработке движений в КС у подростков после УСГ напрямую влияли на общий объем сгибания.

Одновременно с этим необходимо отметить, что в подгруппе 2Б, несмотря на высокое среднее значение амплитуды сгибания 124°±11,7, зафиксирован самый

низкий единичный минимальный показатель  $85^\circ$ . Это может отражать влияние индивидуальных особенностей ребенка на течение послеоперационного периода. Важно подчеркнуть, что даже при использовании стандартной методики коррекции СККС возможны отдельные случаи замедленного восстановления объема движений, что характерно для любого вида оперативного вмешательства.

Таким образом, можно предположить, что ограничение сгибания в КС может наблюдаться при двух методах коррекции СККС. Ключевым фактором, определяющим амплитуду движений в обеих ситуациях, является недостаточная разработка движений в реабилитационном периоде после проведения вмешательства.

## 5.2 Сравнительный внутригрупповой анализ клинико-рентгенологических показателей у пациентов 1 группы

В ходе исследования проведена оценка динамики клинико-рентгенологических показателей у 34 пациентов в возрасте от 4-х до 11 лет, которым было выполнено УСГ с целью коррекции СККС. Оценку амплитуды движений в КС и рентгенологических показателей позвоночно-тазовых соотношений проводили до хирургического лечения и в послеоперационном периоде (через 6 месяцев после операции). Результаты проведенного анализа представлены в таблице 5.4.

Анализ представленных клинических данных показал высокую эффективность коррекции СККС методом УСГ. Полное устранение контрактуры подтверждается также и статистически значимым увеличением угла разгибания в КС со  $170^\circ$  [160; 170] до  $180^\circ$  [180; 180] ( $p < 0,001$ ).

Положительная динамика после операции наблюдалась и в показателях подколенного угла (ПУ), медиана которого увеличилась со  $110^\circ$  [100; 110] до  $160^\circ$  [160; 165], а также дефицита активного разгибания, медиана которого уменьшилась на  $20^\circ$  ( $p < 0,001$ ). Для бедренно-большеберцового угла также была зафиксирована

статистически значимая коррекция: он достиг 180° [175; 180] по сравнению с исходными до хирургического вмешательства 167° [158; 172] ( $p < 0,001$ ).

Таблица 5.4

Сравнительная характеристика клинико-рентгенологических показателей пациентов 1 группы исследования со СККС до и после хирургического лечения

Клинико-Рентгенологические показатели	До хирургического лечения Me [Q1; Q3]	После хирургического лечения Me [Q1; Q3]
Разгибание в коленном суставе	170° [160;170]	180° [180;180]
Подколенный угол	110° [100;110]	160° [160;165]
Дефицит активного разгибания	20° [10;20]	0° [0;0]
Pelvic tilt (PT)	15,2° [8,3;21,1]	6° [-3,4;12,7]
Pelvic incidence (PI)	42,3 [36;48,6]	39,8 [34,2;46,7]
Sacral slope (SS)	27,5° [20,6;33,9]	35,7° [27,7;39,4]
Thoracic kyphosis по Cobb	42,7° [36,7;55]	38,4° [33;43,8]
Lumbar lordosis по Cobb	33,9° [27;48,8]	38° [29,9;51]
Sagittal vertical axis (SVA)	48,6° [-6,7;98,5]	70,4° [35,5;116,9]
Индекс Insall-Salvati	1,8 [1,4;2]	1,8[1,5;2]
Бедренно-большеберцовый угол (ББУ)	167° [158;172]	180° [175;180]
Отведение в тазобедренных суставах	25° [25;30]	40° [35;45]
Наружная ротация	20° [15;25]	20° [20;25]
Внутренняя ротация	60° [50;70]	60° [50;70]
Тыльная флексия	90° [80;95]	85° [80;85]

При анализе рентгенологических показателей после оперативной коррекции контрактуры были выявлены изменения позвоночно-тазовых соотношений в сагиттальной плоскости. Ключевым результатом явилось выявление статистически значимого уменьшения наклона таза (PT) с 15,2° [8,3; 21,1] до 6° [-3,4; 12,7] ( $p = 0,012$ ) и увеличение наклона крестца (SS) с 27,5° [20,6; 33,9] до 35,7° [27,7; 39,4] ( $p < 0,001$ ). Эти изменения свидетельствуют о влиянии устранения СККС на положение таза, а также о тенденции к увеличению переднего наклона таза после проведенной операции. При этом, как и ожидалось, параметр PI, являясь анатомической константой, не показал статистически значимых изменений ( $p = 0,596$ ).

В качестве компенсаторной реакции на изменение положения таза наблюдалось статистически значимое уменьшение грудного кифоза (ТК) с 42,7°

[36,7; 55] до 38,4° [33; 43,8] ( $p = 0,007$ ) и увеличение поясничного лордоза (LL) с 33,9° до 38° ( $p = 0,033$ ). Анализ глобального сагиттального баланса выявил статистически значимое увеличение SVA с 48,6 мм [-6,7; 98,5] до 70,4 мм [35,5; 116,9] ( $p = 0,011$ ), что указывает на тенденцию наклона туловища кпереди после выполненного хирургического вмешательства.

Анализ движений в смежных суставах показал, что амплитуда отведения в тазобедренных суставах статистически значимо увеличилась с 25° [25; 30] до 40° [35; 45] ( $p < 0,001$ ). При этом не было выявлено статистически значимых изменений в амплитуде ротационных движений в тазобедренных суставах и тыльной флексии стоп ( $p > 0,05$ ).

УСГ в младшей возрастной группе обеспечивает полное устранение СККС, но вызывает каскад компенсаторных изменений сагиттальных позвоночно-тазовых соотношений. Биомеханически эти изменения отражают перераспределение нагрузки и угловых соотношений между дистальными и проксимальными сегментами опорно-двигательной аппарата: после достижения полного разгибания в КС снижается компенсаторное сгибание в тазобедренных суставах, что приводит к смещению центра тяжести кпереди. Эти изменения, в свою очередь, сопровождаются уменьшением угла наклона таза (РТ) и увеличением поясничного лордоза, что свидетельствует об увеличении переднего наклона таза и адаптационной перестройке механизма вертикализации у пациента. Полученные результаты подчёркивают необходимость учитывать влияние локальной коррекции имеющейся контрактуры в КС на взаимосвязанные звенья опорно-двигательной системы при планировании хирургического вмешательства.

### 5.3 Сравнительный внутригрупповой анализ клинико-рентгенологических показателей у пациентов подгруппы 2А

В ходе исследования проведена оценка динамики клинико-рентгенологических показателей у 30 пациентов в возрасте от 12 до 17 лет, которым было выполнено УСГ с целью коррекции СККС. Оценка амплитуды движений в КС

и рентгенологических показателей позвоночно-тазовых соотношений проводили до хирургического лечения и в послеоперационном периоде (через 6 месяцев после операции). Детальные результаты анализа представлены в таблице 5.5.

Таблица 5.5

Сравнительная характеристика клинико-рентгенологических показателей пациентов подгруппы 2А со СККС до и после хирургического лечения

Клинико-рентгенологические показатели	До хирургического лечения Me [Q1; Q3]	После хирургического лечения Me [Q1; Q3]
Разгибание в коленном суставе	160° [155;170]	180° [179;180]
Подколенный угол	100° [90;110]	160° [148;160]
Дефицит активного разгибания	20° [15;25]	0° [0;5]
Pelvic tilt (PT)	9,1° [-3,3;18,5]	-4° [-15,9; 3,8]
Pelvic incidence (PI)	42,8 [35,1; 52,5]	41,6° [29,7; 52,8]
Sacral slope (SS)	36,1° [27,4; 46,3]	47,5° [35,2; 61,9]
Thoracic kyphosis по Cobb	53,9° [38,9; 61,9]	52,9° [41,3; 65,4]
Lumbar lordosis по Cobb	53,6° [38,9; 69,3]	58,6° [38,2; 80,8]
Sagittal vertical axis (SVA)	29,1 мм [-7,4;99,2]	44,5 мм [0,2; 131,7]
Индекс Insall-Salvati	1,5 [1,4; 1,8]	1,5 [1,2; 1,6]
Бедренно-большеберцовый угол (ББУ)	154° [147;165]	180° [174;180]
Отведение в тазобедренных суставах	30° [24; 35]	35° [34; 40]
Наружная ротация	23° [15; 30]	20° [15; 25]
Внутренняя ротация	63° [50; 76]	68° [58; 76]
Тыльная флексия	90° [74; 90]	85° [80; 90]

Анализ клинических данных, представленных в таблице 5.5 установил, что устранение СККС методом УСГ продемонстрировало высокую клиническую эффективность у пациентов старшей возрастной группы. Было достигнуто статистически значимое уменьшение СККС: медиана разгибания в КС увеличилась со 160° [155; 170] до 180° [179; 180] ( $p < 0,001$ ). Аналогично, статистически значимое уменьшение ПУ наблюдалось после операции ( $p < 0,001$ ), а также отмечена практически полная коррекция дефицита активного разгибания, медиана снизилась с 20° [15; 25] до 0° [0; 5] ( $p < 0,001$ ). Была достигнута полная коррекция оси конечности, что подтверждается увеличением бедренно-большеберцового угла до 180° [174; 180] ( $p < 0,001$ ).

При анализе рентгенологических показателей после хирургического вмешательства были выявлены выраженные изменения в сагиттальных позвоночно-тазовых соотношениях. Наблюдалось статистически значимое изменение положение таза в пространстве: медиана наклона таза (PT) значительно уменьшилась с  $9,1^\circ$  [-3,3; 18,5] до  $-4^\circ$  [-15,9; 3,8] ( $p < 0,001$ ), что указывает на изменение положение таза в сторону переднего наклона. Это сопровождалось статистически значимым увеличением наклона крестца (SS) с  $36,1^\circ$  [27,4; 46,3] до  $47,5^\circ$  [35,2; 61,9] ( $p < 0,001$ ), в то время как параметр PI, ожидаемо, оставался стабильным ( $p = 0,097$ ).

В ответ на изменение параметров позвоночно-тазового комплекса статистически отмечено увеличение поясничного лордоза (LL) с Me  $53,6^\circ$  [38,9; 69,3] до  $58,6^\circ$  [38,2; 80,8] ( $p = 0,002$ ). Это указывает на развитие фиксированного компенсаторного паттерна в поясничном отделе, обеспечивающего поддержание вертикального равновесия туловища при изменении положения таза. При этом изменения грудного кифоза (TK) и сагиттальной вертикальной оси (SVA) у пациентов старшей возрастной группы не достигли порога статистической значимости ( $p = 1,000$  и  $p = 0,428$ ).

В ходе исследования зафиксировано статистически значимое увеличение амплитуды отведения в тазобедренных суставах с Me  $30^\circ$  [24; 35] до  $35^\circ$  [34; 40] ( $p = 0,001$ ). Индекс Insall-Salvati, в свою очередь, продемонстрировал небольшое, но также статистически значимое снижение ( $p = 0,003$ ), что может свидетельствовать о тенденции к незначительному низведению надколенника. При этом хирургическое вмешательство не оказало значимого влияния на амплитуду ротационных движений в тазобедренном суставе и тыльную флексию стоп ( $p > 0,05$ ).

Таким образом, у пациентов старшей возрастной группы УСГ является эффективным методом устранения СККС. Однако, необходимо отметить, что данное вмешательство сопровождается более выраженными изменениями со стороны позвоночно-тазовых соотношений, проявляющимися передним наклоном таза и сопутствующим увеличением поясничного лордоза. Отсутствие

достоверных изменений со стороны грудного кифоза и показателей глобального сагиттального баланса туловища свидетельствует о формировании более ригидного механизма постуральной адаптации в сагиттальном профиле у подростков.

#### 5.4 Сравнительный внутригрупповой анализ клинико-рентгенологических показателей у пациентов подгруппы 2Б

В ходе исследования проведена оценка динамики клинико-рентгенологических показателей у 25 пациентов в возрасте от 12 до 17 лет, которым выполнена КОБ с целью коррекции СККС. Оценка амплитуды движений в КС и рентгенологических показателей позвоночно-тазовых соотношений проводили до хирургического лечения и в послеоперационном периоде (через 6 месяцев после операции). Детальные результаты анализа представлены в таблице 5.6.

Выполненный сравнительный анализ клинических данных показал, что устранение СККС методом КОБ продемонстрировало высокую клиническую эффективность. Было достигнуто статистически значимое уменьшение СККС: медиана угла разгибания в КС увеличилась со  $170^\circ$  [161; 170] до  $180^\circ$  [180; 180] ( $p < 0,001$ ), а также положительная динамика наблюдалась в увеличении ПУ и полного устранения дефицита активного разгибания ( $p < 0,001$ ). Кроме того, после операции отмечено статистически значимое изменение бедренно-большеберцового угла ( $p < 0,001$ ), отражающее его коррекцию.

Анализ рентгенологических показателей сагиттального профиля позвоночника показал, что после проведенного хирургического вмешательства не было выявлено статистически значимых изменений в ключевых параметрах, отражающих переориентацию таза в пространстве: наклон таза (PT) ( $p = 0,088$ ) и наклон крестца (SS) ( $p = 0,062$ ). Это свидетельствует о том, что КОБ позволяет устранить контрактуру на уровне КС, не провоцируя вторичных компенсаторных изменений положения таза.

При сохранении стабильного положения таза в поясничном отделе позвоночника отмечалось статистически значимое увеличение поясничного лордоза (LL) с 45,7° [38,4; 61,7] до 56,8° [51,1; 65] ( $p = 0,02$ ). При этом грудной кифоз (ТК) и сагиттальная вертикальная ось (SVA) остались стабильными, не показав статистически значимых изменений ( $p = 0,47$  и  $p = 0,648$ ).

Таблица 5.6

Сравнительная характеристика клинико-рентгенологических показателей пациентов подгруппы 2Б со СККС до и после хирургического лечения

Клинико-Рентгенологические показатели	До хирургического лечения Me [Q1; Q3]	После хирургического лечения Me [Q1; Q3]
Разгибание в коленном суставе	170° [161; 170]	180° [180; 180]
Подколенный угол	110° [106; 110]	165° [160; 170]
Дефицит активного разгибания	15° [10; 24]	0° [0; 0]
Pelvic tilt (PT)	4,6° [-6,5; 9]	-4,6° [-11; 6,4]
Pelvic incidence (PI)	42° [33,1; 45]	42,8° [31,4; 55]
Sacral slope (SS)	36,9° [33; 40,8]	43° [35,2; 57,1]
Thoracic kyphosis по Cobb	44,5° [36,6; 53,2]	44° [35,9; 55,2]
Lumbar lordosis по Cobb	45,7° [38,4; 61,7]	56,8° [51,1; 65]
Saggital vertical axis (SVA)	25° [1,3; 72,9]	11,6° [2,1; 83,9]
Индекс Insall-Salvati	1,6 [1,4; 1,7]	1,5 [1,4; 1,5]
Бедренно-большеберцовый угол (ББУ)	164,5° [160; 171]	180° [178; 180]
Отведение в тазобедренных суставах	25° [20; 30]	40° [35; 40]
Наружная ротация	10° [5; 13,8]	30° [25; 30]
Внутренняя ротация	80° [75; 85]	45° [30; 68]
Тыльная флексия	90° [80; 99]	85° [80; 90]

При анализе движений в смежных суставах отмечено статистически значимое увеличение амплитуды наружной ротации в тазобедренных суставах - с 10° [5; 13,8] до 30° [25; 30] ( $p = 0,001$ ), при одновременном снижении избыточной внутренней ротации - с 80° [75; 85] до 45° [30; 68] ( $p = 0,001$ ). Аналогично было выявлено статистически значимое увеличение амплитуды отведения в тазобедренных суставах ( $p = 0,001$ ) и снижение индекса Insall-Salvati ( $p = 0,002$ ).

Таким образом, КОБ является высокоэффективным методом устранения СККС у пациентов с ДЦП, сопровождающимся коррекцией ротационного

компонента деформации у пациентов старшего возраста. С точки зрения сагиттального баланса туловища главным преимуществом данного хирургического метода является минимальное влияние на позвоночно-тазовые взаимоотношения - отсутствие значимых изменений угла наклона таза при умеренном увеличении поясничного лордоза.

### 5.5 Сравнительный межгрупповой анализ клинико-рентгенологических показателей у пациентов подгруппы 2А и 2Б

С целью оценки влияния двух методов хирургического лечения СККС у пациентов старшего возраста на параметры сагиттального профиля позвоночника был проведен межгрупповой анализ подгруппы 2А (УСГ) и подгруппы 2Б (КОБ). Детальные результаты статистического анализа представлены в таблице 5.7.

Таблица 5.7

Сравнительный анализ величины изменений ( $\Delta$ ) клинико-рентгенологических показателей после операции у пациентов подгрупп 2А и 2Б со СККС

Показатели $\Delta$	Подгруппа 2А Ме [Q1; Q3]	Подгруппа 2Б Ме [Q1; Q3]	P (U-критерий Манна-Уитни)
Разгибание в коленном суставе ( $\Delta$ РКС)	15 [10; 20]	10 [10; 20]	0,402
Подколенный угол ( $\Delta$ ПУ)	58 [40; 69]	55 [50; 60]	0,660
Дефицит активного разгибания ( $\Delta$ ДАР)	-20 [-29; -15]	-15 [-20; -10]	0,123
Pelvic tilt ( $\Delta$ РТ)	-11,8 [-17,7; -6,7]	-4,2 [-11; 5]	0,002
Pelvic incidence ( $\Delta$ PI)	-4,4 [-11,5; 4,4]	4 [0,7; 9,9]	0,012
Sacral slope ( $\Delta$ SS)	9,8 [4,2; 14,3]	5,9 [-3,9; 22,3]	0,222
Thoracic kyphosis по Cobb ( $\Delta$ ТК)	2,3 [-5,7; 5,6]	-1,8 [-5,3; 1,7]	0,658
Lumbar lordosis по Cobb ( $\Delta$ ЛЛ)	9,7 [0,2; 20,8]	7,7 [-2,3; 11,4]	0,358
Saggital vertical axis ( $\Delta$ SVA)	13,8 [-36,8; 80,3]	4,4 [-21,5; 19,6]	0,676
Индекс Insall-Salvati ( $\Delta$ IS)	-0,1 [-0,2; 0]	-0,1 [-0,23; 0]	0,706
Бедренно-большеберцовый угол ( $\Delta$ ББУ)	22 [10; 33]	14 [9; 20]	0,030
Отведение в тазобедренных суставах ( $\Delta$ ОТ)	5 [0; 15]	15 [5; 20]	0,037
Наружная ротация ( $\Delta$ НР)	0 [0; 0]	20 [15; 25]	0,001
Внутренняя ротация ( $\Delta$ ВР)	0 [0; 0]	-40 [-45; -10]	0,001
Тыльная флексия ( $\Delta$ ТФ)	-2,5 [-8,8; 5]	-5 [-10; 5]	0,744

Согласно результатам исследования, представленным в таблице 5.7, при сравнении величины коррекции СККС не было выявлено статистически значимых различий между группами. Оба метода продемонстрировали сопоставимую эффективность в увеличении амплитуды разгибания КС ( $p = 0,402$ ), ПУ ( $p = 0,660$ ) и уменьшении дефицита активного разгибания ( $p = 0,123$ ).

Сравнительный анализ изменений сагиттальных позвоночно-тазовых параметров выявил ключевые различия между двумя хирургическими методами коррекции контрактуры КС.

Ключевым отличием между группами исследования оказалось различное влияние хирургического вмешательства на наклон таза. УСГ (подгруппа 2А) приводило к более выраженному уменьшению РТ, с Ме  $\Delta PT -13,1^\circ [-21,8; -5,3]$ , по сравнению с КОБ (подгруппа 2Б), где Ме  $\Delta PT$  составила  $0,6^\circ [-8,5; 9,8]$  ( $p = 0,002$ ) (рис. 5.1).

Кроме того, необходимо отметить, что в ходе исследования не было выявлено статистически значимых различий в величине изменения наклона крестца ( $\Delta SS$ ,  $p = 0,222$ ), поясничного лордоза ( $\Delta LL$ ,  $p = 0,358$ ), грудного кифоза ( $\Delta ТК$ ,  $p = 0,658$ ), а также сагиттальной вертикальной оси ( $\Delta SVA$ ,  $p = 0,676$ ).

Это свидетельствует о том, что, несмотря на разное влияние методов хирургического лечения на позицию таза, компенсаторные изменения в позвоночно-тазовых соотношениях и глобальном сагиттальном балансе туловища у подростков оказались сопоставимы для обеих методик вмешательства.

Несмотря на сопоставимую эффективность обоих методов в устранении СККС, различия между ними проявились и в характере коррекций сопутствующих деформаций. КОБ (подгруппа 2Б) показала значительно лучшие результаты коррекции ротационного профиля нижних конечностей. Величина увеличения наружной ротации ( $\Delta НР$ ) была статистически значимо больше в подгруппе 2Б с Ме  $\Delta НР$  составила  $15,0^\circ [10,0; 25,0]$  по сравнению с подгруппой 2А, в которой Ме  $\Delta НР$   $0^\circ [-5,0; 5,0]$  ( $p < 0,001$ ). Аналогично, величина коррекции избыточной внутренней ротации бедренной кости ( $\Delta ВР$ ) была значимо выше в подгруппе 2Б ( $p < 0,001$ ).

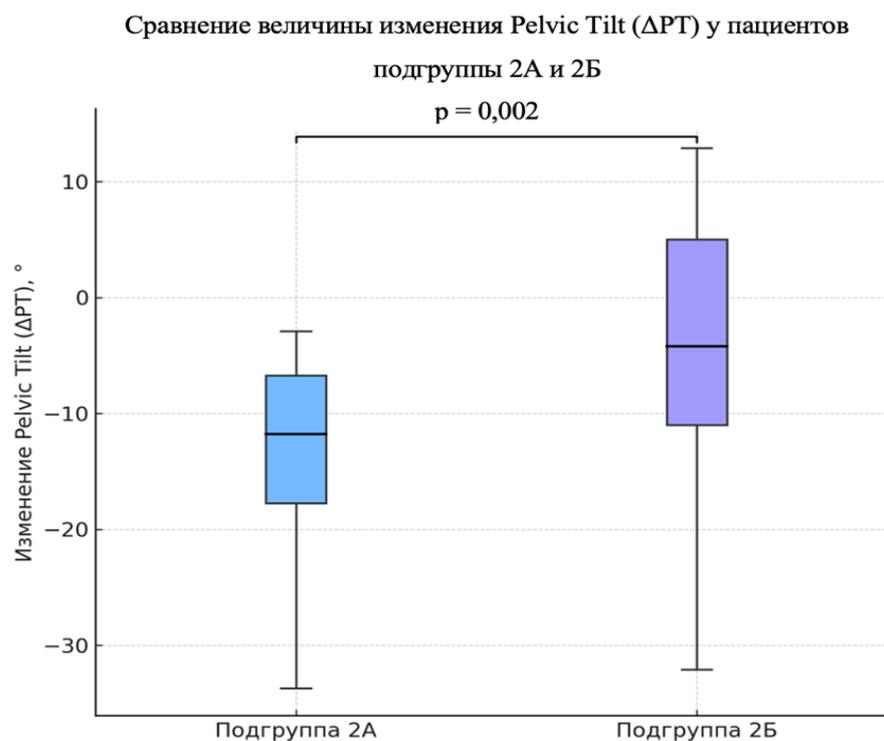


Рисунок 5.1. Сравнение величины изменения Pelvic Tilt ( $\Delta$ PT) у пациентов подгруппы 2А и 2Б.

Кроме того, необходимо отметить, что в группе пациентов, которым выполнена остеотомия бедренной кости, наблюдалось более выраженное увеличение амплитуды отведения в тазобедренных суставах: Me  $\Delta$ OT составила  $10,0^\circ$  [10,0; 15,0] в подгруппе 2Б против  $5,0^\circ$  [0,0; 10,0] в подгруппе 2А ( $p = 0,037$ ). Одновременно с этим важно подчеркнуть, что время изменения бедренно-большеберцового угла было статистически значимо больше в группе пациентов, которым осуществляли УСГ ( $p = 0,03$ ).

Несмотря на отсутствие межгрупповых различий по основным параметрам позвоночно-тазовых соотношений в сагиттальном профиле, результаты внутригруппового анализа (подраздел 5.3 и 5.4) показали различное влияние данных методов хирургического лечения. Было установлено, что УСГ у данной группы пациентов приводит к статистически значимому изменению глобального сагиттального баланса ( $p=0,001$ ) в отличие от группы исследования с КОБ.

Таким образом, оба хирургических метода одинаково эффективно устраняют СККС у пациентов старшей возрастной группы. Однако, КОБ (подгруппа 2Б)

обладает двумя ключевыми преимуществами: отсутствием вторичных изменений положения таза в сагиттальной плоскости и возможностью одномоментной коррекции сопутствующих торсионных деформаций бедренной кости. УСГ (подгруппа 2А), при сопоставимой эффективности на уровне КС, сопряжено со значимым изменением тазового и глобального сагиттального баланса.

### 5.6 Сравнительный межгрупповой анализ клинико-рентгенологических показателей после операции у пациентов 1 группы и подгруппы 2А

Проведен сравнительный анализ результатов хирургического лечения методом УСГ между двумя возрастными группами: пациентами младшего возраста (1 группа, n=34) и подростками (подгруппа 2А, n=30). С целью оценки влияния возраста на динамику сагиттального баланса после устранения СККС. Детальные результаты статистического анализа представлены в таблице 5.8.

Таблица 5.8

#### Сравнительный анализ величины изменений ( $\Delta$ ) клинико-рентгенологических показателей после операции у пациентов 1 группы и подгруппы 2А

Показатели $\Delta$	1 группа Me [Q1; Q3]	Подгруппа 2А Me [Q1; Q3]	P (U-критерий Манна-Уитни)
Разгибание в коленном суставе ( $\Delta$ РКС)	10 [10; 19]	15 [10; 20]	0,346
Подколенный угол ( $\Delta$ ПУ)	55 [50; 64]	58 [40; 69]	0,722
Дефицит активного разгибания ( $\Delta$ ДАР)	-17,5 [-20; -10]	-20 [-29; -15]	0,113
Pelvic tilt ( $\Delta$ РТ)	-7,2 [-15,7; -2,7]	-11,8 [-17,7; -6,7]	0,045
Pelvic incidence ( $\Delta$ PI)	-0,1 [-6,5; 4,4]	-4,4 [-11,5; 4,4]	0,437
Sacral slope ( $\Delta$ SS)	7,5 [2; 13]	9,8 [4,2; 14,3]	0,274
Thoracic kyphosis по Cobb ( $\Delta$ ТК)	-8,6 [-16,8; 3,6]	2,3 [-5,7; 5,6]	0,065
Lumbar lordosis по Cobb ( $\Delta$ LL)	4,5 [-2,1; 13,5]	9,7 [0,2; 20,8]	0,144
Sagittal vertical axis ( $\Delta$ SVA)	40 [-2,6; 59,2]	13,8 [-36,8; 80,3]	0,504
Индекс Insall-Salvati ( $\Delta$ IS)	0 [-0,1; 0,1]	-0,1 [-0,2; 0]	0,091
Бедренно-большеберцовый угол ( $\Delta$ ББУ)	11 [6; 20,8]	22 [10; 33]	0,009
Отведение в тазобедренных суставах ( $\Delta$ ОТ)	10 [7,5; 15]	5 [0; 15]	0,075
Наружная ротация ( $\Delta$ НР)	0 [0; 0]	0 [0; 0]	0,263
Внутренняя ротация ( $\Delta$ ВР)	0 [0; 0]	0 [0; 0]	0,491
Тыльная флексия ( $\Delta$ ТФ)	-2,5 [-10; 0]	-2,5 [-8,8; 5]	0,597

На основании данных, представленных в таблице 5.8, при сравнении эффективности коррекции СККС не было выявлено статистически значимых различий между возрастными группами. В обеих группах исследования отмечены сопоставимые положительные изменения: увеличение амплитуды разгибания КС ( $p = 0,346$ ), увеличение ПУ ( $p = 0,722$ ) и уменьшение дефицита активного разгибания ( $p = 0,113$ ).

Сравнительный межгрупповой анализ изменений сагиттальных позвоночно-тазовых параметров позволил подтвердить предположение о влиянии возраста на сагиттальный баланс после устранения СККС.

Было установлено, что изменение наклона таза было статистически значимым и более выраженным в группе подростков (подгруппа 2А). Так, Ме  $\Delta$ РТ в подгруппе 2А составила  $-11,8^\circ$   $[-17,7; -6,7]$ , в то время как в 1-й группе  $-7,2^\circ$   $[-15,7; -2,7]$  ( $p = 0,045$ ) (рис. 5.2). Линия тренда на рисунке 5.3, так же, как и результаты межгруппового сравнения, указывает на то, что у пациентов старшего возраста УСГ приводит к более выраженному переднему изменению наклона таза (уменьшению РТ) в сагиттальной плоскости.

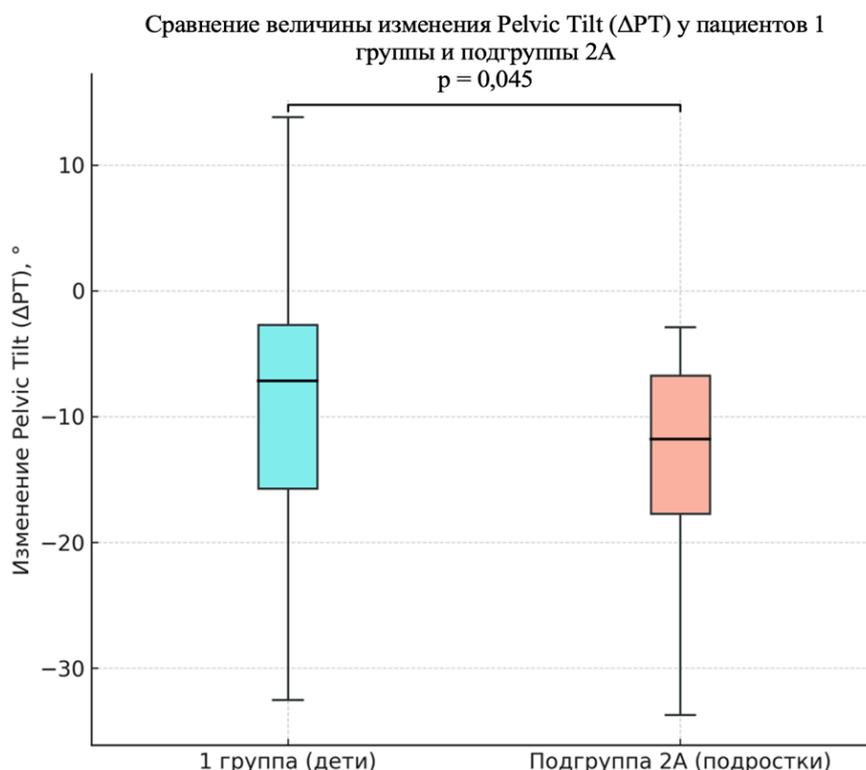


Рисунок 5.2. Сравнение величины изменения Pelvic Tilt ( $\Delta$ РТ) у пациентов 1 группы и подгруппы 2А.

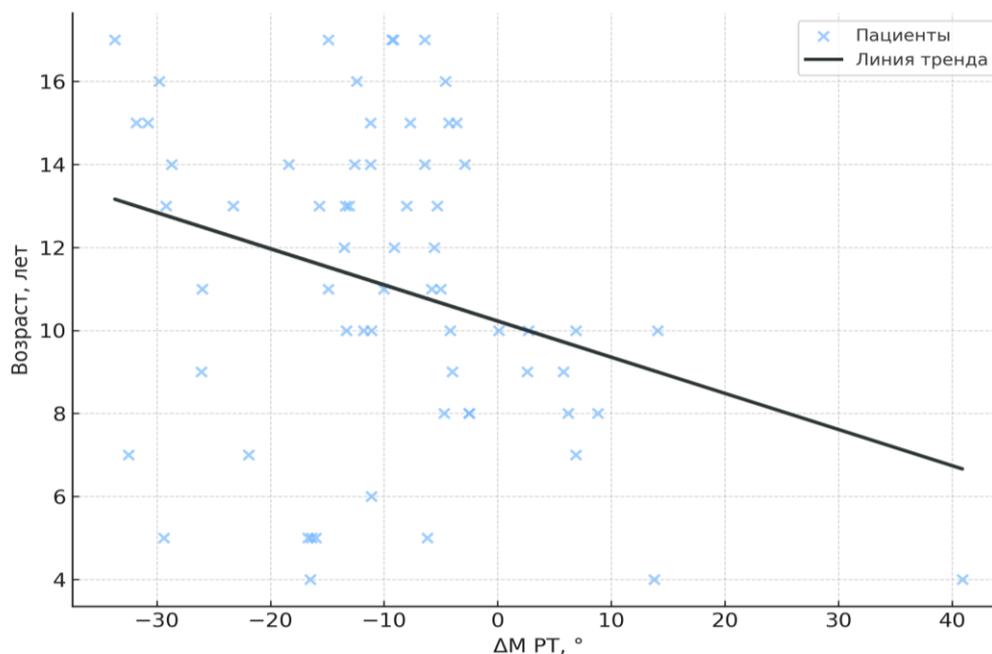


Рисунок 5.3. Зависимость изменения Pelvic Tilt ( $\Delta$ РТ) от возраста у пациентов после удлинения сгибателей голени (группа 1 и 2А).

При анализе других рентгенологических параметров сагиттального профиля, таких как: SS ( $p = 0,274$ ), LL ( $p = 0,144$ ) и SVA ( $p = 0,504$ ), статистически значимых различий между группами обнаружено не было. При этом, необходимо отметить наличие тенденции к разнонаправленному изменению грудного кифоза ( $\Delta$ ТК): у детей наблюдалось его уменьшение (Ме  $\Delta$ ТК  $-8,6^\circ$ ), а у подростков небольшое увеличение (Ме  $\Delta$ ТК  $2,3^\circ$ ). Однако, это различие не достигло порога статистической значимости ( $p = 0,065$ ).

Кроме того, было обнаружено статистически значимое различие в величине коррекции оси нижней конечности: изменение бедренно-большеберцового угла (ББУ) было значительно больше в группе подростков (Ме  $\Delta$  ББУ  $22^\circ$  [10; 33]) по сравнению с детьми младшего возраста (Ме  $\Delta$  ББУ  $11^\circ$  [6; 20,8]) ( $p = 0,009$ ). При анализе амплитуды движений в смежных суставах статистически значимых различий между группами выявлено не было.

Таким образом, межгрупповой сравнительный анализ показал, что показатели выраженности изменений позвоночно-тазового комплекса после хирургического УСГ зависят от возраста пациента. Несмотря на сопоставимую

эффективность вмешательства с позиции устранения СККС, у подростков данное хирургическое вмешательство сопровождается статистически значимым более выраженным передним наклоном таза (уменьшением РТ) по сравнению с детьми младшего возраста. Вероятно, это обусловлено возрастным увеличением ригидности позвоночного столба и ограничением компенсаторной подвижности его сегментов, вследствие чего постуральная адаптация происходит преимущественно за счёт тазового комплекса.

### 5.7 Анализ эффективности хирургических методов коррекции СККС в зависимости от исходного сагиттального баланса туловища

Целью данного анализа являлась оценка влияния исходного положения таза на результаты хирургического лечения пациентов старшей возрастной группы. Как было продемонстрировано в характеристике клинического материала, исследуемые подгруппы 2А и 2Б имели кардинальные отличия по исходному сагиттальному профилю позвоночного столба. Подгруппа 2А характеризовалась выраженной гетерогенностью и включала пациентов со всеми тремя типами положения таза (антеверзия, нейтральное положение и ретроверзия). Напротив, подгруппа 2Б была относительно гомогенной и состояла из пациентов с нейтральным и передним наклоном таза.

Данное разделение отражает различие в сагиттальных компенсаторных механизмах и позволяет оценить влияние хирургической коррекции СККС на позвоночно-тазовые взаимоотношения в зависимости от исходного типа постуральной адаптации.

Послеоперационный анализ полученных результатов подтвердил, что выраженность изменений положения таза и, следовательно, прочих параметров сагиттального профиля, существенно зависела от исходного сагиттального баланса туловища.

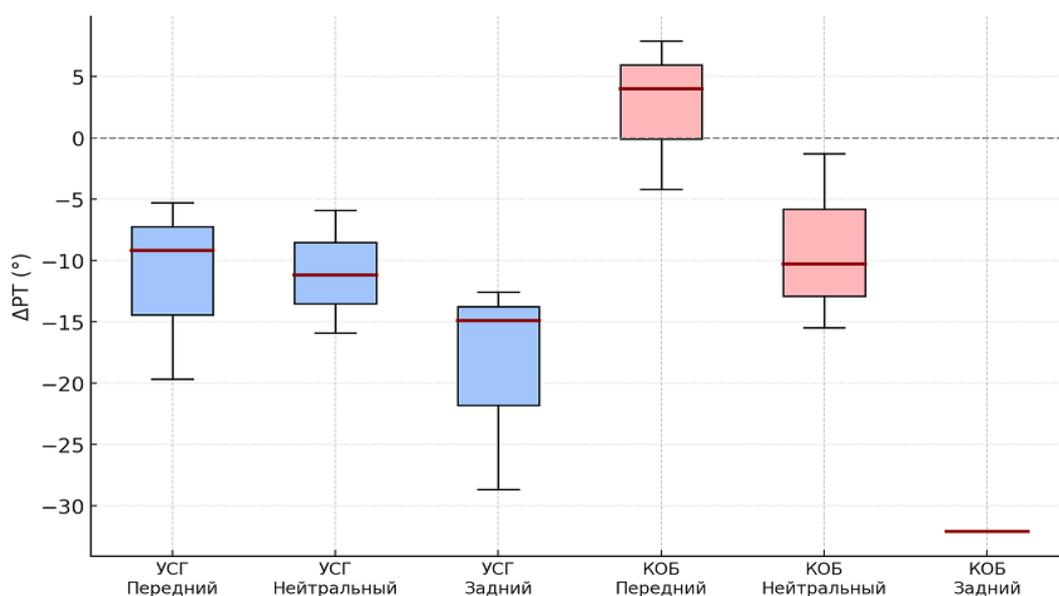


Рисунок 5.4. Изменение угла наклона таза ( $\Delta PT$ ) после хирургического лечения в зависимости от исходного положения таза у пациентов подгрупп 2А и 2Б.

Как показано на рисунке 5.4, у пациентов с исходной ретроверзией таза ( $PT > 20^\circ$ ) после устранения СККС методом УСГ наблюдалось выраженное уменьшение значения  $PT$ , что указывает на смещение таза из патологического заднего наклона к более физиологическому положению. Медиана изменения  $PT$  ( $Me \Delta PT$ ) составила  $-14,9^\circ$   $[-28,7^\circ; -12,6^\circ]$ . При этом, отмечено минимальное изменение поясничного лордоза ( $Me \Delta LL -4,4^\circ$   $[-9,1; 10,2]$ ) и смещение сагиттальной вертикальной оси кпереди ( $Me \Delta SVA 71,3$  мм  $[-5,7; 116,2]$ ), что можно трактовать как нормализацию позвоночно-тазовых взаимоотношений с компенсаторным смещением сагиттального баланса туловища.

Одновременно с этим необходимо подчеркнуть, что в группе пациентов с исходным нейтральным ( $PT = 5^\circ-20^\circ$ ) и передним наклоном таза ( $PT < 5^\circ$ ) УСГ привело к усилению сагиттального дисбаланса. Этот факт выражался в усилении антеверзии таза:  $Me \Delta PT$  в этих группах составили  $-9,3^\circ$   $[-19,7; -5,3^\circ]$  и  $-11,2^\circ$   $[-15,9; -5,9^\circ]$  соответственно. Это привело к компенсаторному увеличению поясничного лордоза  $Me \Delta LL 9,6^\circ$  и  $17,7^\circ$ . Однако, смещение сагиттальной вертикальной оси оказалось различным: при исходном нейтральном положении таза наблюдалось смещение центра тяжести кпереди ( $Me \Delta SVA 20$  мм), тогда как при исходной антеверзии таза наблюдалась избыточная коррекция со смещением кзади ( $Me \Delta SVA$

-39,4 мм). Это свидетельствует об усугублении сагиттального глобального дисбаланса, поскольку представляет собой отклонение от физиологически нейтральной оси.

Принципиально иной и клинически значимый результат наблюдался в подгруппе 2Б. Ключевым отличием данной группы исследования стало изменение положение таза у пациентов с исходной антеверзией ( $PT < 5^\circ$ ). В отличие от подгруппы 2А, где наблюдалось усугубление дисбаланса, КОБ продемонстрировала восстановительный эффект. Медиана изменения наклона таза (Me  $\Delta PT$ ) составила  $4,0^\circ$   $[-4,2; 7,9^\circ]$ , что свидетельствует о смещении таза кзади в сторону нейтрального положения. Этот биомеханически благоприятный результат сопровождался минимальными изменениями в поясничном лордозе (Me  $\Delta LL$   $-2,3^\circ$ ) и стабильным сагиттальным балансом туловища (Me  $\Delta SVA$  6,0 мм). Этот факт говорит о том, что проведение КОБ приводит к минимальным изменениям позвоночно-тазовых соотношений, сохраняя при этом глобальный сагиттальный баланс.

У пациентов с исходным нейтральным положением таза ( $PT$   $5-20^\circ$ ) КОБ аналогично УСГ вызывала смещение таза в сторону антеверзии (Me  $\Delta PT$   $-10,3^\circ$   $[-15,5; -1,3^\circ]$ ), что, в свою очередь, привело к компенсаторному увеличению поясничного лордоза (Me  $\Delta LL$   $11,3^\circ$   $[5,1; 15,7]$ ). Однако, эта компенсация была физиологической и привела к сохранению практически идеального глобального баланса (Me  $\Delta SVA$  0,9 мм  $[-45; 19,6]$ ) в отличие от подгруппы 2А, где SVA сместилась кпереди на 20 мм.

В подгруппе 2Б у единственного пациента с исходной ретроверзией таза  $\Delta PT$  составила  $-32,1^\circ$ . Значительная переориентация таза была скомпенсирована выраженным увеличением поясничного лордоза ( $\Delta LL$   $42,4^\circ$ ) и сохранением глобального сагиттального баланса ( $\Delta SVA$  8,9 мм).

Таким образом, отрицательная динамика  $PT$ , наблюдаемая после УСГ, имеет различное клиническое значение: при ретроверзии таза она свидетельствует о восстановлении физиологического наклона, тогда как при антеверзии – об усилении существующего сагиттального дисбаланса.

Полученные данные свидетельствуют о том, что УСГ и КОБ являются сопоставимыми эффективными методами коррекции СККС. Одновременно с этим необходимо подчеркнуть, что они оказывают принципиально разное воздействие на сагиттальный баланс туловища, обусловленное возрастом пациентов и исходным положением таза. Следовательно, для пациента с исходной ретроверзией таза УСГ будет оказывать положительный восстановительный эффект. При этом, при нейтральном или переднем положении таза подобное хирургическое вмешательство приведет к ятрогенной дестабилизации положения таза и усугублению глобального сагиттального баланса. Это подтверждает, что выбор метода коррекции СККС должен базироваться на совокупной оценке возраста и исходного типа постуральной адаптации.

#### 5.7.1 Анализ возрастной динамики сагиттального профиля таза

В ходе исследования группы пациентов были сформированы по возрастному принципу: 1-я группа (до 11 лет) и группы 2А и 2Б (12–17 лет). Для исключения случайного характера такого деления и поиска обоснования выбранных возрастных границ был проведен регрессионный анализ зависимости исходного наклона таза (РТ) от возраста ребенка по всей выборке пациентов (89 человек). Такое деление применялось с целью оценки эффективности хирургических методов в разные возрастные периоды, однако, для определения его биомеханической обоснованности был проведён отдельный анализ. Задачей данного этапа являлась оценка взаимосвязи между возрастом пациента и исходным положением таза (РТ), что позволило бы объективно определить критический возраст, при котором происходило изменение постурального паттерна и появления рисков декомпенсации при выборе хирургического вмешательства.

Как показано на рисунке 5.5, диаграмма рассеяния демонстрирует распределение межиндивидуальных значений исходного угла наклона таза (РТ) в зависимости от возраста пациентов, при этом с увеличением возраста наблюдается тенденция к снижению угла наклона таза.

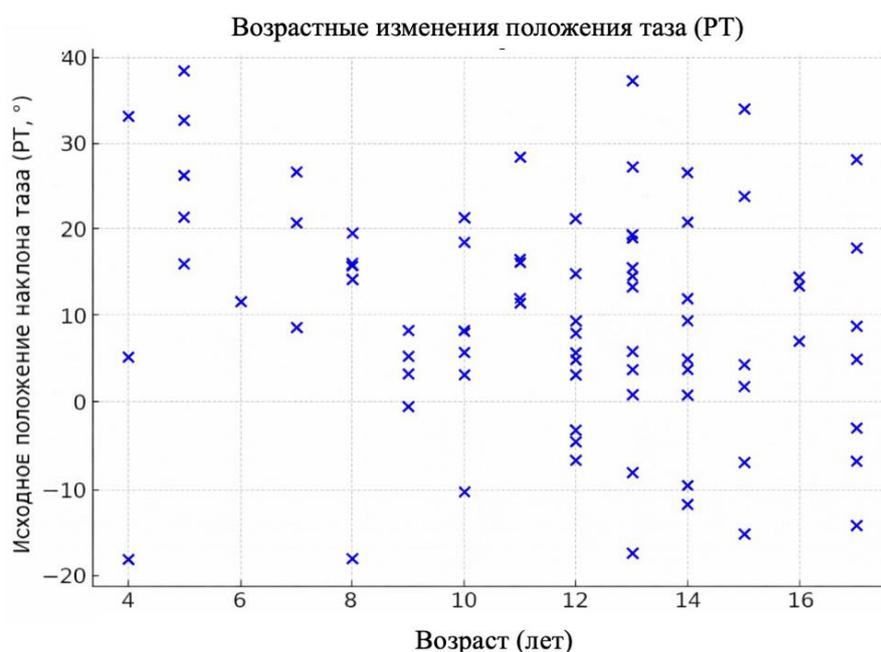


Рисунок 5.5. Диаграмма рассеяния, демонстрирующая распределение исходных значений (РТ) в зависимости от возраста пациентов.

Анализ распределения значений РТ позволил выделить зону «биомеханического перехода» в возрастном интервале 11–12 лет.

В младшей возрастной группе (4–11 лет) большинство значений располагались в зоне высоких положительных значений (преимущественная ретроверзия). Это свидетельствует о том, что у детей младшего возраста задний наклон таза является естественным компенсаторным механизмом. Именно наличие ретроверзии таза объясняет отсутствие дисбаланса и формирование нормального сагиттального профиля позвоночного столба у пациентов 1-й группы после проведения УСГ (которое биомеханически наклоняет таз вперед).

В старшей возрастной группе (12–17 лет) происходит смещение значений в зону нейтрального и отрицательного (антеверзия) диапазона. В таком случае применение методики, наклоняющей таз вперед (УСГ), становится рискованным для пациентов с уже сформированным нейтральным или передним наклоном таза, так как ведет к декомпенсации (что и было продемонстрировано при анализе результатов пациентов в подгруппе 2А).

Выявленная зависимость подтверждает, что возраст 12 лет является не произвольной, а клинически обоснованной границей, который говорит о смене

биомеханического паттерна наклона таза, происходящее в пубертатном периоде и обосновывает необходимость различного подхода к выбору метода хирургического лечения СККС.

В целом, на основании анализа полученных данных можно выделить три основных варианта состояния сагиттального баланса туловища на коррекцию СККС:

1. Изолированное УСГ у пациентов младшей возрастной группы не сопровождается функционально значимыми изменениями сагиттальных позвоночно-тазовых взаимоотношений. Это связано с тем, что у детей данного возраста исходно преобладает ретроверзия таза, которая является физиологическим компенсаторным механизмом. Таким образом, смещение таза кпереди после выполнения вмешательства, направленного на устранение СККС, не приводит к декомпенсации, а создает нормальный сагиттальный профиль, что подтверждает высокую постуральную пластичность и широкие адаптивные возможности пациентов младшей возрастной группы.

2. У подростков после мягкотканного вмешательства (УСГ) с целью устранения СККС отмечается закономерное увеличение переднего наклона таза и смещение сагиттальной вертикальной оси. При этом направление смещения определяется изначальным положением таза. Эта закономерность полностью согласуется с выявленной возрастной динамикой РТ, начиная с 11–12 лет происходит переход от физиологической ретроверзии к нейтральному и переднему положению наклона таза, что делает пациентов старшего возраста более уязвимыми к дополнительному смещению таза вперед.

3. Разгибательные остеотомии бедренной кости (КОБ), выполненные пациентам группы 2Б, обеспечивают наиболее стабильный и предсказуемый результат с сохранением сагиттальной нейтральности. Данный метод хирургического вмешательства позволяет устранить СККС, не вызывая значимого смещения таза, что является критически важным для возрастной группы старше 12 лет, где, согласно нашим данным, преобладает исходная тенденция к нейтральному или переднему положению. Полученные результаты подтверждают

биомеханическое преимущество КОБ как метода выбора у пациентов подросткового возраста, особенно при сочетании костного компонента деформации с исходной антеверзией таза.

#### 5.8 Анализ осложнений и неблагоприятных исходов хирургического лечения у пациентов с ДЦП со СККС

В ходе проведённого исследования у 15 из 89 пациентов (17%) были зафиксированы осложнения хирургического лечения и неблагоприятные исходы. Их распределение по группам исследования было неравномерным: в 1-й группе и подгруппе 2Б частота осложнений составила 12% (4 пациента и 3 пациента соответственно). Наиболее высокая частота наблюдалась в подгруппе 2А у 8 из 30 больных (27%). Структура выявленных осложнений и неблагоприятных исходов представлена в таблице 5.9.

Таблица 5.9

Распределение осложнений и неблагоприятных исходов хирургического лечения у пациентов в группах исследования

Осложнение	Первая группа n, пациентов	Подгруппа 2А n, пациентов	Подгруппа 2Б n, пациентов
Рецидив СККС	4	3	3
Невропатия общего малоберцового нерва	-	1	-
Пролежни по задней поверхности нижней трети голени	-	4	-
Всего	4	8	3

Исходя из результатов, представленных в таблице 5.9, можно заключить, что рецидив СККС являлся наиболее частым неблагоприятным исходом хирургического лечения во всех группах исследования. В 1-й группе и подгруппе 2Б возникновение рецидива, в первую очередь, было связано с несоблюдением реабилитационного режима, в частности, отказом от сна в таторах и нерегулярным выполнением укладок на разгибание в КС для сохранения достигнутой в результате хирургического лечения амплитуды движений.

В подгруппе 2А рецидив СККС, зафиксированный у 3-х пациентов, имел иную этиологию: он был напрямую связан с наличием неустраненной сгибательной деформации дистального отдела бедренной кости. Изолированное УСГ не позволило устранить костный компонент деформации, что и предопределило повторное формирование контрактуры у данной категории пациентов. Это подчеркивает ограниченность применения мягкотканых методик хирургического лечения при выраженном костном компоненте контрактуры у пациентов старшего возраста.

У 1 пациента (3%) в подгруппе 2А отмечена невропатия общего малоберцового нерва в раннем послеоперационном периоде после этапной коррекции гипсовых повязок. На фоне консервативной терапии наблюдался полный регресс неврологической симптоматики к 14-м суткам после операции.

Кроме того, в подгруппе 2А зарегистрированы пролежни по задней поверхности голени в области края гипсовых повязок у 4 пациентов (13%), что, вероятно, связано как с трудностями соблюдения режима иммобилизации у подростков, так и с их большой массой тела.

Таким образом, подгруппа 2А характеризовалась наибольшей частотой осложнений и неблагоприятных исходов лечения (27%), включая как неврологические, так и кожные повреждения, что позволяет рассматривать данную категорию пациентов как группу повышенного риска. В остальных группах (1-й и 2Б) осложнения были единичные (12%) и в основном обусловлены несоблюдением реабилитационного режима.

Частота и структура осложнений, выявленных в данном исследовании (общий показатель 17%), сопоставимы с результатами, опубликованными другими авторами, и даже находятся в более благоприятном диапазоне. Поражение общего малоберцового нерва при УСГ считается одним из наиболее часто встречающихся осложнений с частотой встречаемости до 13% (Умнов В.В. 2013; Westberry, et al 2008; Karol LA, et al 2008; Salami F, et al 2019; Long JT 2020). В нашем исследовании был зафиксирован лишь один транзиторный случай после выполнения УСГ (~1.5%).

Аналогичная тенденция наблюдалась у пациентов, которым была выполнена КОБ: неврологических осложнений у этой группы больных зафиксировано не было, тогда как в ряде публикаций их частота после остеотомий достигала 5–10% (Gage et al. 2006; İnan M et al. 2015).

Частота рецидивов СККС в нашем исследовании составила около 12% для УСГ и 12% для КОБ, что также находится в нижнем диапазоне показателей, представленных в литературе. Так, частота рецидивов после УСГ варьирует до 17% (Dhawlikar et al. 1992; Atar D et al. 1993), а после КОБ до 27% (De Morais Filho MC et al. 2008; Stout JL et al. 2008; Rutz E et al. 2012).

Таким образом, полученные данные об осложнениях хирургического лечения и частоте рецидивов СККС являются сопоставимыми и, в частности, демонстрируют более благоприятные результаты, чем данные, опубликованные рядом других авторов.

#### 5.9 Анализ динамики нейрофизиологического обследования у пациентов с ДЦП со СККС

В послеоперационном периоде электромиографическое обследование было проведено ограниченному количеству пациентов (n=13), что обусловлено особенностями маршрутизации пациентов и логистическими ограничениями ввиду данного обследования в других медицинских учреждениях. Учитывая малый размер выборок и их неравномерность распределения по группам исследования (3 пациента из 1-й группы, 2 - из подгруппы 2А и 8 - из подгруппы 2Б) проведение межгруппового статистического анализа не представлялось возможным. В связи с этим, представленный ниже анализ данных носит описательный характер и направлен на выявление общих закономерностей изменений нейромышечной активности после различных методов коррекции СККС у пациентов с ДЦП.

Результаты внутригруппового анализа динамики (дельты) электрогенеза мышц в различных функциональных пробах приведены в таблицах 5.10 и 5.11.

### 1. Первая группа:

До устранения СККС у пациентов наблюдался, преимущественно, физиологический профиль мышечной активации. Послеоперационный анализ позволил выявить перестройку мышечных синергий и повышение эффективности работы определенных групп мышц. Данные изменения проявлялись в виде снижения амплитуды биопотенциалов большинства исследуемых мышц при выполнении функциональных проб (положение выпрямления и во время шаговых движений). Так, в «положении выпрямления» наблюдалось симметричное снижение активности *m. Rectus femoris* (Me Δ: L. -5 мкВ; R. -53 мкВ) и *m. Gastrocnemius* (Me Δ: L. -72 мкВ; R. -69 мкВ). Во время «шаговых движений» отмечена выраженная асимметричная динамика для *m. Semimembranosus*: на левой стороне её активность резко снизилась (Me Δ -422 мкВ), в то время как на правой, напротив, увеличилась (Me Δ 98 мкВ). Данные изменения могут свидетельствовать о снижении избыточного компенсаторного напряжения и постепенной перестройке двигательного стереотипа, направленной на повышение энергоэффективности движений.

### 2) Вторая группа:

- Подгруппа 2А:

До устранения СККС у пациентов наблюдался выраженный мышечный дисбаланс, анализ данных, представленных в таблицах, показал значимые положительные изменения, направленные на уменьшение патологических синергий. В результате оперативного вмешательства наблюдалось значительное двустороннее снижение патологической активности прямой мышцы бедра (*m. Rectus femoris*), гиперактивность которой являлась основным компонентом передней спастической синергии. Снижение её биопотенциалов фиксировалось во всех пробах, достигая максимальных значений в «положении выпрямления» (Me Δ: L. -890 мкВ и R. -208 мкВ) и во время «шаговых движений» (Me Δ: L. -690 мкВ и R. -110 мкВ). Такое выраженное снижение активности мышцы-антагониста указывает на частичное уменьшение передней спастической синергии, которая

была характерна для данной группы пациентов, а также тенденцию к частичному восстановлению физиологического двигательного стереотипа походки.

Таблица 5.10

Медианы изменений ( $\Delta$ ) показателей электрогенеза мышц нижних конечностей и туловища у пациентов со СККС при ДЦП (проба №1)

Показатели $\Delta$	Первая группа (мкВ) Ме [Q1; Q3]	Вторая группа	
		2А (мкВ) Ме [Q1; Q3]	2Б (мкВ) Ме [Q1; Q3]
В положении стоя			
L. Erector spine	-5 [-129;92]	104 [67,5; 141]	-31,5 [-72; 82]
L. Rectus femoris	13[-24;73]	-77,5 [-237; 81,8]	-0,3 [-72,9; 83,2]
L. Semimembranosus	11 [-45;127]	-135 [-192; -78,5]	30 [3; 79]
L. Gastrocnemius	-46 [-137;21]	-17,1 [-17,5; -16,6]	12,3 [-70,4; 49]
R. Erector spine	73 [69;77]	-24,5 [-49,8; 0,75]	-27,3 [-94,1; 56,9]
R. Rectus femoris	-299[-299;197]	84,5 [3,75; 165]	-1,5 [-122; 57]
R. Semimembranosus	90 [76;94]	83,5 [50,3; 117]	-24 [-70,2; 7,5]
R. Gastrocnemius	-85 [-92,8;0]	4,5 [-43,4; 52,3]	36 [-5,68; 62]
В положении максимального разгибания в коленных суставах и спины			
L. Erector spine	35 [-29,9;37]	-6,9 [-38,8; 25,1]	27,3 [-87,5; 75,3]
L. Rectus femoris	-5 [-117; -2]	-377 [-532; -222]	-70 [-184; 129]
L. Semimembranosus	-48 [-87; -12]	-87,5 [-144; -30,8]	-81 [-140; 76,5]
L. Gastrocnemius	-72 [-104; -48]	-109 [-120; 99,1]	-2 [-49; 33,3]
R. Erector spine	149 [-15; 209]	-63,3[-66,9; -59,6]	48,5 [-46,3; 75,8]
R. Rectus femoris	-53 [-110; 24]	-200 [-349; -49,8]	-125 [-303; 42]
R. Semimembranosus	-107 [-170; -33]	12,5 [-28,8; 53,8]	36,1 [-45,3; 76,5]
R. Gastrocnemius	-69 [-113; 60]	-28 [-46; -10]	-13,5 [-29,3; 23,5]
Во время шаговых движений			
L. Erector spine	-113 [-410; 21]	-94 [-94; -94]	25,5 [-50,3; 82,5]
L. Rectus femoris	-241 [-297; -123]	-690 [-883; -496]	41 [-81,5; 230]
L. Semimembranosus	-422 [-436; -59]	-427 [-498; -357]	13 [-96; 114]
L. Gastrocnemius	-93 [-1020; -33]	-304 [-315; -294]	-56,5 [-202; 44,3]
R. Erector spine	52 [-23; 126]	73 [-24; 170]	3,5 [-61,3; 278]
R. Rectus femoris	-51[-97; 109]	-110 [-122; -96,8]	-132 [-262; 139]
R. Semimembranosus	98[-75;181]	-65,5 [-191; 60,3]	31,5 [-60,5; 76,8]
R. Gastrocnemius	-122 [-142; -28]	-33,5 [-130; 63,3]	-36 [-63,3; 77]

Медианы изменений ( $\Delta$ ) показателей электрогенеза мышц нижних конечностей и туловища у пациентов со СККС при ДЦП (проба №2)

Показатели $\Delta$	Первая группа (МКВ) Me [Q1; Q3]	Вторая группа	
		2А (МКВ) Me [Q1; Q3]	2Б (МКВ) Me [Q1; Q3]
В положении стоя			
L. Erector spine	75,5 [14,7; 136]	104 [67,5; 141]	-31,5 [-72; 82]
L. Gluteus max	-14 [-220; 1,7]	-9,6 [-34,4; 15,2]	35,5 [-3,28; 96,5]
L. Rectus femoris	-53 [-65; -41,3]	-79,5 [-215; 56,3]	-35,8 [-126; 36,5]
L. Tibialis	-38 [-46; -2]	-163 [-419; 93]	-105 [-163; 169]
L. Gastrocnemius	-133 [-157; -128]	-17,5 [-26,8; -8,25]	-19,5 [-74; -13]
R. Erector spine	80 [77,5; 82,5]	-24,5 [-49,8; 0,75]	-27,3 [-94,1; 56,9]
R. Gluteus max	-12,3 [-24,2; -5]	-18,5 [-37,8; 0,75]	-3,55 [-51,3; 15,8]
R. Rectus femoris	-38 [-70,5; -30,5]	169 [104; 233]	-47 [-70,6; 76]
R. Tibialis	-16,2 [-112; 134]	15 [-14; 44]	-36 [-213; 45]
R. Gastrocnemius	-75 [-95,2; -74]	86 [48,5; 124]	36 [-16; 56]
В положении максимального разгибания в коленных суставах и спины			
L. Erector spine	37 [35; 89]	-6,9 [-38,8; 25,1]	27,3 [-87,5; 75,3]
L. Gluteus max	-31 [-202; 2]	-61,5 [-107; -16,3]	27,6 [-1,42; 42,3]
L. Rectus femoris	-133 [-254; 108]	-890 [-1434; -347]	5 [-66; 156]
L. Tibialis	-173 [-275; -71]	-89,5 [-315; 136]	-80,6 [-174; -65]
L. Gastrocnemius	-207 [-400; -173]	5,15 [-27,3; 37,6]	-143 [-185; 33]
R. Erector spine	-15 [-184; 206]	-63,3 [-66,9; -59,6]	48,5 [-46,3; 75,8]
R. Gluteus max	-36 [-55,9; 87]	-226 [-326; -127]	28,6 [-47,7; 31]
R. Rectus femoris	-307 [-528; -140]	-208 [-458; 41,5]	-36 [-135; -16]
R. Tibialis	-140 [-409; 66,5]	-137 [-185; 88,3]	-65 [-144; -35]
R. Gastrocnemius	-210 [-218; -110]	125 [63,3; 186]	16 [-71; 19]
Во время шаговых движений			
L. Erector spine	21 [-113; 194]	-94 [-94; -94]	25,5 [-50,3; 82,5]
L. Gluteus max	-21,1 [-175; 81]	-255 [-359; -150]	4 [-54,8; 116]
L. Rectus femoris	-118 [-207; -18,5]	-753 [-1290; -215]	-180 [-459; 151]
L. Tibialis	-211 [-391; -20]	114 [-59,8; 287]	-224 [-366; 77]
L. Gastrocnemius	-403 [-1211; -295]	-24,5 [-28,3; -20,8]	-407 [-669; 115]
R. Erector spine	52 [-121; 126]	73 [-24; 170]	3,5 [-61,3; 278]
R. Gluteus max	67 [-101; 115]	-179 [-254; -103]	-56 [-214; 0]
R. Rectus femoris	114 [-1,5; 114]	1,5 [-216; 219]	-169 [-348; 35]
R. Tibialis	151 [-220; 253]	126 [75,5; 177]	-143 [-291; -139]
R. Gastrocnemius	-93 [-157; -92]	173 [161; 185]	-91 [-273; -27]

- Подгруппа 2Б:

До устранения СККС у пациентов наблюдался преимущественно физиологический профиль активации, но со слабостью мышц-разгибателей. Изменения у данной категории пациентов после проведения хирургических вмешательств были наименее выраженными, что указывает на сохранение и

улучшение их стабильного двигательного паттерна. Медианы дельт для большинства мышц были близки к нулю. Однако, при этом отмечались физиологически обоснованные изменения, свидетельствующие об улучшении мышечной координации. Так, в «положении выпрямления» наблюдалось двустороннее увеличение активности ключевой мышцы-разгибателя бедра, такой как *m. Gluteus maximus* (Me Δ: L. 35,5 мкВ; R. 28,6 мкВ). Это происходило на фоне одновременного снижения активности его антагониста, прямой мышцы бедра *m. R. Rectus femoris* (Me Δ -36 мкВ). Улучшение активности большой ягодичной мышцы при одновременном снижении активации прямой мышцы бедра отражало восстановление нормальной физиологической последовательности включения разгибателей бедра в положении выпрямления и свидетельствовало о нормализации фазовой координации движений в тазобедренном суставе.

Представленные описательные электрофизиологические данные позволяют предположить, что хирургическая коррекция СККС во всех группах исследования приводила к изменению двигательных паттернов мышечной активации. Однако, характер этих изменений зависел от метода хирургического вмешательства.

Дополнительно проведён анализ связи между изменением положения таза (ΔРТ) после хирургического вмешательства и нейрофизиологическими показателями активности мышц. В группе 1 и 2А при анализе клинических наблюдений устойчивых взаимосвязей между динамикой параметров таза и характером мышечной активации выявлено не было, что свидетельствует об отсутствии выраженной нейромышечной обусловленности изменения положения таза после проведения УСГ. В подгруппе 2Б, напротив, в отдельных случаях отмечалась сопряжённость между ΔРТ и активностью *m. Semimembranosus* в положении максимального разгибания в КС и мышцах спины. Кроме того, наблюдалась более выраженная согласованность между ΔРТ и активностью *m. Semimembranosus* в положении стоя, что отражает особенности постуральной перестройки после коррекции костного компонента деформации, характерной для пациентов подросткового возраста.

Следует подчеркнуть, что характер выявленных изменений отражает кардинальные различия механизмов оперативных вмешательств. В группах 1 и 2А снижение патологической мышечной активности закономерно связано с устранением избыточного натяжения мышц сгибателей голени, что уменьшает необходимость в компенсаторной гиперактивации и ослабляет переднюю спастическую синергию.

Напротив, при выполнении КОБ в группе 2Б ведущим фактором становится восстановление нормальной биомеханики КС за счёт чего улучшается фазовая координация и усиливается активация физиологических разгибательных групп без необходимости радикальной перестройки двигательных стереотипов. Относительно небольшая выраженность динамики показателей ЭМГ у пациентов данной категории объясняется тем, что их исходный двигательный стереотип был ближе к физиологическому, а устранение костного компонента деформации корректирует механическую ось КС, сохраняя при этом уже сформированные двигательные паттерны и механизмы сагиттальной компенсации.

#### 5.10 Алгоритм выбора хирургического лечения детей со СККС при ДЦП

На основе комплексного сравнительного анализа результатов хирургического лечения пациентов со СККС был разработан алгоритм выбора оптимальной хирургической тактики. Целью данного алгоритма является персонафицированный подход к лечению пациентов с ДЦП со СККС с целью достижения максимального функционального результата при сохранении стабильности позвоночно-тазовых соотношений.

Алгоритм, представленный в виде схемы на рисунке 5.6, разделяет пациентов по ключевым критериям, значимость которых была доказана в ходе настоящего исследования: возраст пациента, наличие сопутствующих деформаций, исходное положение таза. Выбор именно этих ключевых параметров обусловлен тем, что возраст отражает степень биомеханической зрелости позвоночно-тазового

комплекса, а наличие костных деформаций определяет анатомический компонент контрактуры, требующий различных способов коррекции.

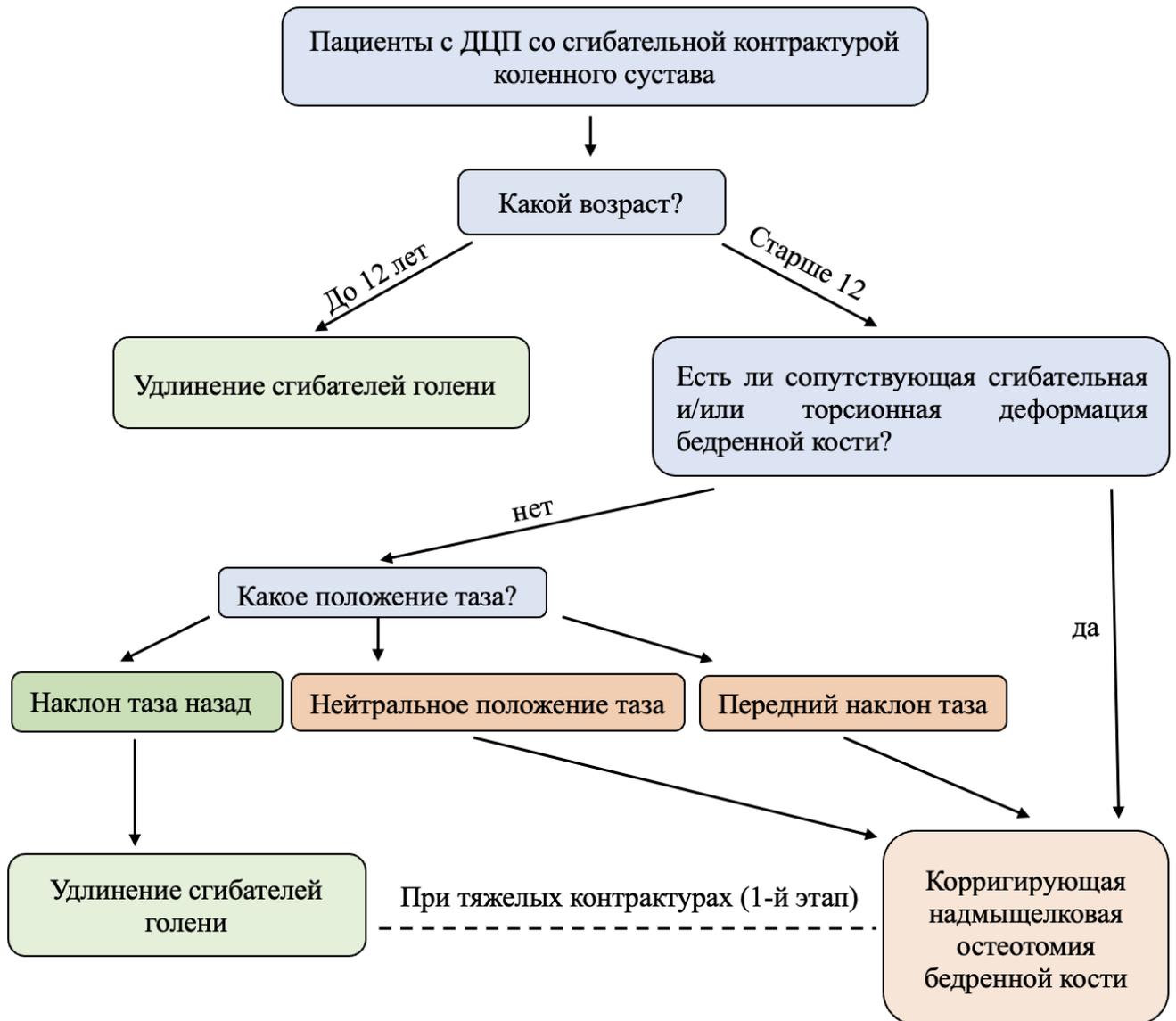


Рисунок 5.6. Алгоритм выбора хирургического лечения детей со сгибательной контрактурой коленного сустава при ДЦП

Первым и определяющим шагом в выборе тактики лечения является оценка возраста пациента, так как он предопределяет изменения позвоночно-тазового комплекса после проведения хирургического вмешательства, направленного на устранение СККС.

1. Для пациентов младшей возрастной группы (до 12 лет), методом выбора является изолированное УСГ. Как показал анализ результатов лечения 1-й

группы данная процедура эффективно устраняет СККС, не вызывая при этом статистически значимых изменений сагиттального баланса туловища. Мобильность опорно-двигательного аппарата у пациентов данной возрастной группы позволяет им адаптироваться к изменению мышечного натяжения без дестабилизации тазового комплекса.

2. Для пациентов старшей возрастной группы (12–17 лет), выбор тактики лечения определяется наличием костных деформаций.

- При наличии клинически и рентгенологически подтвержденной сгибательной деформации дистального отдела бедренной кости и/или торсионных изменений бедра, методом выбора является изолированная КОБ, при необходимости в сочетании с коррекцией торсионного компонента. Результаты сравнительного анализа подгруппы 2А и 2Б убедительно доказывают, что данный метод позволяет не только одномоментно скорректировать многоплоскостную деформацию бедренной кости, но и, что принципиально важно, сохранить исходные позвоночно-тазовые соотношения.

- При наличии изолированной мягкотканой контрактуры КС у подростков КОБ также рассматривается как предпочтительный метод коррекции. Данная рекомендация основана на результатах сравнительного анализа сагиттальных позвоночно-тазовых параметров в подгруппах 2А и 2Б. Было установлено, что изолированное УСГ в этой возрастной группе (подгруппа 2А) приводит к статистически значимому изменению наклона таза кпереди и увеличению поясничного лордоза, что в дальнейшем может сказаться на двигательной активности данной категории пациентов. Таким образом, КОБ является более безопасной альтернативой с точки зрения сохранения стабильности сагиттального баланса.

Изолированное УСГ у подростков может быть оправдано в двух случаях. В первом случае, при исходном положении таза в состоянии ретроверзии – для восстановления нейтрального сагиттального профиля, во втором – при тяжёлых контрактурах, когда одномоментная коррекция при вмешательстве на костных структурах связана с высоким риском тракционных повреждений сосудисто-

нервного пучка. В такой ситуации мягкотканное вмешательство выполняется в качестве первого этапа перед последующей костной коррекцией.

Таким образом, предложенный алгоритм подчеркивает необходимость индивидуального подхода к лечению пациентов с ДЦП со СККС. Оптимальная хирургическая тактика должна определяться возрастом пациента, наличием костных деформаций и исходным положением таза в сагиттальной плоскости. Применение данного алгоритма позволит улучшить результаты лечения данной категории пациентов, прогнозировать исходы вмешательства, снизить риски ятрогенных нарушений постурального баланса и повысить функциональные результаты лечения.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Детский церебральный паралич (ДЦП) – одна из основных причин, приводящих к детской инвалидности, которая сопровождается стойкими и грубыми нарушениями опорно-двигательного аппарата. Одним из наиболее значимых вторичных ортопедических осложнений является сгибательная контрактура коленного сустава (СККС), приводящая, по данным ряда авторов, к прогрессирующему ухудшению качества жизни ребенка вплоть до полной утраты способности к самостоятельному передвижению [А.А. Данилов и др. 2013; S.A. Rethlefsen et al. 2017]. Следует подчеркнуть, что СККС представляет собой не только локальную ортопедическую проблему, но и является ключевым фактором в развитии сложного каскада компенсаторных изменений во всей биомеханической цепи «коленный сустав – таз – позвоночник». Несмотря на то, что теоретически эта взаимосвязь очевидна, ее конкретные патогенетические механизмы, динамика развития и клиническое значение до настоящего времени остаются недостаточно хорошо изученными, что затрудняет разработку патогенетически обоснованного подхода к хирургическому лечению контрактуры у данной категории пациентов.

Существует противоречивость данных относительно выбора оптимальной тактики хирургического лечения. Два основных метода лечения, удлинение сгибателей голени (УСГ) и корригирующая остеотомия бедра (КОБ), несмотря на сопоставимую эффективность устранения контрактуры коленного сустава, характеризуются неоднозначным влиянием на сагиттальный баланс туловища, что отражено в источниках научной литературы. Анализ публикаций подтвердил разносторонность полученных результатов. Большинство исследователей настаивали на том, что УСГ провоцирует ятрогенное увеличение наклона таза кпереди, нарушая глобальный баланс туловища [P.A. DeLuca et al. 1998; W.N. Chang et al. 2004; A.B. Gordon et al. 2008; T. Dreher et al. 2012; A. Nazareth et al. 2016; L. Galan et al. 2023; P.M. Cirrincione et al. 2024]. В противоположность этому мнению, ряд авторов не наблюдали данного осложнения, либо считали его

клинически незначимым [V. Saraph et al. 2002; C. Church et al. 2018; L. Bezuidenhout et al. 2023; B. Kanashvili et al. 2024].

Подобная неоднозначность существовала и в отношении выполнения КОБ. Изначально этот метод рассматривался как альтернативная операция, не вызывающая нарушения положения таза. Однако анализ научной литературы выявил противоречивые данные. В ряде публикаций описаны случаи развития переднего наклона таза после данного вмешательства. Важно отметить, что эти результаты трудно интерпретировать объективно, поскольку КОБ выполнялась в рамках многоуровневых операций, что не позволяло оценить ее изолированный эффект [J.L. Stout et al. 2008; T.F. Novacheck et al. 2009; R. Sossai et al. 2015; M.C.M. Klotz et al. 2017; M.H. Nabian et al. 2024].

Таким образом, к началу настоящего исследования в клинической практике отсутствовало единое мнение относительно результата выполняемых вмешательств, а также стандартизированный алгоритм лечения пациентов с СККС. Кроме того, необходимо отметить, что применяемые хирургические подходы к лечению данной категории пациентов не учитывали в должной мере состояние сагиттального баланса туловища и особенности возникновения компенсаторных механизмов. Данное научное и клиническое противоречие послужило основанием для постановки цели нашей работы: улучшить результаты хирургического лечения пациентов со СККС при ДЦП путем выбора метода коррекции на основании комплексной оценки показателей сагиттального баланса туловища.

#### Задачи исследования

1. Первой задачей исследования было изучение показателей сагиттального профиля у детей со сгибательной контрактурой коленного сустава при ДЦП. В качестве методологической основы для оценки сагиттального профиля был использован рентгенологический стандарт SRS-Schwab, оценивающий статические анатомические соотношения в положении пациента стоя, что принципиально отличает данный подход от динамического анализа походки. В соответствии с критериями Pelvic Tilt (PT) были выделены три типа положения таза: передний наклон ( $PT < 5^\circ$ ), нейтральное положение ( $PT 5^\circ - 20^\circ$ ) и наклон назад

(PT > 20°). В результате исследования было установлено, что адаптация опорно-двигательного аппарата у детей с ДЦП к СККС носит эволюционный характер и формирует три последовательных биомеханических паттерна в зависимости от возрастных показателей.

У пациентов младшей возрастной группы (<12 лет) системные постуральные нарушения еще не развиты. При этом, у них уже отмечаются тенденции к формированию начальных компенсаторных изменений осанки.

У подростков (>12 лет) были выявлены два принципиально различных сформированных сагиттальных профиля. Первый профиль (подгруппа 2А) характеризовался гетерогенностью и включал пациентов со всеми тремя положениями таза (антеверзия, нейтральное положение, ретроверзия), сопровождался развитием позвоночной декомпенсации и соответствовал II типу осанки по Roussouly («плоская спина») со смещением туловища кпереди. Второй профиль (подгруппа 2Б) был преимущественно представлен пациентами с нейтральным положением и передним наклоном таза, что характеризуется тазовой компенсацией. Это позволяет поддерживать глобальный сагиттальный баланс туловища и соответствует III типу осанки по Roussouly («сбалансированная осанка»).

2. Вторая задача заключалась в проведении анализа зависимости и взаимосвязи параметров сагиттального баланса туловища от величины СККС. В ходе исследования удалось выявить биомеханические закономерности, лежащие в основе формирования и поддержания сагиттального профиля позвоночника, описанных выше. У пациентов младшей возрастной группы (1 группа) был подтвержден локальный характер нарушений: анализ не выявил статистически значимых корреляций между показателями СККС и ключевыми показателями сагиттального баланса (PT, SS, LL, SVA). При этом отмечены следующие тенденции: слабая отрицательная корреляция с PT ( $\rho = -0,29$ ;  $p = 0,119$ ) и умеренная отрицательная связь с ТК ( $\rho = -0,31$ ;  $p = 0,096$ ), которые подтверждают начальные этапы формирования компенсаторных изменений осанки. Эти факты свидетельствуют о том, что на ранних этапах, благодаря большим

приспособительным и компенсаторным возможностям опорно-двигательного аппарата, стойкие системные поструральные нарушения еще не развиваются, но предпосылки к ним в этом возрасте ребенка уже закладываются.

В подростковом возрасте, напротив, были установлены сильные корреляционные связи, определяющие системный характер компенсации. Для подгруппы 2А, паттерн позвоночной декомпенсации, за счет позвоночника на фоне «ригидного» таза: была доказана прямая зависимость между дефицитом разгибания коленного сустава и параметрами позвоночника - умеренная отрицательная корреляция с поясничным лордозом (LL) ( $\rho = -0,42$ ;  $p = 0,013$ ) и умеренная положительная взаимосвязь с сагиттальной вертикальной осью (SVA) ( $\rho = 0,36$ ;  $p = 0,039$ ).

Для подгруппы 2Б, паттерна тазовой компенсации, адаптация реализуется за счет активного изменения положения таза - его наклона кзади, что характеризуется сильной отрицательной корреляцией между величиной СККС и углом наклона крестца (SS) ( $\rho = -0,66$ ;  $p = 0,004$ ), что подтверждает наклон таза кзади как ведущий механизм адаптации и позволяет поддерживать глобальный баланс туловища.

3. Третья задача исследования была посвящена разработке нового фиксирующего устройства для выполнения корригирующей надмышцелковой остеотомии бедренной кости. В рамках работы было разработано и апробировано устройство, направленное на повышение стабильности остеосинтеза, особенно в условиях сниженной костной плотности, что характерно для данной категории пациентов. Его конструкция, включающая анатомически адаптированную к мышцелкам бедра форму и фиксирующий элемент для создания компрессии в зоне остеотомии, обеспечивает высокую первичную стабильность и надежность. Применение разработанной металлоконструкции позволило обеспечить высокую стабильность и надежность остеосинтеза при выполнении различных вариантов КОБ: как изолированной разгибательной остеотомии (для устранения сгибательного компонента деформации), так и деторсионно-разгибательной и укорачивающей деторсионно-разгибательной остеотомий, направленных на коррекцию не только сгибательной, но и торсионной деформации бедренной кости.

Одновременно с этим необходимо подчеркнуть, что совершенствование методов выполнения остеотомии бедренной кости обеспечило индивидуальный подход к каждому пациенту с учетом особенностей его деформационных изменений. Выполнение определенных корригирующих манипуляций и резекционных остеотомий позволило одномоментно исправить даже сложные многоплоскостные деформации в ходе одного хирургического вмешательства. Использование разработанной металлоконструкции в ходе операции позволило расширить возможности послеоперационного ведения пациента, включая отказ от применения внешней иммобилизации, начало реабилитационных мероприятий в ранний период (уже с 3-й недели после операции) и вертикализацию пациентов - с 6-й недели, что сократило сроки восстановительного периода в два раза.

4. Четвертая задача заключалась в оценке эффективности методов хирургического лечения с учетом их влияния на сагиттальный профиль. Сравнительный анализ УСГ и КОБ показал, что оба метода одинаково эффективно устраняют СККС на локальном уровне ( $p > 0,05$ ). Однако их влияние на позвоночно-тазовые соотношения оказалось принципиально различным и, как показал детальный анализ, напрямую зависящим от исходного положения таза (РТ).

УСГ провоцирует значимый каскад компенсаторных изменений, проявляющийся в выраженном наклоне таза вперед, что подтверждается статистически значимым уменьшением РТ как в младшей ( $p = 0,012$ ), так и в старшей возрастной группе ( $p < 0,001$ ). При этом межгрупповой анализ показал, что в подгруппе 2А (у более старшей категории пациентов) данный эффект был значительно более выраженным (Ме  $\Delta$ РТ  $-11,8^\circ$ ), чем в 1-й группе (Ме  $\Delta$ РТ  $-7,2^\circ$ ) ( $p = 0,045$ ).

Также клиническое значение переднего наклона таза после УСГ различно в зависимости от исходного положения таза:

- У пациентов при наличии исходной ретроверзии таза (РТ  $> 20^\circ$ ) данное вмешательство приводило к уменьшению РТ (Ме  $\Delta$ РТ  $-14,9^\circ$ ), что способствовало нормализации физиологических позвоночно-тазовых взаимоотношений.

- У пациентов с исходным нейтральным ( $PT = 5^{\circ}-20^{\circ}$ ) и передним наклоном таза ( $PT < 5^{\circ}$ ), напротив, удлинение сгибателей голени приводило к ятрогенной дестабилизации: увеличению антеверзии (Me  $\Delta PT -9,3^{\circ}$  и  $-11,2^{\circ}$  соответственно) и компенсаторному увеличению поясничного лордоза, что вело к усугублению сагиттального глобального дисбаланса. Именно различия в исходных типах положения таза в подгруппе 2А обуславливают разнонаправленность полученных результатов, что служит объяснением противоречивости литературных данных после удлинения сгибателей голени у пациентов подросткового возраста.

В противоположность этому КОБ продемонстрировала наиболее стабильный и надежный результат. В отличие от мягкотканых вмешательств, данная методика не вызывала значимого смещения таза у пациентов с нейтральным профилем, а у пациентов с исходной антеверзией способствовала восстановлению нейтрального положения (Me  $\Delta PT 4,0^{\circ}$ ). Это позволило сохранить глобальный сагиттальный баланс туловища и устранить СККС, не вызывая статистически значимых вторичных изменений положения таза в сагиттальной плоскости ( $p = 0,088$ ). Межгрупповой сравнительный анализ подтвердил, что КОБ, в отличие от УСГ, сохраняет стабильность тазового комплекса, демонстрируя значительно меньшее изменение наклона таза ( $p = 0,002$ ). Кроме того, было доказано, что КОБ позволяет одновременно и статистически значимо корригировать сопутствующие торсионные деформации бедра ( $p < 0,001$ ).

5. Пятой задачей исследования стала разработка алгоритма лечения детей со СККС при ДЦП. На основании выявленных биомеханических паттернов, регрессионного анализа возрастной динамики и оценки исходного баланса был предложен дифференцированный и патогенетически обоснованный подход к выбору хирургической тактики.

1) Возрастной критерий выбора тактики (пациенты до 12 лет и старше 12 лет) получил научное обоснование благодаря проведенному регрессионному анализу, который выявил зону «биомеханического перехода» в возрасте 11–12 лет. Именно в этот период происходит подтвержденная смена физиологической

ретроверзии таза, характерной для младшего возраста, на нейтральное или переднее положение, свойственное пациентам старшего возраста.

2) Пациентам младшей возрастной группы (<12 лет) для устранения СККС рекомендуется выполнять УСГ. Несмотря на то, что данное вмешательство приводит к статистически значимому наклону таза кпереди (уменьшение РТ,  $p = 0,012$ ), данный вывод обоснован тем, что в этом возрасте преобладает исходная ретроверзия таза. Следовательно, послеоперационный наклон таза носит восстановительный характер, а высокие адаптационные возможности и мобильность опорно-двигательного аппарата у пациентов детского возраста позволяет им приспособливаться к этим изменениям без формирования стойкой и ригидной постуральной декомпенсации.

3) Пациентам старшей возрастной группы (12–17 лет) для устранения СККС предпочтительным методом является КОБ.

- При наличии многоплоскостной деформации (например, сгибательной в сочетании с торсионной) выполнение корригирующей и укорачивающей остеотомии бедренной кости позволяет выполнить её одномоментную полную коррекцию ( $p < 0,001$ ).

- При изолированной сгибательной контрактуре в коленном суставе КОБ является более безопасным вмешательством по сравнению с УСГ. Результаты исследования доказали, что УСГ у подростков (подгруппа 2А) провоцирует выраженное изменение наклона таза кпереди ( $\Delta RT -11,8^\circ$ ) и сопутствующее увеличение поясничного лордоза. Одновременно с этим, необходимо подчеркнуть, что выполнение КОБ (подгруппа 2Б) позволяет устранить контрактуру в коленном суставе, сохраняя исходную стабильность сагиттального баланса (статистически незначимое внутригрупповое изменение РТ  $p = 0,088$ ; межгрупповое различие по величине  $\Delta RT$   $p = 0,002$ ).

4) Особые показания к применению УСГ в качестве метода устранения СККС у подростков:

- При наличии у пациента исходного, выраженного наклона таза кзади (РТ > 20°). В этом случае ятрогенный наклон таза кпереди может оказать корригирующий эффект на глобальный сагиттальный баланс.

- При тяжелых контрактурах (>45°), когда одномоментная костная коррекция сопряжена с высоким риском нейро-сосудистых осложнений в результате тракционного воздействия. В таких ситуациях УСГ может применяться в качестве первого этапа лечения с целью частичного устранения деформации в коленном суставе перед последующей остеотомией и рассматриваться как вариант подготовки перед выполнением более сложного хирургического вмешательства.

Проведенное исследование позволило сделать ключевой вывод, что выбор метода хирургического лечения СККС у пациентов с ДЦП должен определяться не только величиной контрактуры в самом суставе, но и обязательно сопровождаться комплексной оценкой сагиттального позвоночно-тазового профиля с определением типа компенсаторного паттерна и оценкой исходного положения таза. Применение разработанного на основе этих данных дифференцированного алгоритма лечения детей со СККС при ДЦП показало эффективность его применения. Это способствовало улучшению результатов лечения и снижению риска вторичных постуральных нарушений, а также позволило реализовать персонализированный подход к лечению данной категории сложных пациентов.

## ВЫВОДЫ

1. Показатели сагиттального профиля у детей с ДЦП и сгибательной контрактурой коленного сустава в зависимости от возраста ребенка характеризуются формированием трех последовательных биомеханических паттернов адаптации. У пациентов младшей возрастной группы (<12 лет) отмечается локальный компенсаторный характер, проявляющийся ретроверзией таза при сохранении глобального сагиттального баланса. У пациентов старшего возраста (>12 лет) формируются два различных системных паттерна: позвоночной декомпенсации, соответствующий II типу осанки по Roussouly («плоская спина»), и тазовой компенсации, соответствующий III типу осанки («сбалансированная осанка»).

2. Установлены статистически значимые взаимосвязи между величиной сгибательной контрактуры коленного сустава и параметрами сагиттального баланса туловища. При локальном паттерне не выявлено статистически значимых связей, однако отмечены тенденции с РТ ( $\rho = -0,29$ ;  $p = 0,119$ ) и с ТК ( $\rho = -0,31$ ;  $p = 0,096$ ), указывающие на начальные этапы формирования компенсаторных изменений. При паттерне позвоночной декомпенсации дефицит активного разгибания коленного сустава коррелирует с уменьшением поясничного лордоза ( $\rho = -0,42$ ;  $p = 0,013$ ) и смещением сагиттальной вертикальной оси кпереди ( $\rho = 0,36$ ;  $p = 0,039$ ). При паттерне тазовой компенсации величина контрактуры имеет сильную отрицательную взаимосвязь с углом наклона крестца ( $\rho = -0,66$ ;  $p = 0,004$ ), что подтверждает наклон таза кзади как ведущий механизм адаптации.

3. Разработанное и апробированное новое фиксирующее устройство для остеосинтеза бедренной кости после корригирующей надмышцелковой остеотомии (патент на изобретение РФ № 2810888С1 от 29.12.2023г.), за счет адаптированной формы с учетом анатомических особенностей костных структур ребенка и элемента компрессии, обеспечивает высокую стабильность и надежность остеосинтеза. Это позволяет исключить необходимость внешней иммобилизации, обеспечить начало реабилитационного периода в ранние сроки (с 3-й недели после

операции) и приступить к вертикализации пациента с 6-й недели после хирургического лечения.

4. Удлинение сгибателей голени приводит к статистически значимому переднему наклону таза ( $p = 0,012$  у детей и  $p < 0,001$  у подростков), более выраженному у пациентов старшей возрастной группы (Me  $\Delta PT -11,8^\circ$ ) по сравнению с младшей (Me  $\Delta PT -7,2^\circ$ ;  $p = 0,045$ ). Клиническое значение переднего наклона таза при исходной ретроверзии ( $PT > 20^\circ$ ) заключается в восстановительном эффекте с нормализацией положения таза до нейтрального ( $PT 5^\circ-20^\circ$ ); в то же время при исходно нейтральном положении таза ( $PT 5^\circ-20^\circ$ ) или его антеверзии ( $PT < 5^\circ$ ) данное вмешательство приводит к дестабилизации тазового комплекса и усугублению сагиттального дисбаланса. Корректирующая разгибательная надмышцелковая остеотомия бедренной кости обеспечивает стабильность тазового комплекса ( $p = 0,088$ ) и сопровождается сохранением параметров сагиттального баланса по сравнению с удлинением сгибателей голени ( $p = 0,002$ ).

5. Научно обоснован и разработан дифференцированный алгоритм хирургического лечения детей со сгибательной контрактурой коленного сустава при ДЦП. Пациентам младшей возрастной группы (<12 лет) рекомендовано удлинение сгибателей голени. Пациентам старшего возраста (>12 лет) методом выбора является корректирующая разгибательная надмышцелковая остеотомия бедренной кости как операция, не приводящая к изменению сагиттального баланса туловища. Применение удлинения сгибателей голени у подростков ограничено случаями исходной ретроверзии таза или может использоваться в качестве первого хирургического этапа при лечении тяжелых сгибательных контрактур коленного сустава.

## ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. У пациентов с ДЦП с СККС с целью оценки сагиттального баланса туловища перед операцией показано выполнение панорамной рентгенографии скелета в положении стоя в боковой проекции (с захватом от С7 шейного позвонка до коленных суставов) с расчетом ключевых позвоночно-тазовых параметров: тазового индекса (PI – Pelvic Incidence), угла наклона таза (PT - Pelvis Tilt), угла наклона крестца (SS - Sacral Slope), грудного кифоза (ТК - Thoracic Kyphosis), поясничного лордоза (LL - Lumbar Lordosis) и показателя отклонения вертикальной сагиттальной оси (SVA - Sagittal Vertical Axis).

2. При проведении хирургического лечения пациентов с ДЦП с СККС необходимо учитывать возраст ребенка и сагиттальные позвоночно-тазовые соотношения.

3. У пациентов младшей возрастной группы (<12 лет) с ДЦП со СККС показано удлинение сгибателей голени, которое не сопровождается формированием стойкой постуральной декомпенсации сагиттального профиля.

4. У пациентов старшей возрастной группы (>12 лет) с ДЦП с изолированной сгибательной контрактурой коленного сустава и исходным нейтральным положением или передним наклоном таза в сочетании с гиперлордозом показано проведение КОБ, которая обеспечивает относительную стабильность тазового комплекса и не усугубляет уже имеющиеся нарушения сагиттального баланса.

5. У пациентов старшей возрастной группы (>12 лет) с ДЦП со СККС при наличии сопутствующей торсионной деформации бедренной кости показано проведение корригирующей остеотомии бедра в сочетании с частичной резекцией, которая позволяет осуществить одномоментную многоплоскостную коррекцию костных структур и устранить СККС без ухудшения глобального сагиттального баланса.

6. Выполнение удлинения сгибателей голени у подростков (>12 лет) с ДЦП с СККС показано при величине контрактур до 45° в сочетании с исходной

ретроверзией таза ( $PT > 20^\circ$ ), при которой послеоперационный передний наклон таза носит восстановительный характер и способствует нормализации сагиттального баланса туловища, а также при коррекции тяжелых контрактур ( $>45^\circ$ ) в качестве первого этапа лечения, направленного на уменьшение показателей контрактуры и снижение риска тракционных сосудисто-нервных осложнений перед последующей костной коррекцией.

7. При выполнении корригирующей остеотомии бедренной кости у детей с ДЦП со сниженной костной плотностью рекомендуется использовать вариант остеосинтеза, обеспечивающий высокую стабильность и надежность фиксации в зоне остеотомии. С этой целью рекомендуется применение нового фиксирующего устройства, разработанного в ходе исследования (Патент РФ на изобретение № 2810888С1 от 29.12.2023 г.).

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ДЦП – детский церебральный паралич;

КОБ – корригирующая надмышцелковая остеотомия бедренной кости;

КС – коленный сустав;

ОЦМ – общий центр масс;

СККС – сгибательная контрактура коленного сустава;

ССН – собственная связка надколенника;

УСГ – удлинение сгибателей голени.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барсуков, Д. Б. Оценка рентгенологических показателей позвоночно-тазовых соотношений у детей с тяжелой формой юношеского эпифизеолиза головки бедренной кости / Барсуков Д.Б., Бортулев П.И., Виссарионов С.В. [и др.] // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. – 2022. – Т. 10, № 4. – С. 365–374.
2. Батышева, Т. Т. Детский церебральный паралич и эпилепсия: современные подходы к лечению. Метод. рекомендации № 27 / Батышева Т.Т., Трепилец С.В., Квасова О.В. – М. : ГБУЗ «НПЦ детской психоневрологии ДЗМ», 2016. – 4 с.
3. Брытов, А. В. Ортопедохирургическое лечение детей с приобретенными деформациями коленного сустава : автореф. дис. канд. мед. наук / Брытов А.В. – СПб., 2009. – 34 с.
4. Волкова, М. О. Анализ эффективности сухожильно-мышечной пластики коленного сустава у пациентов со сгибательными контрактурами коленных суставов на фоне спастических форм детского церебрального паралича / Волкова М.О., Жердев К.В., Челпаченко О.Б. [и др.] // Детская хирургия. – 2020. – Т. 24, № 4. – С. 245–251.
5. Волкова, М. О. Оптимизация хирургического лечения сгибательных контрактур коленных суставов у детей со спастическими формами детского церебрального паралича : дис. канд. мед. наук / Волкова М.О. – М., 2021. – С. 95.
6. Воронцов, И.М. Пропедевтика детских болезней / Воронцов И.М., Мазурин А.В. – СПб.: Фолиант, 2009. – 1008 с.
7. Данилов, А. А. Механизм формирования и клиническое течение сгибательных контрактур коленных суставов у детей с церебральным параличом / Данилов А.А., Балицкая Ю.Л., Моця М.А. // Хірургія дитячого віку. – 2013. – № 4. – С. 8–15.
8. Долганова, Т. И. Клинико-биомеханические результаты многоуровневых ортопедических вмешательств при crouch gait / Долганова Т.И.,

Гатамов О.И., Чибиров Г.М. [и др.] // Гений ортопедии. – 2020. – Т. 26, № 3. – С. 332–339.

9. Жердев, К. В. Нейроортопедические аспекты оперативного лечения опорно-двигательных нарушений нижних конечностей на фоне спастической диплегии у детей с детским церебральным параличом / Жердев К.В., Челпаченко О.Б., Унанян К.К. [и др.] // Детская хирургия. – 2015. – Т. 19, № 4. – С. 8–13.

10. Жердев, К. В. Основные принципы и современные тенденции ортопедохирургического лечения опорно-двигательных нарушений нижних конечностей у детей со спастическими формами детского церебрального паралича. Обзор литературных данных / Жердев К.В., Волкова М.О., Зубков П.А. [и др.] // Российский педиатрический журнал. – 2018. – Т. 21, № 3. – С. 175–181.

11. Ключкова, О. А. Формирование контрактур при спастических формах детского церебрального паралича : вопросы патогенеза / Ключкова О.А., Куренков А.Л., Кенис В.М. // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. – 2018. – Т. 6, № 1. – С. 58–66.

12. Корольков, А. И. Дифференцированное хирургическое лечение сгибательных контрактур коленных суставов в системе комплексного ортопедического лечения детей с ДЦП / Корольков А.И., Трутяк И.Р., Рахман П.М. [и др.] // Турнеровские чтения: сборник статей ежегодной научно-практической конференции. – СПб., 2020. – С. 194–197.

13. Корольков, А. И. Оценка эффективности применения технологии одномоментных многоуровневых хирургических вмешательств у детей с ДЦП / Корольков А.И., Рахман П.М. // Травма. – 2018. – Т. 19, № 6. – С. 61–69.

14. Кузнецов, И. А. Языковая, культурная адаптация и валидация опросника Kujala среди пациентов с болями в переднем отделе коленного сустава / Кузнецов И.А., Майков С.В., Салихов М.Р. [и др.] // Научно-практическая ревматология. – 2017. – Т. 55, № 4. – С. 396–400.

15. Куренков, А. Л. Изменение паттернов спастичности у детей с церебральным параличом с III уровнем двигательного развития по системе классификации больших моторных функций (GMFCS III) / Куренков А.Л.,

Кузенкова Л.М., Фисенко Д.А. [и др.] // Журнал неврологии и психиатрии им. С. С. Корсакова. – 2020. – Т. 120, № 6. – С. 36–44.

16. Кушнир, Г. М. Реабилитационным потенциал спастичных мышц у больных детским церебральным параличом: диагностические и прогностические аспекты, дифференцированные подходы к восстановительному лечению / Кушнир Г.М., Власенко С.В., Шульга И.Н. [и др.] // Вестник физиотерапии и курортологии. – 2015. – № 2. – С. 78–82.

17. Мамедова, М. Н. Распространенность и динамика заболеваемости детским церебральным параличом / Мамедова М.Н. // Эффективная фармакотерапия. – 2025. – Т. 21, № 18. – С. 12–14.

18. Новиков, В. А. Взаимосвязь сгибательной контрактуры коленного сустава и сагиттального позвоночно-тазового профиля у пациентов с ДЦП / Новиков В.А., Умнов В.В., Умнов Д.В. [и др.] // Современные проблемы науки и образования. – 2023. – № 6. – С. 1–9.

19. Поздников, И. Ю. Изменения сагиттальных позвоночно-тазовых соотношений у детей с высоким положением большого вертела после хирургического лечения / Поздников И.Ю., Бартулев П.И., Виссарионов С.В. [и др.] // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. – 2023. – Т. 11, № 3. – С. 315–326.

20. Рогов, А. В. Реабилитация больных детским церебральным параличом с применением тренажеров / Рогов А.В. // Саратовский научно-медицинский журнал. – 2013. – Т. 9, № 4. – С. 675–678.

21. Сычевский, Л. З. Динамическая фотоплантография в диагностике деформаций стопы при детском церебральном параличе / Сычевский Л.З., Аносов В.С. // Клиническая педиатрическая ортопедия. – 2010. – № 2. – С. 45–50.

22. Умнов, В. В. Взаимосвязь сгибательных контрактур в суставах нижних конечностей и сагиттального профиля позвоночника у больных детским церебральным параличом: предварительное сообщение / Умнов В.В., Звозиль А.В., Умнов Д.В. [и др.] // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. – 2016. – Т. 4, № 4. – С. 25–30.

23. Умнов, В. В. Основные подходы к устранению сгибательной контрактуры коленного сустава у больных ДЦП / Умнов В.В. // Травматология и ортопедия России. – 2013. – № 3 (69). – С. 119–124.

24. Умханов, Х.А. Метод аппаратной коррекции в ортопедическом лечении детей с церебральными спастическими параличами / Х.А. Умханов // Ортопедия и травматология. – 1984. – № 4. – С. 35–39.

25. Челпаченко О.Б. Нарушения баланса туловища при деформациях позвоночника и нестабильности тазобедренных суставов / Челпаченко О.Б., Жердев К.В., Фисенко А.П. [и др.] // Детская хирургия. – 2020. – Т. 24, № 2. – С. 89–95.

26. Шамик В.Б. Хирургическое лечение эквинусной деформации у пациентов с детским церебральным параличом дошкольного и раннего школьного возраста / Шамик В.Б., Рябоконеv С.Г., Лукаш Ю.В. [и др.] // Российский вестник детской хирургии, анестезиологии и реаниматологии. – 2024. – Т. 14, № 4. – С. 499–510.

27. Abbasi, L. Trunk Kinematic Analysis during Gait in Cerebral Palsy Children with Crouch Gait Pattern / Abbasi L., Rojhani-Shirazi Z., Razeghi M. [et al.] // Journal of Biomedical Physics & Engineering. – 2018. – Vol. 8, No. 3. – P. 281–288.

28. Abdennebi, B. Selective neurotomies for relief of spasticity focalized to the foot and to the knee flexors. Results in a series of 58 patients / Abdennebi B., Bougatene B. // Acta Neurochirurgica. – 1996. – Vol. 138, No. 8. – P. 917–920.

29. Abelin-Genevois, K. Sagittal balance of the spine / Abelin-Genevois K. // Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research. – 2021. – Vol. 107, No. 1S. – P. 102769.

30. Aiona, M. D. Treatment of spastic diplegia in patients with cerebral palsy: Part II / Aiona M.D., Sussman M.D. // Journal of Pediatric Orthopaedics B. – 2004. – Vol. 13. – P. S13–S38.

31. Al-Aubaidi, Z. Anterior distal femoral hemiepiphysiodesis in the treatment of fixed knee flexion contracture in neuromuscular patients / Al-Aubaidi Z., Lundgaard B., Pedersen N.W. // Journal of Children's Orthopaedics. – 2012. – Vol. 6, No. 4. – P. 313–318.

32. Albright, A. L. Intrathecal baclofen for spasticity in cerebral palsy / Albright A.L., Cervi A., Singletary J. // JAMA. – 1991. – Vol. 265, No. 11. – P. 1418–1422.
33. Amen, J. Single-event multilevel surgery for crouching cerebral palsy children: Correlations with quality of life and functional mobility / Amen J., Elgebeily M., El-Mikkawy D.M.E. [et al.] // Journal of Musculoskeletal Surgery and Research. – 2018. – Vol. 2, No. 4. – P. 148–155.
34. Ariyawatkul, T. Percutaneous hamstring lengthening in cerebral palsy and the risk of neurovascular transection / Ariyawatkul T., Halilamien P., Tangwiwat S. [et al.] // Journal of Ultrasound. – 2022. – Vol. 25, No. 3. – P. 529–533.
35. Arnold, A. S. The role of estimating muscle-tendon lengths and velocities of the hamstrings in the evaluation and treatment of crouch gait / Arnold A.S., Liu M.Q., Schwartz M.H. [et al.] // Gait & Posture. – 2006. – Vol. 23, No. 3. – P. 273–281.
36. Aroojis, A. Distal Femoral Extension Osteotomy with 90° Pediatric Condylar Locking Compression Plate and Patellar Tendon Advancement for the Correction of Crouch Gait in Cerebral Palsy / Aroojis A., Patel M., Shah A. [et al.] // Indian Journal of Orthopaedics. – 2019. – Vol. 53, No. 1. – P. 45–52.
37. Bain, A. M. Treatment of flexion contracture of the knee following poliomyelitis / Bain A.M. // Journal of Tropical Medicine and Hygiene. – 1966. – Vol. 69. – P. 285–290.
38. Barrey, C. Sagittal balance of the pelvis-spine complex and lumbar degenerative diseases. A comparative study about 85 cases / Barrey C., Jund J., Nosedo O. [et al.] // European Spine Journal. – 2007. – Vol. 16, No. 9. – P. 1459–1467.
39. Bekmez, Ş. Aponeurotic release of semimembranosus: A technical note to increase correction gained with hamstring lengthening surgery in cerebral palsy / Bekmez Ş., Yatağanbaba A., Yılmaz G. [et al.] // Acta Orthopaedica et Traumatologica Turcica. – 2021. – Vol. 55, No. 2. – P. 177–180.
40. Bell, K. J. Natural progression of gait in children with cerebral palsy / Bell K.J., Ounpuu S., DeLuca P.A. [et al.] // Journal of Pediatric Orthopaedics. – 2002. – Vol. 22, No. 5. – P. 677–682.

41. Bezuidenhout, L. The effect of medial only versus medial and lateral hamstring lengthening on transverse gait parameters in cerebral palsy / Bezuidenhout L., Church C., Henley J. [et al.] // *Journal of Pediatric Orthopaedics B.* – 2023. – Vol. 32, No. 1. – P. 80–86.
42. Bleck, E. E. Orthopaedic management in cerebral palsy / Bleck E.E. – Philadelphia : Lippincott, 1987. – 560 p.
43. Bleyenheuft, C. Quantitative assessment of anaesthetic nerve block and neurotomy in spastic equinus foot: a review of two cases / Bleyenheuft C., Detrembleur C., Deltombe T. [et al.] // *Journal of Rehabilitation Medicine.* – 2008. – Vol. 40, No. 10. – P. 879–881.
44. Blount, W. P. Control of bone growth by epiphyseal stapling; a preliminary report / Blount W.P., Clarke G.R. // *The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume.* – 1949. – Vol. 31-A, No. 3. – P. 464–478.
45. Böhm, H. Predictors for anterior pelvic tilt following surgical correction of flexed knee gait including patellar tendon shortening in children with cerebral palsy / Böhm H., Hösl M., Döderlein L. // *Gait & Posture.* – 2017. – Vol. 54. – P. 8–14.
46. Boyer, E. R. Long-Term Outcomes of Distal Femoral Extension Osteotomy and Patellar Tendon Advancement in Individuals with Cerebral Palsy / Boyer E.R., Stout J.L., Laine J.C. [et al.] // *The Journal of Bone and Joint Surgery.* – 2018. – Vol. 100. – P. 31–41.
47. Bozinovski, Z. Operative treatment of the knee contractures in cerebral palsy patients / Bozinovski Z., Popovski N. // *Medical Archives.* – 2014. – Vol. 68, No. 3. – P. 182–183.
48. Chang, W. N. Distal hamstring lengthening in ambulatory children with cerebral palsy: Primary versus revision procedures / Chang W.N., Tsirikos A.I., Miller F. [et al.] // *Gait & Posture.* – 2004. – Vol. 19. – P. 298–304.
49. Church, C. The prevalence and risk factors associated with anterior pelvic tilt in ambulatory youth with cerebral palsy / Church C., Lennon N., Salazar-Torres J. [et al.] // *Gait & Posture.* – 2026. – Vol. 123. – P. 109769.

50. Cirrincione, P. M. Pelvic tilt in adults with cerebral palsy and its relationship with prior hamstrings lengthening / Cirrincione P.M., Nichols E.T., Zucker C.P. [et al.] // *Orthopedics*. – 2024. – Vol. 47, No. 5. – P. 270–275.
51. Clodt, E. Demographic and modifiable factors associated with knee contracture in children with cerebral palsy / Clodt E., Rosenblad A., Rodby-Bousquet E. // *Developmental Medicine and Child Neurology*. – 2018. – Vol. 60, No. 4. – P. 391–396.
52. Damiano, D. L. Interrelationships of strength and gait before and after hamstrings lengthening / Damiano D.L., Abel M.F., Pannunzio M. [et al.] // *Journal of Pediatric Orthopaedics*. – 1999. – Vol. 19, No. 3. – P. 352–358.
53. Damron, T. Hamstring tenotomies in cerebral palsy: long-term retrospective analysis / Damron T., Breed A.L., Roecker E. // *Journal of Pediatric Orthopaedics*. – 1991. – Vol. 11, No. 4. – P. 514–519.
54. Damsin, J. P. Treatment of severe flexion deformity of the knee in children and adolescents using the Ilizarov technique / Damsin J.P., Ghanem I. // *The Journal of Bone and Joint Surgery. British Volume*. – 1996. – Vol. 78, No. 1. – P. 140–144.
55. Das, S. P. Supracondylar femoral extension osteotomy and patellar tendon advancement in the management of persistent crouch gait in cerebral palsy / Das S.P., Pradhan S., Ganesh S. [et al.] // *Indian Journal of Orthopaedics*. – 2012. – Vol. 46, No. 2. – P. 221–228.
56. Davids, J. R. Identification of common gait disruption patterns in children with cerebral palsy / Davids J.R., Bagley A.M. // *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*. – 2014. – Vol. 22, No. 12. – P. 782–790.
57. de Morais Filho, M. C. Comparison of the Results of Primary Versus Repeat Hamstrings Surgical Lengthening in Cerebral Palsy / de Morais Filho M.C., Blumetti F.C., Fujino M.H. [et al.] // *Journal of Pediatric Orthopaedics*. – 2020. – Vol. 40, No. 10. – P. 1024–1025.
58. de Morais Filho, M. C. Treatment of fixed knee flexion deformity and crouch gait using distal femur extension osteotomy in cerebral palsy / de Morais Filho M.C.,

Neves D.L., Abreu F.P. [et al.] // *Journal of Children's Orthopaedics*. – 2008. – Vol. 2, No. 1. – P. 37–43.

59. Decq, P. Neurotomies périphériques sélectives des collatérales pour les muscles ischio-jambiers dans le traitement de la spasticité en flexion du genou / Decq P., Filipetti P., Feve A. [et al.] // *Neurochirurgie*. – 1996. – Vol. 42, No. 6. – P. 275–280.

60. Delgado, M. Practice parameter: pharmacologic treatment of spasticity in children and adolescents with cerebral palsy (an evidence-based review) / Delgado M., Hirtz D., Aisen M. [et al.] // *Neurology*. – 2010. – Vol. 74, No. 4. – P. 336–343.

61. DeLuca, P. A. Effect of hamstring and psoas lengthening on pelvic tilt in patients with spastic diplegic cerebral palsy / DeLuca P.A., Ounpuu S., Davis R.B. [et al.] // *Journal of Pediatric Orthopaedics*. – 1998. – Vol. 18. – P. 712–718.

62. Dreher, T. Development of knee function after hamstring lengthening as a part of multilevel surgery in children with spastic diplegia: a long-term outcome study / Dreher T., Vegvari D., Wolf S.I. [et al.] // *The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume*. – 2012. – Vol. 94, No. 2. – P. 121–130.

63. Dubousset, J. Three-dimensional analysis of the scoliotic deformity / Dubousset J. // *The Pediatric Spine: Principles and Practice*. – New York : Raven Press, 1994. – P. 479–496.

64. Fahey, M. C. The genetic basis of cerebral palsy / Fahey M.C., MacLennan A.H., Kretzschmar D. [et al.] // *Developmental Medicine and Child Neurology*. – 2017. – Vol. 59, No. 5. – P. 462–469.

65. Farmer, J. P. Selective dorsal rhizotomies in the treatment of spasticity related to cerebral palsy / Farmer J.P., Sabbagh A.J. // *Child's Nervous System*. – 2007. – Vol. 23, No. 9. – P. 991–1002.

66. Feng, L. Comparison of hamstring lengthening with hamstring lengthening plus transfer for the treatment of flexed knee gait in ambulatory patients with cerebral palsy / Feng L., Do K.P., Aiona M. [et al.] // *Journal of Children's Orthopaedics*. – 2012. – Vol. 6. – P. 229–235.

67. Gage, J. R. Distal femoral extension osteotomy for treatment of persistent crouch gait / Gage J.R., Stout J.L., Novacheck T.F. [et al.] // Read at the Annual Meeting of the European Pediatric Orthopaedic Society. – Istanbul, 2002. – P. 17–20.
68. Galan-Olleros, M. Does patella lowering as part of multilevel surgery improve knee kinematics in children with cerebral palsy and crouch gait? A meta-analysis of comparative studies / Galan-Olleros M., Lerma-Lara S., Torres-Izquierdo B. [et al.] // *Journal of Children's Orthopaedics*. – 2023. – Vol. 18, No. 1. – P. 13–25.
69. Geisbüsch, A. Mid-Term Results of Distal Femoral Extension and Shortening Osteotomy in Treating Flexed Knee Gait in Children with Cerebral Palsy / Geisbüsch A., Klotz M.C.M., Putz C. [et al.] // *Children*. – 2022. – Vol. 9, No. 10. – P. 1427.
70. Gilmartin, R. Intrathecal baclofen for management of spastic cerebral palsy: multicenter trial / Gilmartin R., Bruce D., Storrs B.B. [et al.] // *Journal of Child Neurology*. – 2000. – Vol. 15, No. 2. – P. 71–77.
71. Gordon, A. B. Gait analysis outcomes of percutaneous medial hamstring tenotomies in children with cerebral palsy / Gordon A.B., Baird G.O., McMulkin M.L. [et al.] // *Journal of Pediatric Orthopaedics*. – 2008. – Vol. 28, No. 3. – P. 324–329.
72. Goudriaan, M. A new strength assessment to evaluate the association between muscle weakness and gait pathology in children with cerebral palsy / Goudriaan M., Nieuwenhuys A., Schless S.H. [et al.] // *PLoS One*. – 2018. – Vol. 13, No. 1. – P. e0191097.
73. Graham, H. K. Musculoskeletal aspects of cerebral palsy / Graham H.K., Selber P. // *The Journal of Bone and Joint Surgery. British Volume*. – 2003. – Vol. 85. – P. 157–166.
74. Gros, C. Neurotomie radriculaire selective / Gros C., Frerebeau P., Benezech J. [et al.] // *Actualités en reeducation fonctionnelle*. – Paris : Masson, 1977. – P. 230–235.
75. Grunt, S. Selection criteria for selective dorsal rhizotomy in children with spastic cerebral palsy: a systematic review of the literature / Grunt S., Fieggen A.G., Vermeulen R.J. [et al.] // *Developmental Medicine and Child Neurology*. – 2014. – Vol. 56, No. 4. – P. 302–312.

76. Haberfehlner, H. Outcome of medial hamstring lengthening in children with spastic paresis: A biomechanical and morphological observational study / Haberfehlner H., Jaspers R.T., Rutz E. [et al.] // *PLoS One*. – 2018. – Vol. 13, No. 2. – P. e0192573.
77. Hachache, B. Is percutaneous proximal gracilis tenotomy as effective and safe as the open procedure? / Hachache B., Eid T., Ghosn E. [et al.] // *Journal of Children's Orthopaedics*. – 2015. – Vol. 9. – P. 477–481.
78. Hanson, A. M. Persistent increase in anterior pelvic tilt after hamstring lengthening in children with cerebral palsy / Hanson A.M., Wren T.A.L., Rethlefsen S.A. [et al.] // *Gait & Posture*. – 2023. – Vol. 103. – P. 184–189.
79. Healy, M. T. Is simultaneous hamstring lengthening necessary when performing distal femoral extension osteotomy and patellar tendon advancement? / Healy M.T., Schwartz M.H., Stout J.L. [et al.] // *Gait & Posture*. – 2011. – Vol. 33. – P. 1–5.
80. Hesarikia, H. Differences between male and female sagittal spinopelvic parameters and alignment in asymptomatic pediatric and young adults / Hesarikia H., Rahimnia A., Emami Meybodi M.K. // *Minerva Ortop. Traum.* – 2018. – Vol. 69, No. 2. – P. 44–48.
81. Himmelmann, K. The panorama of cerebral palsy in Sweden. XI. Changing patterns in the birth-year period 2003–2006 / Himmelmann K., Uvebrant P. // *Acta Paediatrica*. – 2014. – Vol. 103, No. 6. – P. 618–624.
82. Hof, A. L. Changes in muscles and tendons due to neural motor disorders: implications for therapeutic intervention / Hof A.L. // *Neural Plasticity*. – 2001. – Vol. 8, No. 1-2. – P. 71–81.
83. Hoffinger, S. A. Hamstrings in cerebral palsy crouch gait / Hoffinger S.A., Rab G.T., Abou-Ghaida H. // *Journal of Pediatric Orthopaedics*. – 1993. – Vol. 13, No. 6. – P. 722–726.
84. Hosainy, E. Systematic Review Study of The Using of “Guided Growth” For Correction of Coronal Deformities Around The Knee in Skeletal Immature Children / Hosainy E., Refaat M., Kazem G. [et al.] // *Benha Medical Journal*. – 2020. – Vol. 37, No. 2. – P. 382–390.

85. Hoving, M. A. Efficacy of intrathecal baclofen therapy in children with intractable spastic cerebral palsy: a randomised controlled trial / Hoving M. A., van Raak E. P., Spincemaille G. H. [et al.] // *European Journal of Paediatric Neurology*. – 2009. – Vol. 13, No. 3. – P. 240–246.
86. Hu, W. Clinical study on treatment of spastic cerebral palsy by selective hamstrings lengthening / Hu W., Xu S.G., Cao X. [et al.] // *Zhongguo Gu Shang*. – 2008. – Vol. 21, No. 12. – P. 922–924.
87. Inan, M. Neurological complications after supracondylar femoral osteotomy in cerebral palsy / Inan M., Sarikaya I.A., Yildirim E. [et al.] // *Journal of Pediatric Orthopaedics*. – 2015. – Vol. 35. – P. 290–295.
88. Joseph, B. Management of severe crouch gait in children and adolescents with cerebral palsy / Joseph B., Reddy K., Varghese R.A. [et al.] // *Journal of Pediatric Orthopaedics*. – 2010. – Vol. 30, No. 8. – P. 832–839.
89. Journeau, P. Update on guided growth concepts around the knee in children / Journeau P. // *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*. – 2020. – Vol. 106, No. 1S. – P. S171–S180.
90. Kanashvili, B. The impact of hamstring lengthening on stance knee flexion at skeletal maturity in ambulatory cerebral palsy / Kanashvili B., Niiler T.A., Church C. [et al.] // *Journal of Pediatric Orthopaedics B*. – 2024. – Feb 26.
91. Karol, L. A. Nerve palsy after hamstring lengthening in patients with cerebral palsy / Karol L.A., Chambers C., Popejoy D. [et al.] // *Journal of Pediatric Orthopaedics*. – 2008. – Vol. 28, No. 7. – P. 773–776.
92. Katz, K. Monitoring of the sciatic nerve during hamstring lengthening by evoked EMG / Katz K., Attias J., Weigl D. [et al.] // *The Journal of Bone and Joint Surgery. British Volume*. – 2004. – Vol. 86, No. 7. – P. 1059–1061.
93. Kay, R. M. Finding consensus for hamstring surgery in ambulatory children with cerebral palsy using the Delphi method / Kay R.M., McCarthy J., Narayanan U. [et al.] // *Journal of Children's Orthopaedics*. – 2022. – Vol. 16, No. 1. – P. 55–64.

94. Kay, R. M. Outcome of medial versus combined medial and lateral hamstring lengthening surgery in cerebral palsy / Kay R.M., Rethlefsen A.S., Skaggs D. [et al.] // *Journal of Pediatric Orthopaedics*. – 2002. – Vol. 22. – P. 169–172.
95. Khaje Mozafari, J. Percutaneous Versus Open Hamstring Lengthening in Spastic Diplegic Cerebral Palsy / Khaje Mozafari J., Pisoudeh K., Gharanizade K. [et al.] // *Archives of Bone and Joint Surgery*. – 2019. – Vol. 7, No. 4. – P. 373–377.
96. Kiernan, D. The influence of crouch gait on sagittal trunk position and lower lumbar spinal loading in children with cerebral palsy / Kiernan D., O'Sullivan R. // *Gait & Posture*. – 2019. – Vol. 67. – P. 65–70.
97. Klatt, J. Guided growth for fixed knee flexion deformity / Klatt J., Stevens P. M. // *Journal of Pediatric Orthopaedics*. – 2008. – Vol. 28, No. 6. – P. 626–631.
98. Klotz, M. C. M. Distal femoral extension and shortening osteotomy as a part of multilevel surgery in children with cerebral palsy / Klotz M.C.M., Hirsch K., Heitzmann D. [et al.] // *World Journal of Pediatrics*. – 2017. – Vol. 13. – P. 353–359.
99. Kramer, A. Anterior femoral stapling / Kramer A., Stevens P. M. // *Journal of Pediatric Orthopaedics*. – 2001. – Vol. 21, No. 6. – P. 804–807.
100. Kruse, A. Eight weeks of proprioceptive neuromuscular facilitation stretching and static stretching do not affect muscle-tendon properties, muscle strength, and joint function in children with spastic cerebral palsy / Kruse A., Habersack A., Weide G. [et al.] // *Clinical Biomechanics*. – 2023. – Vol. 107. – P. 106011.
101. Leclercq, C. Hyperselective neurectomy in the treatment of the spastic upper limb / Leclercq C., Gras M. // *Physical Medicine and Rehabilitation International*. – 2016. – Vol. 3, No. 2. – P. 1075.
102. Lenhart, R. L. The effect of distal femoral extension osteotomy on muscle lengths after surgery / Lenhart R.L., Smith C.R., Schwartz M.H. [et al.] // *Journal of Children's Orthopaedics*. – 2017. – Vol. 11, No. 6. – P. 472–478.
103. Lieber, R. L. Muscle contracture and passive mechanics in cerebral palsy / Lieber R. L., Fridén J. // *Journal of Applied Physiology*. – 2019. – Vol. 126, No. 5. – P. 1492–1501.

104. Liou, Y. L. Genu Valgum After Distal Femur Extension Osteotomy in Children With Cerebral Palsy / Liou Y.L., Lee W.C., Kao H.K. [et al.] // *Journal of Pediatric Orthopaedics*. – 2022. – Vol. 42, No. 4. – P. e384–e389.

105. Long, J. T. Improved Clinical and Functional Outcomes in Crouch Gait Following Minimally Invasive Hamstring Lengthening and Serial Casting in Children With Cerebral Palsy / Long J.T., Cobb L., Garcia M.C. [et al.] // *Journal of Pediatric Orthopaedics*. – 2020. – Vol. 40, No. 6. – P. e510–e515.

106. Lovejoy, S. A. The effects of hamstring lengthening on hip rotation / Lovejoy S.A., Tylkowski C., Oeffinger D. [et al.] // *Journal of Pediatric Orthopaedics*. – 2007. – Vol. 27, No. 2. – P. 142–146.

107. Lundy, C. T. Botulinum toxin type A injections can be an effective treatment for pain in children with hip spasms and cerebral palsy / Lundy C.T., Doherty G.M., Fairhurst C.B. // *Developmental Medicine and Child Neurology*. – 2009. – Vol. 51, No. 9. – P. 705–710.

108. Mac-Thiong, J.M. Sagittal spinopelvic balance in normal children and adolescents / Mac-Thiong J.M., Labelle H., Berthonnaud E. [et al.] // *Eur. Spine J*. – 2007. – Vol. 16, No. 2. – P. 227–234.

109. Makris, T. Quality of life in children and adolescents with cerebral palsy: a systematic review with meta-analysis / Makris T., Dorstyn D., Crettenden A. // *Disability and Rehabilitation*. – 2021. – Vol. 43, No. 3. – P. 299–308.

110. Mansour, T. Is percutaneous medial hamstring myofascial lengthening as anatomically effective and safe as the open procedure? / Mansour T., Derienne J., Daher M. [et al.] // *Journal of Children's Orthopaedics*. – 2017. – Vol. 11, No. 1. – P. 15–19.

111. Mantese, B. Selective dorsal rhizotomy: Analysis of two rootlet sectioning techniques / Mantese B., Pirozzi Chiusa C.G., Basilotta Marquez Y. [et al.] // *Child's Nervous System*. – 2024. – Vol. 40, No. 4. – P. 1195–1202.

112. Marron, A. Tibial rotation outcomes following hamstring lengthening as part of single event multilevel surgery in children with cerebral palsy / Marron A., O'Sullivan R., Kelly E. [et al.] // *Gait & Posture*. – 2020. – Vol. 79. – P. 126–132.

113. McCarthy, J. Establishing surgical indications for hamstring lengthening and femoral derotational osteotomy in ambulatory children with cerebral palsy / McCarthy J., Shrader M.W., Graham K. [et al.] // *Journal of Children's Orthopaedics*. – 2020. – Vol. 14. – P. 50–57.
114. McIntyre, S. Global prevalence of cerebral palsy: A systematic analysis / McIntyre S., Goldsmith S., Webb A. [et al.] // *Developmental Medicine and Child Neurology*. – 2022. – Vol. 64, No. 12. – P. 1494–1506.
115. McNee, A. E. The effect of anaesthesia on the assessment of hamstring length in spastic cerebral palsy / McNee A.E., Gough M., Shortland A.P. // *Journal of Pediatric Orthopaedics B*. – 2007. – Vol. 16, No. 1. – P. 35–38.
116. Miller, F. *Cerebral palsy* / Miller F. – New York : Springer, 2005. – P. 357.
117. Motta, F. Upper limbs function after intrathecal baclofen therapy in children with secondary dystonia / Motta F., Antonello C.E., Stignani C. // *Journal of Pediatric Orthopaedics*. – 2009. – Vol. 29, No. 7. – P. 817–821.
118. Mutch, L. *Cerebral palsy epidemiology: where are we now and where are we going?* / Mutch L., Alberman E., Hagberg B. [et al.] // *Developmental Medicine and Child Neurology*. – 1992. – Vol. 34. – P. 547–551.
119. Nabian, M. H. Distal femoral osteotomy and patellar tendon advancement for the treatment of crouch gait in patients with bilateral spastic cerebral palsy / Nabian M.H., Zadegan S.A., Mallet C. [et al.] // *Gait & Posture*. – 2024. – Vol. 110. – P. 53–58.
120. Nazareth, A. Percutaneous Hamstring Lengthening Surgery is as Effective as Open Lengthening in Children With Cerebral Palsy / Nazareth A., Rethlefsen S., Sousa T.C. [et al.] // *Journal of Pediatric Orthopaedics*. – 2019. – Vol. 39, No. 7. – P. 366–371.
121. Nemska, S. Whole Genome Expression Profiling of Semitendinosus Tendons from Children with Diplegic and Tetraplegic Cerebral Palsy / Nemska S., Serio S., Larcher V. [et al.] // *Biomedicines*. – 2023. – Vol. 11, No. 11. – P. 2918.
122. Noble, J. J. Lower limb muscle volumes in bilateral spastic cerebral palsy / Noble J.J., Fry N.R., Lewis A.P. [et al.] // *Brain and Development*. – 2014. – Vol. 36, No. 4. – P. 294–300.

123. Novacheck, T. F. Distal femoral extension osteotomy and patellar tendon advancement to treat persistent crouch gait in cerebral palsy. Surgical technique / Novacheck T.F., Stout J.L., Gage J.R. [et al.] // The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume. – 2009. – Vol. 91, No. Suppl 2. – P. 271–286.

124. Novaczyk, Z. B. Association of back pain and pelvic tilt during gait in individuals with cerebral palsy / Novaczyk Z.B., Georgiadis A.G., Boyer E.R. // Gait & Posture. – 2019. – Vol. 74. – P. 66–70.

125. Okamoto, M. Sagittal balance measures are more reproducible when measured in 3D vs in 2D using full-body EOS® images / Okamoto M., Jabour F., Sakai K. [et al.] // European Radiology. – 2018. – Vol. 28, No. 11. – P. 4570–4577.

126. Osgood, R. A method of osteotomy of the lower end of the femur in cases of permanent flexion of the knee / Osgood R. // American Journal of Orthopedic Surgery. – 1913. – Vol. 2. – P. 336–346.

127. Ounpuu, S. Variation in kinematic and spatiotemporal gait parameters by Gross Motor Function Classification System level in children and adolescents with cerebral palsy / Ounpuu S., Gorton G., Bagley A. [et al.] // Developmental Medicine and Child Neurology. – 2015. – Vol. 57. – P. 955–962.

128. Palisano, R. Gross motor function classification system / Palisano R., Rosenbaum P., Walter S. [et al.] // Developmental Medicine and Child Neurology. – 1997. – Vol. 39. – P. 214–223.

129. Park, H. Distal Femoral Shortening Osteotomy for Severe Knee Flexion Contracture and Crouch Gait in Cerebral Palsy / Park H., Park B.K., Park K.B. [et al.] // Journal of Clinical Medicine. – 2019. – Vol. 8, No. 9. – P. 1354.

130. Park, M. S. Effects of distal hamstring lengthening on sagittal motion in patients with diplegia: hamstring length and its clinical use / Park M.S., Chung C.Y., Lee S.H. [et al.] // Gait & Posture. – 2009. – Vol. 30. – P. 487–491.

131. Park, M. S. Issues of concern before single event multilevel surgery in patients with cerebral palsy / Park M.S., Chung C.Y., Lee K.M. [et al.] // Journal of Pediatric Orthopaedics. – 2010. – Vol. 30, No. 5. – P. 489–495.

132. Park, T. S. Functional Outcome of Adulthood Selective Dorsal Rhizotomy for Spastic Diplegia / Park T.S., Uhm S.Y., Walter D.M. [et al.] // *Cureus*. – 2019. – Vol. 11, No. 7. – P. e5184.
133. Park, T. S. Surgical techniques of selective dorsal rhizotomy for spastic cerebral palsy. Technical note / Park T.S., Johnston J.M. // *Neurosurgical Focus*. – 2006. – Vol. 21, No. 2. – P. e7.
134. Pellisé, F. Impact on health related quality of life of adult spinal deformity (ASD) compared with other chronic conditions / Pellisé F., Vila-Casademunt A., Ferrer M. [et al.] // *European Spine Journal*. – 2015. – Vol. 24, No. 1. – P. 3–11.
135. Pelrine, E. Association of Knee Pain and Crouch Gait in Individuals With Cerebral Palsy / Pelrine E., Novacheck T., Boyer E. // *Journal of Pediatric Orthopaedics*. – 2020. – Vol. 40, No. 6. – P. e504–e509.
136. Perry, J. Function of the hamstrings in cerebral palsy / Perry J., Newsam C. // *Diplegic Child: Evaluation and Management*. – Rosemont : American Academy of Orthopaedic Surgeons, 1992. – P. 299–308.
137. Pilloni, G. Use of 3D gait analysis as predictor of Achilles tendon lengthening surgery outcomes in children with cerebral palsy / Pilloni G., Pau M., Costici P.F. [et al.] // *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine*. – 2019. – Vol. 55, No. 2. – P. 250–257.
138. Ploeger, M. M. Laterale distale femorale Extensionsosteotomie mit der kontralateralen TomoFix®-Platte / Ploeger M.M., Gathen M., Koob S. [et al.] // *Operative Orthopädie und Traumatologie*. – 2022. – Vol. 34, No. 2. – P. 141–152.
139. Raich A.L. Asking the right question: specifying your study question / Raich A.L., Skelly A.C. // *Evid Based Spine Care J*. – 2013. – Vol. 2, No. 4. – P. 68–71.
140. Rang, M. Cerebral palsy / Rang M. // *Lovell and Winter's Pediatric Orthopaedics*. – Philadelphia : JB Lippincott Co, 1990. – P. 465–506.
141. Reimers, J. Contracture of the hamstrings in spastic cerebral palsy. A study of three methods of operative correction / Reimers J. // *The Journal of Bone and Joint Surgery. British Volume*. – 1974. – Vol. 56, No. 1. – P. 102–109.

142. Rethlefsen, S. A. Knee pain and patellofemoral symptoms in patients with cerebral palsy / Rethlefsen S.A., Nguyen D.T., Wren T.A. [et al.] // *Journal of Pediatric Orthopaedics*. – 2015. – Vol. 35, No. 5. – P. 519–522.

143. Rethlefsen, S. A. Prevalence of specific gait abnormalities in children with cerebral palsy revisited: influence of age, prior surgery, and Gross Motor Function Classification System level / Rethlefsen S.A., Blumstein G., Kay R.M. [et al.] // *Developmental Medicine and Child Neurology*. – 2017. – Vol. 59, No. 1. – P. 79–88.

144. Rethlefsen, S. A. Repeat hamstring lengthening for crouch gait in children with cerebral palsy / Rethlefsen S.A., Yasmeh S., Wren T.A. [et al.] // *Journal of Pediatric Orthopaedics*. – 2013. – Vol. 33, No. 5. – P. 501–504.

145. Reynolds, M. R. Clinical outcomes after selective dorsal rhizotomy in an adult population / Reynolds M.R., Ray W.Z., Strom R.G. [et al.] // *World Neurosurgery*. – 2011. – Vol. 75, No. 1. – P. 138–144.

146. Rodda, J. M. Correction of severe crouch gait in patients with spastic diplegia with use of multilevel orthopaedic surgery / Rodda J.M., Graham H.K., Natrass G.R. [et al.] // *The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume*. – 2006. – Vol. 88, No. 12. – P. 2653–2664.

147. Rodda, J. M. Sagittal gait patterns in spastic diplegia / Rodda J.M., Graham H.K., Carson L. [et al.] // *The Journal of Bone and Joint Surgery. British Volume*. – 2004. – Vol. 86-B, No. 2. – P. 251–258.

148. Rogozinski, B. M. The efficacy of the floor-reaction ankle-foot orthosis in children with cerebral palsy / Rogozinski B.M., Davids J.R., Davis R.B. 3rd [et al.] // *The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume*. – 2009. – Vol. 91, No. 10. – P. 2440–2447.

149. Roussouly, P. Analyse géométrique et mécanique de la lordose lombaire dans une population de 160 adultes asymptomatiques: essai de classification / Roussouly P., Berthonnaud E., Dimnet J. // *Revue de Chirurgie Orthopédique et Réparatrice de l'Appareil Moteur*. – 2003. – Vol. 89, No. 7. – P. 632–639.

150. Rutz, E. Distal femoral extension osteotomy and patellar tendon advancement or shortening in ambulatory children with cerebral palsy: A modified

Delphi consensus study and literature review / Rutz E., Novacheck T.F., Dreher T. [et al.] // *Journal of Children's Orthopaedics*. – 2022. – Vol. 16, No. 6. – P. 442–453.

151. Sahin, K. Aneurysmal Bone Cyst after Femoral Derotational Osteotomy: A Case Report / Sahin K., Demirel M., Turgut N. [et al.] // *Malaysian Orthopaedic Journal*. – 2019. – Vol. 13, No. 1. – P. 45–48.

152. Salami, F. Long-term muscle changes after hamstring lengthening in children with bilateral cerebral palsy / Salami F., Brosa J., Van Drongelen S. [et al.] // *Developmental Medicine and Child Neurology*. – 2019. – Vol. 61, No. 7. – P. 791–797.

153. Salami, F. Mid-term development of hamstring tendon length and velocity after distal femoral extension osteotomy in children with bilateral cerebral palsy: a retrospective cohort study / Salami F., Wagner J., van Drongelen S. [et al.] // *Developmental Medicine and Child Neurology*. – 2018. – Vol. 60, No. 8. – P. 833–838.

154. Saraswat, P. Is peak hamstrings muscle-tendon length criterion a sufficient indicator to recommend against surgical lengthening of hamstrings? / Saraswat P., MacWilliams B.A., McMulkin M.L. [et al.] // *Gait & Posture*. – 2023. – Vol. 105. – P. 149–157.

155. Schutte, L. M. Lengths of hamstrings and psoas muscles during crouch gait: effects of femoral anteversion / Schutte L. M., Hayden S. W., Gage J. R. // *Journal of Orthopaedic Research*. – 1997. – Vol. 15, No. 4. – P. 615–621.

156. Schwab F. A clinical impact classification of scoliosis in the adult / Schwab F., Farcy J.P., Bridwell K.H. [et al.] // *Spine (Phila Pa 1976)*. – 2006. – Vol. 31, No. 18. – P. 2109–2114.

157. Sindou, M. P. Selective peripheral neurotomy (SPN) for spasticity in childhood / Sindou M. P., Simon F., Mertens P. [et al.] // *Child's Nervous System*. – 2007. – Vol. 23, No. 9. – P. 957–970.

158. Sitthinamsuwan, B. Improvement of sitting ability and ambulation status after selective peripheral neurotomy of the sciatic hamstring nerve together with obturator branches for severe spasticity of the lower extremities / Sitthinamsuwan B., Chanvanitkulchai K., Phonwijit L. [et al.] // *Stereotactic and Functional Neurosurgery*. – 2012. – Vol. 90, No. 5. – P. 335–343.

159. Smith, L. R. Hamstring contractures in children with spastic cerebral palsy result from a stiffer extracellular matrix and increased in vivo sarcomere length / Smith L.R., Lee K.S., Ward S.R. [et al.] // *The Journal of Physiology*. – 2011. – Vol. 589. – P. 2625–2639.
160. Soo, B. Hip Displacement in Cerebral Palsy / Soo B., Howard J.J., Boyd R.N. [et al.] // *The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume*. – 2006. – Vol. 88. – P. 121–129.
161. Sorensen, C. J. Is lumbar lordosis related to low back pain development during prolonged standing? / Sorensen C.J., Norton B.J., Callaghan J.P. [et al.] // *Manual Therapy*. – 2015. – Vol. 20, No. 4. – P. 553–557.
162. Sossai, R. Patellar tendon shortening for flexed knee gait in spastic diplegia / Sossai R., Vavken P., Brunner R. [et al.] // *Gait & Posture*. – 2015. – Vol. 41, No. 2. – P. 658–665.
163. Spiro, A. S. Treatment of fixed knee flexion deformity by anterior distal femoral stapling / Spiro A.S., Stenger P., Hoffmann M. [et al.] // *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. – 2012. – Vol. 20, No. 12. – P. 2413–2418.
164. Stackhouse, S. K. Voluntary muscle activation, contractile properties, and fatigability in children with and without cerebral palsy / Stackhouse S.K., Binder-Macleod S.A., Lee S.C. [et al.] // *Muscle & Nerve*. – 2005. – Vol. 31, No. 5. – P. 594–601.
165. Staheli, L. T. *Arthrogyrosis: A Text Atlas* / Staheli L.T., Hall J.G., Jaffe K.M. [et al.] – Cambridge : Cambridge University Press, 2008. – P. 178.
166. Stiel, N. Anterior distal femoral hemiepiphysiodesis can reduce fixed flexion deformity of the knee: a retrospective study of 83 knees / Stiel N., Babin K., Vettorazzi E. [et al.] // *Acta Orthopaedica*. – 2018. – Vol. 89, No. 5. – P. 555–559.
167. Stout, J. L. Distal femoral extension osteotomy and patellar tendon advancement to treat persistent crouch gait in cerebral palsy / Stout J.L., Gage J.R., Schwartz M.H. [et al.] // *The Journal of Bone and Joint Surgery*. – 2008. – Vol. 90. – P. 2470–2484.

168. Suh, D. H. Analysis of hip dysplasia and spinopelvic alignment in cerebral palsy / Suh D.H., Hong J.Y., Suh S.W. [et al.] // *The Spine Journal*. – 2014. – Vol. 14, No. 11. – P. 2716–2723.

169. Svehlík, M. The influence of age at single-event multilevel surgery on outcome in children with cerebral palsy who walk with flexed knee gait / Svehlík M., Steinwender G., Kraus T. [et al.] // *Developmental Medicine and Child Neurology*. – 2011. – Vol. 53, No. 8. – P. 730–735.

170. Szopa, A. Canonical correlation between body-posture deviations and gait disorders in children with cerebral palsy / Szopa A., Domagalska-Szopa M., Siwiec A. [et al.] // *PLoS One*. – 2020. – Vol. 15, No. 6. – P. e0234654.

171. Taylor, D. The effectiveness of posterior knee capsulotomies and knee extension osteotomies in crouched gait in children with cerebral palsy / Taylor D., Connor J., Church C. [et al.] // *Journal of Pediatric Orthopaedics B*. – 2016. – Vol. 25, No. 6. – P. 543–550.

172. Tedroff, K. Does loss of spasticity matter? A 10-year follow-up after selective dorsal rhizotomy in cerebral palsy / Tedroff K., Lowing K., Jacobson D. N. [et al.] // *Developmental Medicine and Child Neurology*. – 2011. – Vol. 53. – P. 724–729.

173. Temelli, Y. Treatment approaches to flexion contractures of the knee / Temelli Y., Akalan N. E. // *Acta Orthopaedica et Traumatologica Turcica*. – 2009. – Vol. 43, No. 2. – P. 113–120.

174. Thelen, D. D. Abnormal coupling of knee and hip moments during maximal exertions in persons with cerebral palsy / Thelen D. D., Riewald S. A., Asakawa D. S. [et al.] // *Muscle & Nerve*. – 2003. – Vol. 27, No. 4. – P. 486–493.

175. Thompson, N. The use of minimally invasive techniques in multi-level surgery for children with cerebral palsy: preliminary results / Thompson N., Stebbins J., Seniorou M. [et al.] // *The Journal of Bone and Joint Surgery. British Volume*. – 2010. – Vol. 92. – P. 1442–1448.

176. Von Walden, F. Muscle contractures in patients with cerebral palsy and acquired brain injury are associated with extracellular matrix expansion, pro-

inflammatory gene expression, and reduced rRNA synthesis / Von Walden F., Gantelius S., Liu C. [et al.] // *Muscle & Nerve*. – 2018. – Vol. 58, No. 2. – P. 277–285.

177. Westberry, D. E. Effectiveness of serial stretch casting for resistant or recurrent knee flexion contractures following hamstring lengthening in children with cerebral palsy / Westberry D.E., Davids J.R., Jacobs J.M. [et al.] // *Journal of Pediatric Orthopaedics*. – 2006. – Vol. 26, No. 1. – P. 109–114.

178. White, H. Hamstring lengthening in females with cerebral palsy have greater effect than in males / White H., Wallace J., Walker J. [et al.] // *Journal of Pediatric Orthopaedics B*. – 2019. – Vol. 28, No. 4. – P. 337–344.

179. Wijesekera, M. P. C. Pelvic Tilt Changes After Hamstring Lengthening in Children With Cerebral Palsy / Wijesekera M.P.C., Wilson N.C., Trinca D. [et al.] // *Journal of Pediatric Orthopaedics*. – 2019. – Vol. 39, No. 5. – P. e380–e385.

180. Wingstrand, M. Ankle-foot orthoses in children with cerebral palsy: a cross sectional population based study of 2200 children / Wingstrand M., Hägglund G., Rodby-Bousquet E. // *BMC Musculoskeletal Disorders*. – 2014. – Vol. 15. – P. 327.

181. Wolf, S. I. Which functional impairments are the main contributors to pelvic anterior tilt during gait in individuals with cerebral palsy? / Wolf S.I., Mikut R., Kranzl A. [et al.] // *Gait & Posture*. – 2014. – Vol. 39, No. 1. – P. 359–364.

182. Woratanarat, P. Knee capsulotomy for fixed knee flexion contracture / Woratanarat P., Dabney K.W., Miller F. // *Acta Orthopaedica et Traumatologica Turcica*. – 2009. – Vol. 43. – P. 121–127.

183. Yechieli, M. Diagnostic yield of chromosomal microarray and trio whole exome sequencing in cryptogenic cerebral palsy / Yechieli M., Gulsuner S., Ben-Pazi H. [et al.] // *Journal of Medical Genetics*. – 2022. – Vol. 59, No. 8. – P. 759–767.

184. Yıldırım, E. Unusual entrapment of deep peroneal nerve after femoral distal extension osteotomy / Yıldırım E., Sarıkaya İ.A., İnan M. // *Journal of Pediatric Orthopaedics B*. – 2015. – Vol. 24, No. 5. – P. 440–443.

185. Young, J. L. Management of the knee in spastic diplegia: what is the dose? / Young J. L., Rodda J., Selber P. [et al.] // *Orthopedic Clinics of North America*. – 2010. – Vol. 41. – P. 561–577.

186. Zwick, E. B. Medial hamstrings lengthening in the presence of hip flexor tightness in spastic diplegia / Zwick E.B., Saraph V., Zwick G. [et al.] // *Gait & Posture*. – 2002. – Vol. 16, No. 3. – P. 288–296.