

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

На правах рукописи

КУЗНЕЦОВ Анатолий Сергеевич

**КОРРЕКЦИЯ ВТОРИЧНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ
ПОСЛЕ ОПЕРАТИВНЫХ ВМЕШАТЕЛЬСТВ НА ТАЗОБЕДРЕННОМ
СУСТАВЕ У ДЕТЕЙ**

3.1.8. Травматология и ортопедия

Диссертация
на соискание ученой степени
кандидата медицинских наук

Научный руководитель:

Кожевников Олег Всеволодович

доктор медицинских наук

Москва – 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
Глава 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.....	9
1.1 Анатомия и развитие тазобедренного сустава.....	9
1.2. Биомеханика тазобедренного сустава.....	14
1.2.1. Биомеханика нормального сустава	14
1.2.2. Биомеханика диспластичного сустава	17
1.3. Строение зоны роста.....	20
1.4. Изучение роста костной ткани	21
1.5. Методики воздействия на зоны роста.....	21
1.6. Аспекты воздействия на зоны роста проксимального отдела бедренной кости	23
1.7. Неравенство длины нижних конечностей при патологии тазобедренного сустава.....	29
1.8. Механизм удлинения пораженной конечности	31
1.9. Резюме.....	31
Глава 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	33
2.1. Планирование исследования.....	33
2.2. Общая характеристика клинического материала	36
2.3. Методы исследования	37
2.3.1. Сбор анамнеза	37
2.3.2. Оценка жалоб и анкетирование.....	39
2.3.3. Клиническое исследование	42
2.3.4. Функциональные нарушения, вызванные неравенством длины	46
2.3.5. Инструментальное обследование	47
2.3.6. Статистический метод.....	61
Глава 3. ОЦЕНКА БИОМЕХАНИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ У ПАЦИЕНТОВ С НЕРАВЕНСТВОМ ДЛИНЫ НА ФОНЕ ПАТОЛОГИИ ТАЗОБЕДРЕННОГО СУСТАВА	63
3.1. Общая характеристика материалов биомеханического исследования.....	68
3.2. Результаты биомеханического обследования пациентов основной группы.....	70
3.3. Результаты биомеханического обследования пациентов группы сравнения	76

3.4. Сравнение результатов биомеханического обследования основной и контрольной групп пациентов.....	80
3.5. Обсуждение результатов обследования	85
Глава 4. ЛЕЧЕНИЕ ПАЦИЕНТОВ СО ВТОРИЧНЫМИ ДЕФОРМАЦИЯМИ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ ПОСЛЕ ОПЕРАТИВНЫХ ВМЕШАТЕЛЬСТВ НА ТАЗОБЕДРЕННОМ СУСТАВЕ	90
4.1. Общие принципы хирургического лечения	90
4.2. Хирургическое лечение детей с неравенством длины нижних конечностей	90
4.3. Оценка эффективности малоинвазивной методики временного эпифизиодеза у пациентов с неравенством длины нижних конечностей после оперативного лечения на тазобедренном суставе	92
4.4. Обсуждение полученных результатов	98
4.5. Хирургическое лечение детей со вторичными деформациями проксимального отдела бедренной кости.....	101
4.6. Оценка эффективности малоинвазивной методики эпифизиодеза зон роста у пациентов со вторичной деформацией проксимального отдела бедренной кости	102
4.7. Обсуждение полученных результатов	111
4.8. Хирургическое лечение детей с вальгусной деформацией нижних конечностей на уровне коленных суставов	113
4.9. Оценка эффективности малоинвазивной методики временного эпифизиодеза у пациентов с вальгусной деформацией нижних конечностей после оперативного лечения на тазобедренном суставе	114
4.10. Обсуждение полученных результатов	117
Глава 5. АНАЛИЗ ОШИБОК И ОСЛОЖНЕНИЙ ХИРУРГИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ	120
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	134
Выводы.....	141
Практические рекомендации	142
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	144
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	145

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность и степень разработанности темы исследования

Патология тазобедренного сустава в детском возрасте занимает ведущее место среди всех деформаций опорно-двигательного аппарата и составляет порядка 3% всех обращений в медицинские учреждения [Zucker E. J., Lee E. Y., Restrepo R., Eisenberg R. L.].

Наиболее частые патологии, которые встречаются в практике детского ортопеда – вывих бедра, болезнь Легга – Кальве – Пертеса, асептический некроз головки бедренной кости. Первичной задачей лечения в этих случаях является стабилизация, восстановление конгруэнтности в суставе, для чего требуется хирургическое лечение на проксимальном отделе бедренной кости и костях таза [Forrester-Brown M. F., Seeber E.].

При коррекции проксимального отдела бедренной кости происходит изменение ее геометрии в следствие уменьшения шеечно-диафизарного угла (ШДУ), таким образом опосредованно происходит укорачивание пораженной нижней конечности. При динамическом наблюдении у пациентов может произойти как стабилизация состояния оперированной конечности, так и ее гипертрофия с увеличением длины бедренного сегмента [Zadeh H. G., Yoon C.]. По нашим данным неравенство длины нижних конечностей это наиболее частая вторичная деформация нижних конечностей. Несмотря на то, что разница длины может составлять 1–2 см, неравенство беспокоит родителей пациентов. Клинически заметная хромота, необходимость изготовления и ношения индивидуальной ортопедической обуви и компенсаторных стелек, проблема с подбором одежды – все это значимые факторы, влияющие на психоэмоциональное состояние, как ребенка, так и родителя.

Кроме неравенства длины, существуют другие виды вторичных деформаций нижних конечностей, такие как гипертрофия большого вертела, деформация Каламчи II типа, импиджмент тазобедренного сустава. Так как нормальное формирование проксимального отдела бедренной кости обеспечивается содружественной функцией трех зон роста: эпифиза головки бедра, верхнего края шейки и большого вертела [Weinstein S. L., Mubarak S. J., Wenger D. R.], любое неблагоприятное воздействие на одну из этих зон роста нарушает процесс дальнейшего нормального развития проксимального отдела бедренной кости [Compere E. L.]. В результате повреждения происходит угнетение одного участка зоны роста кости и нормального функционирования другого, в результате чего формируются многоплоскостные деформации проксимального отдела бедренной кости [Edgren W.]. При несвоевременной коррекции данные патологии могут привести к хромоте, хронизации болевого синдрома, гипотрофии ягодичных мышц, а затем и мышц смежных суставов вследствие перераспределения нагрузки, и в итоге к коксартрозу тазобедренного сустава.

Несмотря на то, что за последние годы предложено несколько способов коррекции данных последствий оперативного вмешательства [Stevens P. M., Shin C. H., Hong W. K.], до сих пор единого мнения специалистов по этому вопросу не существует. Некоторые авторы относят вторичные деформации к отдельным патологиям опорно-двигательной системы, рассматривая их лечение как самостоятельный процесс.

На наш взгляд необходимо рассматривать первопричину, которая могла привести к той или иной вторичной деформации, которую можно заранее спрогнозировать и предотвратить, посредством индивидуального, осмысленного подхода к тактике лечения и тщательного предоперационного планирования.

Цель исследования – улучшить результаты лечения детей с патологией тазобедренного сустава путем выявления и своевременной коррекции вторичных деформаций нижних конечностей с использованием методики временного блокирования зон роста.

Задачи исследования

1. Определить виды вторичных деформаций нижних конечностей после оперативного лечения на тазобедренном суставе и проследить их частоту в зависимости от патологии/нозологической пораженности ТБС.
2. Оценить биомеханические нарушения у пациентов со вторичными деформациями нижних конечностей, определить их воздействие на течение заболевания тазобедренного сустава.
3. Оценить результаты и эффективность коррекции различных видов вторичных деформаций методикой блокирования зоны роста.
4. Выработать алгоритм коррекции вторичных деформаций нижних конечностей с использованием малотравматичной методики временного блокирования зон роста.

Научная новизна исследования

1. Впервые установлена частота возникновения вторичных деформаций нижних конечностей у пациентов с патологией тазобедренного сустава.
2. Впервые на основании сравнительного анализа рентгенологических показателей стабильности тазобедренного сустава с/без нагрузки определено формирование позиционного подвывиха бедра при вторичных деформациях с неравенством длины на стороне «длинной» ноги, усугубляющее течение основного заболевания.
3. Впервые определены показания для коррекции вторичных деформаций нижних конечностей малоинвазивной методикой временного блокирования зон роста.
4. Впервые проведена биомеханическая оценка пациентов со вторичными деформациями нижних конечностей на аппарате Habilect MotionLAB.

Теоретическая и практическая значимость работы

1. Проведен анализ биомеханики нижних конечностей на аппарате Habilect MotionLAB и определены функциональные нарушения, возникающие у пациентов с вторичными деформациями.
2. Разработан план обследования пациентов с вторичными деформациями нижних конечностей с проведением рентгенометрии тазобедренных суставов в покое и при нагрузке.
3. Определены показания для одномоментной оперативной коррекции основной патологии тазобедренного сустава и вторичной деформации нижних конечностей путем временного эпифизиодеза.
4. Определены виды вторичных деформаций, не требующие срочной коррекции, с динамическим наблюдением в течение 1,5–2 лет после основного вмешательства на тазобедренном суставе.

Методология и методы исследования

Настоящее исследование основано на результатах обследования и лечения 76 пациентов (99 конечностей) в возрасте от 4 до 16 лет, которые проходили хирургическое лечение по поводу патологии тазобедренного сустава или наблюдавшихся в условиях детского травматолого-ортопедического отделения № 10 ФГБУ НМИЦ ТО им. Н. Н. Приорова.

Весь клинический материал был разделен на четыре группы по типу вторичной деформации нижней конечности – 56 пациентов с неравенством длины нижних конечностей, 9 пациентов с гипертрофией большого вертела, 6 пациентов с патологией зоны роста шейки бедренной кости, 5 пациентов с вальгусной деформацией нижних конечностей на уровне коленных суставов.

Для проведения биомеханического исследования была набрана группа сравнения из 14 пациентов с одинаковой длиной нижних конечностей, которые проходили хирургическое лечение по поводу патологии тазобедренного сустава или наблюдавшихся в условиях детского травматолого-ортопедического отделения № 10 ФГБУ НМИЦ ТО им. Н. Н. Приорова.

Настоящее исследование состояло из 2 взаимосвязанных частей. Первая часть состояла из анализа данных историй болезни и амбулаторных карт пациентов, а также данных рентгенологических обследований. Оценивались: клинические проявления вторичных деформаций нижних конечностей, функциональные нарушения, вызванные деформацией проксимального отдела бедренной кости и неравенство длины нижних конечностей, биомеханическое исследование.

Вторая часть исследования включала анализ результатов хирургического лечения пациентов со вторичными деформациями нижних конечностей и оценку его эффективности, частота осложнений и их возможные причины. Для оценки результатов хирургического лечения пациентов проведен анализ клинических и рентгенологических данных, характеризующих выраженность деформаций нижних конечностей до и после хирургического вмешательства.

Положения, выносимые на защиту

1. Изменения в нижних конечностях, которые могут возникнуть после операции на тазобедренном суставе, оказывают значительное влияние на биомеханику движения пациента. Эти вторичные адаптации играют важную роль в восстановлении функциональной активности и поддержании стабильности опорно-двигательного аппарата.

2. Используемые методики воздействия на зоны роста нижних конечностей оказались эффективны во всех случаях коррекции вторичных деформаций. Основным фактором, влияющим на успешный исход лечения – возраст пациентов на момент выполнения временного эпифизиодеза.

Степень достоверности и апробации работы

Основные положения и результаты диссертационной работы доложены и обсуждены:

- на VIII научно-практической конференции молодых ученых на английском языке «Будущее детской ортопедии и реконструктивной хирургии» (г. Санкт-Петербург, 2021 г.);
- на XIX Съезде педиатров России с международным участием «Актуальные проблемы педиатрии» (г. Москва, 2022 г.);
- на XII Всероссийском Съезде травматологов-ортопедов (г. Москва, 2022 г.);
- на ежегодной научно-практической конференции, посвященной актуальным вопросам травматологии и ортопедии детского возраста «Турнеровские чтения» (г. Санкт-Петербург, 2023, 2024, 2025 гг.);
- на II съезде травматологов-ортопедов Центрального федерального округа (г. Смоленск, 2024 г.);
- на Международном ортопедическом конгрессе (44th SICOT Orthopaedic World Congress, Сербия, г. Белград, 2024 г.);
- на XI Всероссийском Приоровском Форуме, посвященном 100-летию профессора К.М. Сиваша (г. Москва, 2024 г.);
- на Сибирском Ортопедическом Форуме (г. Новосибирск, 2025 г.);
- на XII Всероссийском Приоровском форуме, посвященном 140-летию со дня рождения академика Н. Н. Приорова (г. Москва, 2025 г.).

По теме диссертационного исследования опубликовано 8 печатных работ, из них 3 статьи в журналах, рекомендованных ВАК РФ.

Результаты исследования внедрены в клиническую практику в следующих учреждениях:

- 1) Федеральное государственное бюджетное учреждение Министерства здравоохранения Российской Федерации «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени Н. Н. Приорова»;
- 2) Федеральное государственное автономное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр здоровья детей» Министерства здравоохранения Российской Федерации;

3) ГБУЗ «Детская городская клиническая больница святого Владимира ДЗМ»

Объем и структура диссертации

Диссертация изложена на 157 страницах текста, набранного на компьютере, и состоит из введения, 5 глав, заключения, выводов, практических рекомендаций, библиографического списка использованной литературы, включающего 152 источника (из них 26 отечественных и 126 – иностранных авторов), снабжена 76 рисунками и 41 таблицами.

Глава 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Деформация проксимального отдела бедра у детей в большинстве случаев происходит вследствие таких заболеваний, как врожденный вывих бедра, асептический некроз головки бедренной кости, болезнь Легга – Кальве – Пертеса, нейрогенных и некоторых других видов нарушений. Чаще всего в результате данных заболеваний происходит нарушение стабильности тазобедренного сустава из-за подвывиха или вывиха головки бедра, деформации головки и шейки бедренной кости, что приводит к нарушению функционирования тазобедренного сустава и конечности в целом. Основным методом для исправления деформации является корригирующие остеотомии бедренной кости и костей таза, в результате которых восстанавливается величина шеечно-диафизарного угла, антеверсия шейки бедренной кости, восстанавливается центрация головки в вертлужной впадине, что позволяет таким образом стабилизировать тазобедренный сустав [Камоско М. М., Forrester-Brown M. F.]. Подобные оперативные вмешательства могут приводить к вторичным деформациям нижних конечностей – последующее неравенство длины нижних конечностей или нарушение функционирования зон роста проксимального отдела бедренной кости (гипертрофия большого вертела, деформация Каламчи II типа, импиджмент тазобедренного сустава) [Grzegorzewski, Yoon C., Tolk J. J., Pang H., Kalamchi A., MacEwen G. D., Iwersen L. J., Shah H., Torode I. P.; Поздникин И. Ю., Басков В. Е., Барсуков Д. Б., Хусаинов Н. О., Краснов А. И.]. При несвоевременной коррекции данные патологии могут привести к хромоте, гипотрофии ягодичных мышц, а затем и мышц смежных суставов вследствие перераспределения нагрузки, хронизации болевого синдрома, и в итоге к коксартрозу тазобедренного сустава. Указанные ограничения влияют как на физическое состояние ребенка (боль, сниженная амплитуда движения, вынужденное положение тела и конечности), так и затрагивают его психоэмоциональную сферу – нарушаются социальные связи в детском саду и школе, становится невозможным самообслуживание, выполнение базовых активностей [Фаддеев Д. И., Реутов А. И.; Harpreet, Chhina].

В настоящее время активно развивается методика воздействия на зоны роста – временный эпифизиодез. Данная методика позволяет малоинвазивно корректировать или предотвращать развитие вторичных деформаций нижних конечностей.

1.1 Анатомия и развитие тазобедренного сустава

Тазобедренный сустав – крупнейший сустав человеческого организма. Патогенез многих его заболеваний связан с нарушением эмбриогенеза в период закладки костно-мышечной системы. Подобные нарушения вызывают сбой в росте и формировании суставных структур, нередко приводя к необходимости сложной хирургической коррекции.

Все элементы тазобедренного сустава образуются из склеробластомной массы. На 7-й неделе гестации развивается суставная щель, происходит закладка костей таза, формируются артериальные стволы и нервы (бедренный и седалищный). На 11–12-й неделе тазобедренный сустав и его структуры уже сформированы. На 16-й неделе появляется разделение нижних конечностей на бедро и голень. Головка бедренной кости становится сферичной формы, а движения в тазобедренном суставе возможны в полной амплитуде. К 20-й неделе заканчивается дифференцировка тканей. В данный период оксификация подвздошной кости составляет порядка 75%, увеличивается костная плотность седалищной и лонной костей. С этого момента начинается интенсивный рост плода, в течении которого воздействие экзогенных и эндогенных факторов сказывается на формировании тазобедренного сустава.

В нормальном развитии тазобедренного сустава имеет большое значение его кровоснабжение и иннервация. Основное кровоснабжение проксимального отдела бедра идет за счет медиальной и латеральной артерий, огибающих бедренную кость, и запирающей артерии. Остальные сосуды питают бедро через анастомозы с указанными артериями [Привес М. Г.]. Головку и шейку бедренной кости кровоснабжают верхние артерии шейки и головки, нижние артерии головки, задние и передние артерии шейки, и артерии связки головки.

Главной особенностью кровоснабжения тазобедренного сустава у детей является разобщенность сосудистой системы эпифиза и шейки бедра. Ростковая зона располагается между ними как барьер, препятствуя проникновению в головку сосудов, кровоснабжающих дистальные отделы кости и капсулу сустава. У детей внутри головки бедра не имеется анастомозов между верхними и нижними артериями. Данные анастомозы появляются уже в более старшем возрасте (после 15–18 лет).

Ветви латеральной артерии, огибающей бедренную кость, питают только поверхностный участок переднего сегмента головки и шейку бедренной кости. Медиальная огибающая артерия бедра отдает две ветви: верхнюю и нижнюю шеечные артерии. Верхняя шеечная артерия питает большую часть эпифиза головки бедренной кости (от $\frac{2}{3}$ до $\frac{4}{5}$), кровоснабжая резервный слой клеток ростковой пластинки. Переднецентральная область эпифиза располагается в терминальной зоне сосудистого бассейна верхней шеечной артерии, то есть находится в наименее благоприятной зоне кровоснабжения. Нижняя шеечная артерия питает только небольшой медиальный сегмент головки [Дольницкий О. В., Радомский А. А.].

Запирающая артерия, являющаяся ветвью внутренней подвздошной артерии, питает наружную запирающую мышцу, аддукторы и дает вертлужную ветвь, которая проникает через отверстие вертлужной впадины в тазобедренный сустав и питает связку головки бедра и головку бедренной кости.

Артерии связки головки бедра происходят из двух источников – запирающей и медиальной артерии, огибающей бедро. Тончайшие артерии связки головки разветвляются по рассыпному типу, когда артерии не проникают в головку бедра, и по магистральному типу, распространяясь в головке на ограниченном участке.

По краю хрящевого покрова головки, перед проникновением в нее, образуются два артериальных анастомозных кольца – анастомоз Ансерова и анастомоз, формируемый за счет медиальной и латеральной огибающей артерии. Травматические и гемодинамические нарушения в данных сосудистых сетях могут привести к нарушению кровоснабжения эпифиза, в следствие чего разовьется асептический некроз и произойдет разрешение костной структуры головки бедренной кости.

Венозная система по своей разветвленности отличается от артериальной. В костных каналах шейки бедра одну артерию сопровождают два и более венозных ствола. Вены, выходящие из эпифиза бедренной кости, составляют анастомозы с венами суставной капсулы, а также с венами мышц, окружающих сустав. Венозный отток из тазобедренного сустава происходит из внутрикостных сплетений через медиальную и латеральную окружающие бедро вены в глубокую вену бедра, бедренную вену и через наружную подвздошную вену [Привес М. Г., Синельников Р. Д., Синельников Я. Р].

Иннервация тазобедренного сустава происходит за счет ветвей нервов пояснично-крестцового сплетения – бедренного нерва, нижнего ягодичного нерва, седалищного и запирающего нервов [Joseph B.].

Анатомическое строение тазобедренного сустава ребенка отличается от взрослого. Процесс формирования сустава у детей описывается зачастую в перечислении сроков появления ядер окостенения по результатам рентгенологического обследования [Лагунова И. Г., Садофьева В. И.]. Именно структурное строение тазобедренного сустава в норме и при патологии в отечественной литературе наиболее подробно описано Осьмининой А. Т. Для большего понимания и более точной оценки строения сустава в разные возрастные периоды многие авторы проводили анатомические исследования с использованием секционных комплексов [Тихоненков Е. С., Малахов О. А., Морозов А. К., Огарев Е. В., Косова И. А.]. Таким образом выявлено, что при рождении у ребенка преобладает рентген-негативная хрящевая ткань (края вертлужной впадины, головка бедренной кости и большая часть шейки, Рисунок 1).

При взрослении происходит рост хрящевых моделей и замещение их костной тканью по типу прямого остеогенеза. В 3–6 месяца в головке бедра появляется ядро окостенения, которое к году достигает 5–6 мм, а в возрасте 3 лет костная ткань ядра занимает около половины головки. К 4–5 годам степень оссификации головки бедренной кости составляет около 70–80% (Рисунок 2).



А

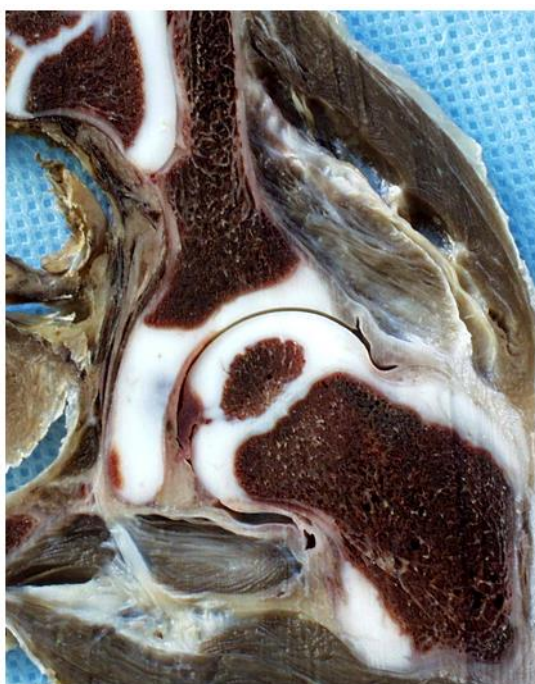


Б



В

Рисунок 1 – А. Анатомический препарат новорожденного ребенка. Б. Обзорная рентгенограмма тазобедренного сустава новорожденного ребенка. В. Артрограмма тазобедренного сустава (фотографии взяты из личного архива Огарёва Е. В., ЦИТО)



А



Б

Рисунок 2 – Оссификация эпифиза головки бедра во фронтальной (А) и горизонтальной плоскости (Б) (фотографии взяты из личного архива Огарёва Е. В., ЦИТО)

Оссификация головки бедра осуществляется за счет двух источников – за счет ядра окостенения проксимального эпифиза и за счет распространения эндохондрального костеобразования со стороны шейки в проксимальном направлении. Верхней-внутренний отдел головки (что является медиальной зоной роста) оссифицируется из ядра окостенения проксимального эпифиза, а ниже-наружный (латеральная зона роста) из зоны оссификации шейки бедра (Рисунок 3).

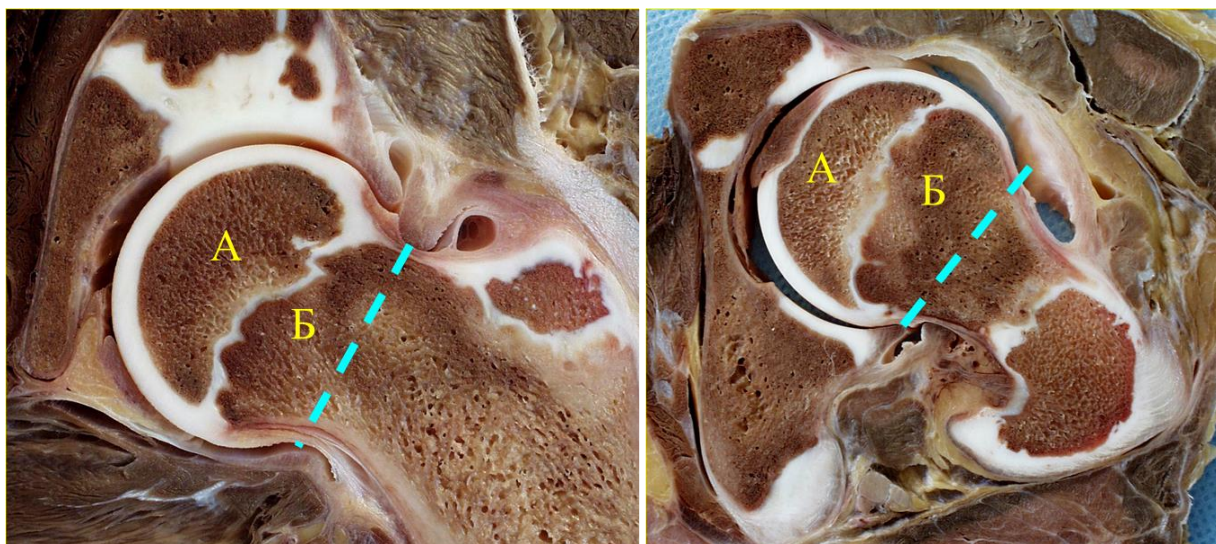


Рисунок 3 – Источники оксификации головки бедренной кости: **а** – ядро окостенения эпифиза, **б** – распространение процесса костеобразования со стороны шейки бедренной кости (фотографии взяты из личного архива Огарёва Е. В., ЦИТО)

Проксимальная часть бедренной кости имеет уникальную L-образную двураздельную пластинку роста с медиальной, верхней и латеральной частями. Медиальная часть обычно растет в два раза быстрее по сравнению с латеральной частью и вносит основной вклад в формирование шейки бедренной кости. Латеральная часть в основном отвечает за рост большого вертела. Верхняя шейная зона роста, расположенная между медиальной и латеральной частями, является наиболее активной областью роста и, следовательно, наиболее подвержена ишемии [O'Brien T., Millis M. B., Griffin P. P.]. Наиболее уязвимыми являются эпифизарная и верхняя шейная зоны роста, так как кровоснабжаются медиальной и латеральной артериями, огибающими бедренную кость, и заключены в капсулу сустава.

Большой вертел начинает оксифицироваться в 3 года с появления одного или нескольких ядер окостенения в основании. В возрасте 7 лет ядра окостенения появляются и в малом вертеле. Вертлужная впадина имеет наибольшие темпы развития на первом году жизни и в подростковом возрасте. Ее диаметр увеличивается за счет роста Y-образного хряща, а глубина за счет роста хрящевых краев, ацетабулярной губы. Y-образной хрящ формируется слиянием хрящевых структур подвздошной, седалищной и лобковой костей, а рост его аналогичен метаэпифизарным зонам роста длинных костей. Ацетабулярная губа является внутрисуставной структурой, которая, сливаясь с капсулой сустава переходит в надкостницу тазовой кости. Активнее всего углубление вертлужной впадины происходит в период с 2 до 3 лет, и после 5-летнего возраста (Рисунок 4).

В возрасте 15–16 лет зоны роста закрываются, происходит полное слияние всех ядер окостенения, и тазобедренный сустав ребенка становится аналогичным по строению взрослому.

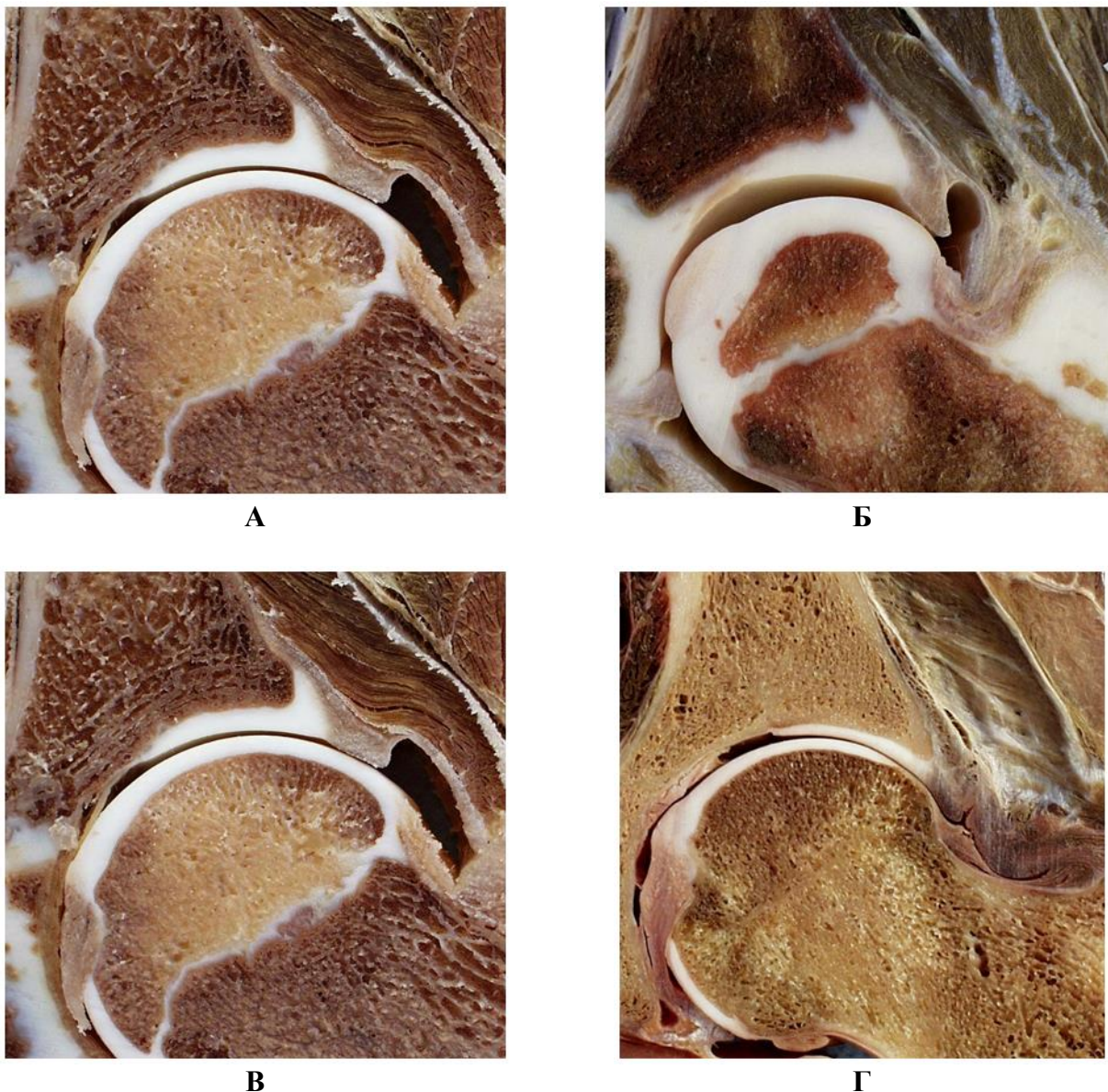


Рисунок 4 – Оссификация крыши вертлужной впадины: **А** – 1,5 года, **Б** – 3 года, **В** – 10 лет, **Г** – 13 лет (фотографии взяты из личного архива Огарёва Е. В., ЦИТО)

1.2. Биомеханика тазобедренного сустава

1.2.1. Биомеханика нормального сустава

Тазобедренный сустав является одним из основных звеньев биомеханической цепи в опорно-двигательном аппарате. Вопрос влияния наклона таза на походку и формирование сколиотической осанки широко обсуждается в литературе. Некоторые авторы склоняются к мнению, что неравенство длины и наклон таза способствуют деформации позвоночника, другие не считают это важным фактором. При статической опоре и ходьбе в нем возникают статодинамические нагрузки, переменные по величине и направлению [Евсеев В. И.]. Правильное взаимоотношение элементов тазобедренного сустава позволяет силам в костных рычагах находиться в динамическом равновесии. При нарушении конгруэнтности сустава происходит перераспределение

нагрузки, в связи с чем повышается напряжение и формируются зоны перегрузки, что приводит к развитию дегенеративно-дистрофических процессов и артрозу тазобедренного сустава.

Вопрос влияния наклона таза на походку и формирование сколиотической осанки широко обсуждается в литературе. Некоторые авторы склоняются к мнению, что неравенство длины и наклон таза способствуют деформации позвоночника, другие не считают это важным фактором. Для оценки важности разницы в длине нижних конечностей на тазобедренный сустав необходимо рассматривать биомеханическую модель позвоночника – таз (Рисунок 5) [Малахов О. А., Цыкунов М. Б., Шарпарь В. Д].

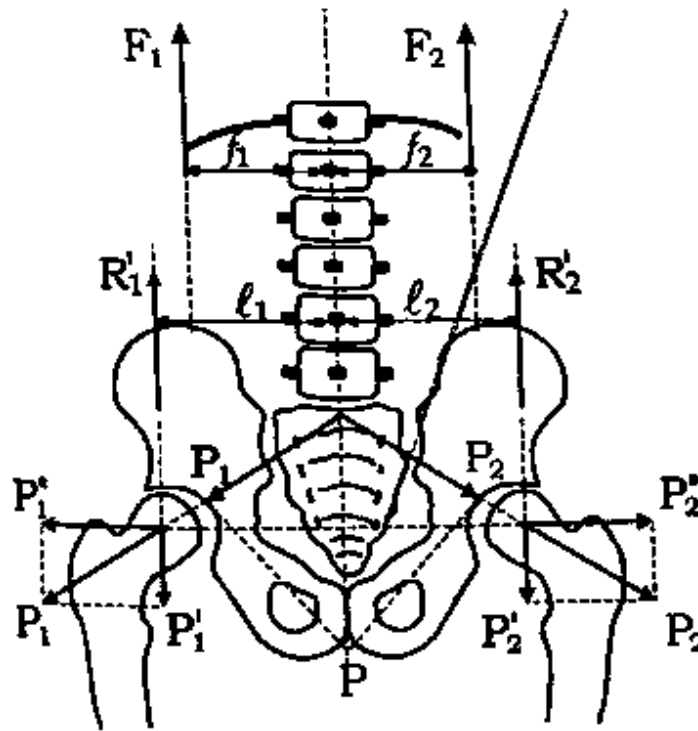


Рисунок 5 – Векторная модель биомеханической системы «позвоночник-таз»

С точки зрения биомеханики тазобедренные суставы, крестцово-подвздошные сочленения и пояснично-крестцовый отдел позвоночника представляют собой единую статико-динамическую систему, которая обеспечивает правильное положение таза относительно нижних конечностей и туловища. Если в каком-либо из указанных узлов этой системы происходит нарушение, то происходит компенсация в другом по закону «костного» рычага.

При вертикальной нагрузке равновесие тазобедренных суставов определяется соотношением веса туловища и работой мышц, окружающих проксимальный отдел бедра. Главный вектор туловища («Р» на рисунке 5) направлен четко вниз и равномерно распределен между обоими тазобедренными суставами, соответственно нагрузка также распределяется равномерно. Совместно с действием вертикальных сил веса тела равновесие туловища обеспечивается активным (мышцы) и пассивным (связки и межпозвоночные диски) аппаратом стабилизации. Основные

мышцы туловища (паравертебральные, подвздошно-поясничные) по своему направлению являются косыми, и их вертикальные составляющие, выделенные из результирующей и направленные вдоль оси позвоночника, образуют уравнивающие моменты. Таким образом, при расположении тазобедренных суставов на одном уровне и симметричной тяге мышц система «позвочник–таз» находится в равновесии.

При опоре на обе нижние конечности стабилизация таза в поперечном направлении обеспечивается за счет одновременного сокращения отводящих и приводящих бедро мышц с обеих сторон. Если происходит дисбаланс мышц и с одной стороны преобладают отводящие мышцы, а с другой стороны – приводящие, то таз будет наклонен в сторону приводящих мышц.

При односторонней опоре сустав является рычагом первого рода, при этом точкой опоры является головка бедренной кости. Таким образом при односторонней опоре таз удерживается в равновесии благодаря равенству моментов плеча рычага, на котором находится вес тела, и плече рычага действия отводящих мышц. Соответственно плечо рычага веса тела равно расстоянию от центра головки, которая является точкой опоры, до вертикальной оси тела, а плечо силы отводящих мышц – от центра головки до большого вертела. Для восстановления равновесия таза развиваемая сила средней ягодичной мышцы должна уравновесить вес тела, а помогают ей в этом малая ягодичная мышцы и напрягатель широкой фасции бедра. Стабилизация таза этими мышцами имеет существенное значение для нормальной ходьбы, так как при недостаточности одной из них вес тела не будет уравновешен, и таз наклонится в противоположную сторону.

При сохранении нормальных взаимоотношений в тазобедренном суставе напряжение на уровне суставных поверхностей составляет от $29,8 \pm 6,6$ до $31,5 \pm 6,9$ Н/м² [Малахов О. А., Цыкунов М. Б., Шарпарь В. Д.]. Чем менее конгруэнтны суставные поверхности, тем больше напряжение, так как оно прямо пропорционально уменьшению площади опорной поверхности.

У человека без патологии тазобедренного сустава при симметричном положении тела вертикаль центра тяжести располагается на одинаковом расстоянии от центров тяжести тазобедренных суставов. В этом положении сила тяжести передается на бедренные кости под углом порядка 45 градусов. В положении стоя бедра несколько приведены, в среднем на 7 градусов, а анатомические оси бедренных костей располагаются под углом в среднем 83 градуса по отношению к биспинальной линии. Таким образом шеечно-диафизарный угол в среднем равняется $83 + 45 = 128$ градусов. У детей в возрасте 1–2 лет ШДУ превышает этот показатель, достигая угла 150 градусов. Диафиз бедра в таком возрасте несколько отведен, в связи с чем направление силы тяжести совпадает с осью шейки бедра и проходит более вертикально.

1.2.2. Биомеханика диспластичного сустава

При диспластическом развитии тазобедренного сустава происходит патологическая перестройка элементов сустава, что в итоге приводит к дисконгруэнтности суставных поверхностей и развитию коксартроза. В основе дисплазии тазобедренных суставов лежит генетическое нарушение структуры опорной соединительной ткани (кости, хрящ, капсульный и связочный аппарат). В 1964 С. О. Carter и J. A. Wilkinson выявили наличие двух групп генов – первая отвечала за кодирование изменений вертлужной впадины, вторая за капсульно-связочный аппарат.

Как уже было указано ранее – при анатомическом несоответствии суставных поверхностей возникает перераспределение нагрузки с возникновением зон перегрузок, что приводит к развитию дегенеративно-дистрофических процессов. При недоразвитии вертлужного компонента сустава, в следствие мутации генетических локусов коллагена I типа, векторы сил, воздействующих на тазобедренный сустав, меняются, и силы, действующие в вертикальном направлении, способствуют смещению головки бедренной кости вверх. Также вертикальному смещению головки бедра способствуют приводящие мышцы, поэтому в консервативном лечении используется положение отведения бедра.

Недоразвитие вертлужной впадины исключает физиологическое деформирующее давление таза на шейку бедренной кости. Этот процесс в основном проявляется до 2,5–3-летнего возраста, когда шейка бедренной кости пластичная и податливая к действию этих сил.

При вертикализации детей с дисплазией тазобедренного сустава (при одностороннем поражении) вертикаль центра тяжести будет располагаться ближе к суставу здоровой ноги, что приведет к уменьшению нагрузки на пораженную ногу. Также при вертикальной опоре при дисплазии тазобедренных суставов происходит повышение пикового напряжения на области головки бедра из-за нарушения ШДУ и смещения линий напряжения, что подтверждено в литературе [Vengust R., Daniel M., Antolic V., Zupanc O., Iglic A., Kralj-Iglic V., Pompe B., Mavcic B., Iglic A., Kralj-Iglic V., Brand R. A]. В диспластичном суставе происходит нарушение соотношения моментов силы рычага и моментом силы мышц-абдукторов, так как направление усилия этих мышц приближено к вертикали при вальгизации шейки бедра [Bergmann G., Graichen F., Rohlmann A., Burr D. B., Gerven D. P.-V., Gustav B. L.]. В результате этих изменений увеличивается вектор результирующей силы, что снижает площадь распределения нагрузки в суставе, провоцируя развитие явлений артроза.

При дисплазии сустава и формировании подвывиха возникает перекос таза со смещением головки относительно таза вверх. Чем более выражены диспластические изменения, тем больше величина этого смещения и тем больше будет перегрузка пораженного сустава.

Считается, что при диспластическом строении сустава анатомическая длина нижних конечностей не меняется, таким образом центры тазобедренных суставов остается на одном уровне. Под воздействием веса туловища происходит наклон таза в пораженную сторону с децентрацией головки бедренной кости. Таким образом формируется особый вид укорочения конечности. Однако это является верным именно при ацетабулярной дисплазии, что подтверждается большинством автором [Сokolовский О. А., Maheshwari R., Madan S. S., Pekmezci M., Yazici M., Thomas S. R., Wedge J. H., Salter R. B., Tukenmez M., Tezeren G., Weinstein S.]. Однако в работе В. Д. Макушина отмечено, что, зачастую, бедренный компонент дисплазии преобладает над ацетабулярным – 619 суставов и 240 соответственно [Макушин В. Д., Тепленький М. П.]. При таком варианте дисплазии конечность с торсионно-вальгусной деформацией будет длиннее здоровой конечности.

При неравенстве длины нижних конечностей из-за смещения уровня тазобедренных суставов происходит перераспределение веса в сторону короткой конечности, вследствие чего увеличивается нагрузка на эту половину туловища (Рисунок 6).

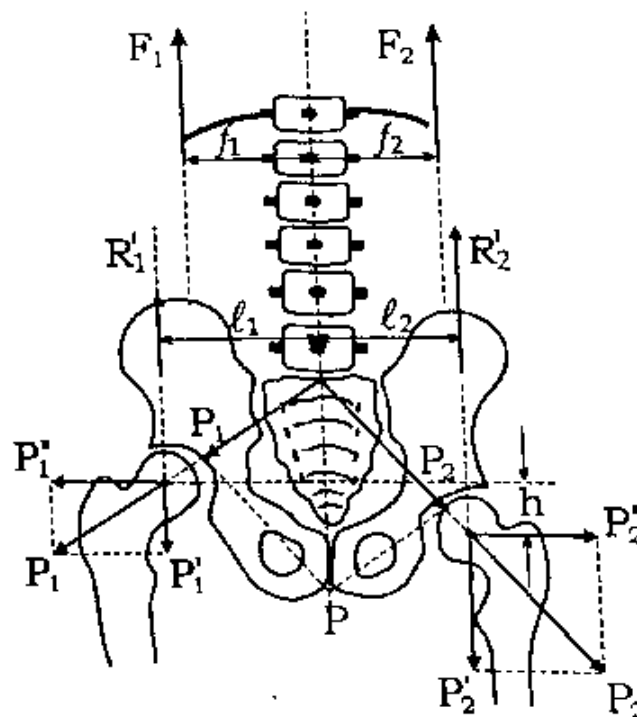


Рисунок 6 – Математическая модель биомеханической системы «позвоночник–таз» при анатомическом укорочении конечности

В связи со смещением таза и перераспределением нагрузки в тазобедренных суставах и поясничном отделе позвоночника произойдет изменение статических сил реакции, что вызовет потребность в новой системе равновесия сил и моментов. В такой ситуации равновесие наступит только в случае удовлетворительной физической силы мышц спины на противоположной стороне, тогда ось позвоночника не будет отклоняться от средней линии тела, так как положение будет компенсироваться асимметрией сильных мышц туловища.

При небольшом укорочении и достаточной силе мышц спины, но недостаточности пассивных стабилизаторов в системе «позвоночник – таз» равновесие может быть нарушено. Это может произойти при дисплазии или усталостной контрактуре мышц с укорочением их длины, что часто можно наблюдать при сближении точек прикрепления ягодичных мышц из-за гипертрофии большого вертела. Под действием веса туловища ось поясничного отдела компенсаторно смещается с формированием выпуклости в противоположную укорочению сторону. Данное состояние требует больше энергозатрат для мышц, удерживающих правильное положение таза.

Однако чаще при недостаточной силе мышц выпуклость поясничного отдела происходит в сторону укорочения. Этот механизм требует меньше мышечных усилий для восстановления равновесия системы. Но при недостаточности как активных, так и пассивных стабилизаторов компенсаторный механизм может нарушиться, что приведет к прогрессированию деформации.

Также причиной неравенства длины может являться асимметрия шейечно-диафизарного угла бедренных костей – при вальгусной деформации происходит удлинение конечности, а при варусной, например, вследствие асептического некроза II типа по Kalamchi, укорочение, что еще больше перегружает пораженный сустав (Рисунок 7).

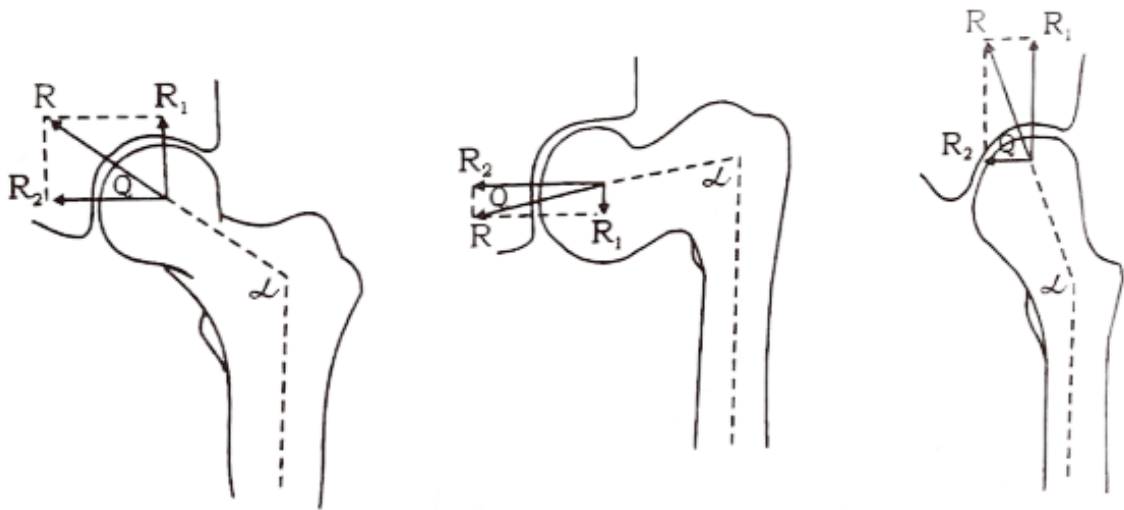


Рисунок 7 – Зависимость напряженного состояния на уровне суставных поверхностей от величины шейечно-диафизарного угла (по А. Г. Гиммельфарбу)

Понимание преобладающего компонента деформации тазобедренного сегмента и биомеханических особенностей неравенства длины нижних конечностей позволяет более тщательно подходить к выбору оперативного вмешательства.

1.3. Строение зоны роста

Формирование кости происходит путем интрамембранозного (плоские кости) и эндохондрального (длинные кости) окостенения. При интрамембранозном росте формирование кости происходит непосредственно из мезенхимы. При эндохондральном росте формирование кости происходит на хрящевом каркасе в пластинке роста [Oestreich A. E., Laor T.].

Первичные «дисковидные» и вторичные «сферические» пластинки роста находятся на концах длинных костей. Первичная ростковая пластинка отвечает за продольный рост кости. Вторичная пластинка, или акрофиз, отвечает за увеличение вторичного центра окостенения в хрящевом эпифизе и является единственным центром роста в более мелких костях, таких как апофизы, кости запястья и предплюсны, а также сесамовидные кости. Первичная пластинка роста является критическим компонентом незрелого скелета, так как нарушение строения или дисфункция этой структуры могут привести к деформации конечности (разница в длине конечностей, угловая деформацию и нарушение биомеханики сустава).

На 6-й неделе эмбрионального развития мезенхимальные клетки дифференцируются в хондроциты, которые отвечают за формирование хрящевой модели будущего скелета. В центральной части этого хрящевого зачатка (будущего диафиза) происходит гипертрофия хондроцитов, и матрикс начинает кальцифицироваться. На 7-й неделе формируется надкостничный «рукав». В конце 8-й недели сосудистая инвазия приносит мезенхимальные клетки, которые дифференцируются в остеобласты и остеокласты [Iannotti J. P.]. Остеобласты производят остеοидный матрикс на кальцифицированном матриксе для создания первичного центра окостенения, в то время как остеокласты отвечают за remodelирование кости и формирование костномозгового канала. По мере того, как первичный центр окостенения растет и расширяется к концам кости, его передние края становятся первичными пластинками роста [Brighton C. T., Rivas R., Shapiro F.].

В перинатальном периоде эпифиз обычно полностью хрящевой, состоящий из периферического аваскулярного суставного гиалинового хряща и центрального васкуляризированного неосифицированного эпифизарного гиалинового хряща. Питательные сосуды эпифиза возникают из периостальных сосудов, проходят в сосудистых каналах [Blumer M. J., Longato S., Fritsch H.]. Некоторые каналы проходят через пластинку роста в метафиз. Эти трансфизарные каналы исчезают к тому времени, когда ребенку исполняется 12–18 месяцев [Ogden J. A., Lister G.]. Кровоснабжение метафиза же происходит из комбинации центрально расположенных ветвей, которые берут начало от диафизарной питательной артерии и обеспечивают примерно 80% кровоснабжения, и периферически расположенных метафизарных сосудов, которые проникают в метафиз и обеспечивают примерно 20% кровоснабжения [Ecklund K., Jaramillo D.]. Эти сосуды образуют терминальные сосудистые петли и капиллярные пучки внутри губчатой ткани [Brighton C. T.]. Сама по

себе ростковая пластина является аваскулярной и зависит от кровоснабжения из прилегающего эпифиза и метафиза для поддержания пролиферации хондроцитов и обеспечения апоптоза.

Повреждение либо пластины роста (прямое), либо прилегающего эпифиза и метафиза (косвенное) может привести к дисфункции зоны роста. Наиболее распространенным механизмом повреждения является травма зоны роста. Менее распространенные механизмы включают сосудистую недостаточность, инфекцию, воспаление, облучение и опухоль. Данные повреждения в первую очередь влияют на эпифиз и метафиз и только косвенно затрагивают ростковую пластину [Brighton C. T.].

1.4. Изучение роста костной ткани

Первые научные попытки изучения роста костей и воздействия на этот процесс начались в 18-м веке, когда J. Belchier (1736) и Н. L. Duhamel (1742) последовательно провели эксперимент на животных, кормя их специальными красителями. В ходе работ, они отметили, что краситель откладывается преимущественно в растущих костях, в областях, где присутствует наибольшая активность остеобластов. Н. L. Duhamel также доказал, что кость растет путем интерстициального образования на концах длинных костей.

W. MacEwen в своей работе «The growth of bone» (1912) доказал, что рост кости происходит за счет диафизарной части, так как ростковая пластина принадлежит диафизу, а не эпифизу.

В 19-м веке J. M. Delpech описал методику консервативного лечения ребенка с варусной деформацией голеностопного сустава, в связи с нарушением распределения опоры в суставе. Для коррекции он использовал устройство, исключающее нагрузку на внутреннюю поверхность сустава. В ходе динамического наблюдения через 16 месяцев J. M. Delpech отметил восстановление формы голеностопного сустава, из чего сделал вывод, что «Усиление роста кости, связано с уменьшением давления на нее» [Grover J. P., Vanderby R, Leiferman E. M., Wilsman N. J., Noonan K. J.] В последующем данная теория получила название «Delpech phenomenon» или «Delpech law», и легла в основу другой важной работы докторов C. Hueter и R. V. Volkmann, которые сформулировали закон, гласящий что рост костной ткани, находящийся под большей нагрузкой, замедляется, а костная ткань, несущая меньшую нагрузку, имеет возможность более быстрого роста [Stokes I. A.].

1.5. Методики воздействия на зоны роста

Первую хирургическую операцию по целенаправленному воздействию на ростковые зоны выполнил D. B. Phemister в 1933 году. Его работа положила начало новой эпохе в изучении функ-

ций зон роста и методов управления ростом кости. Исходя из принципа, что рост в длину происходит за счёт метаэпифизарной зоны, Phemister предложил методику её разрушения для остановки роста. При неравенстве длины конечностей выполнялось полное разрушение ростковой пластины, а при угловых деформациях – частичное, с учётом локализации и величины деформации. Данная методика, получившая название «тотальный эпифизиодез», предусматривала открытый доступ к кости, резекцию прямоугольного блока костной ткани на границе метафиза и эпифиза и его реимплантацию с поворотом на 180°. Это приводило к формированию костного мостика, блокирующего дальнейший рост. К основным недостаткам метода относили его необратимость, выраженный болевой синдром, длительный восстановительный период с ограничением нагрузки на конечность, необходимость гипсовой иммобилизации, формирование обширных рубцов, а также риск развития вторичных угловых деформаций и экзостозов [Horton G. A., Olney B. W., Guille J. T., Yamazaki A., Bowen J. R., Westh R. N., Menelaus M. B., Stephens D. C., Herrick W., MacEwen G. D.].

В 1945–1948 годах S. L. Naas в экспериментах на животных установил важное свойство ростковых зон: их угнетение приводит к замедлению роста кости, а прекращение воздействия позволяет росту возобновиться. На основе этого принципа обратимости W. P. Blount и G. R. J. Clarke в 1949 году предложили принципиально новую методику – временный эпифизиодез (временное блокирование) зон роста. Вместо разрушения ростковой пластины они использовали установку жёстких металлических скоб выше и ниже неё для контролируемой фиксации. Этот подход впервые позволил ортопедам управлять ростом кости, так как фиксаторы можно было удалить в любой момент для возобновления роста. Малоинвазивность методики сокращала период реабилитации: пациенты раньше начинали опираться на конечность и быстрее восстанавливались [Blount W. P., Frantz C. H.]. Однако метод имел существенный недостаток – скобы со временем могли мигрировать, что нарушало коррекцию или повреждало ростковую зону, а также ломаться, требуя повторных оперативных вмешательств [Nouth F., Kuo L. A., Stevens P. M., Burghardt R. D., Herzenberg J. E., Standard S. C., Paley D.].

Параллельно с развитием методики временного блокирования продолжалось совершенствование методов тотального эпифизиодеза. В 1986 году J. W. Ogilvie провёл эксперимент на щенках, выполнив рассверливание зон роста большеберцовой кости. Через две недели было отмечено значимое замедление роста на оперированной стороне (1,5 мм против 5,9 мм на интактной конечности). Малоинвазивность метода и умеренный болевой синдром позволили автору предположить его перспективность для детской ортопедической практики. В том же году S. T. Canale воспроизвёл эксперимент на кроликах, а затем применил методику у 13 пациентов. Рентгенологически было подтверждено сращение ростковой пластины в зоне вмешательства. Автор отметил, что

полная остановка роста достигается только по завершении костного созревания [Canale S. T., Russell T. A., Holcomb R. L.]. По сравнению с классической методикой Phemister, метод рассверливания демонстрировал лучшие результаты: меньшую частоту спонтанных угловых деформаций, менее выраженный болевой синдром и более предсказуемый эффект [Canale S. T., Christian C. A., Raising L. W., Betz R. R., Clancy M., Ostrum R. F., Steel H. H].

Работы J. P. Métaizeau способствовали широкому внедрению метода тотального эпифизиодеза рассверливанием. В исследовании с участием 32 пациентов было показано замедление роста бедренного и большеберцового сегментов на 68% и 56% через 6 месяцев и на 89% и 95% – через 12 месяцев Métaizeau J. P., Wong-Chung J., Bertrand H., Pasquier P.]. Использование канюлированных инструментов упростило технику выполнения [Nouth F., Kuo L. A.], что, в сочетании с высокой эффективностью, обеспечило сохранение методики в арсенале детской ортопедии [Ramseier L. E., Sukthankar A., Exner G. U., Burger K., Farr S., Hahne J., Radler C., Ganger R.].

В 2006 году P. M. Stevens опубликовал работу, ознаменовавшую новый этап в развитии временного эпифизиодеза. Проанализировав опыт предшественников (D. B. Phemister, W. P. Blount, J. P. Métaizeau), он предложил усовершенствованную методику, основанную на использовании 8-образных пластин различного размера, фиксируемых винтами. Выбор размера пластины определялся возрастом пациента. Конструкция обеспечивала высокую механическую прочность (исключая поломки), а винтовая фиксация – стабильность, предотвращающую миграцию импланта. Благодаря своей надежности, предсказуемости и простоте выполнения данный метод стал наиболее популярным в практике детских ортопедов, демонстрируя отличные клинические результаты [Masquijo J. J., Artigas C., de Pablos J., Jain M. J., Inneh I. A., Zhu H., Phillips W. A., Кенис В. М., Клычкова И. Ю., Мельченко Е. В., Рыжов П. В., Пирогова Н. В., Шмельков А. В., Кузнецов А. С., Кожевников О. В., Кралина С. Э.].

1.6. Аспекты воздействия на зоны роста проксимального отдела бедренной кости

Работы D. B. Phemister сподвигли детских хирургов на эксперименты с другими зонами роста нижних конечностей. R. S. Siffert изучил анатомическое строение зон роста бедренной кости [эпифиза головки бедра, верхнего края шейки и большого вертела] и выявил, что изменения в функционировании любой из зон влияет на остальные. Понимание этих взаимосвязей позволяет прогнозировать развитие и прогрессирование деформаций бедра, а также избежать тяжелых оперативных вмешательств [Siffert R. S., Weinstein S. L., Mubarak S. J., Wenger D. R.; Поздникин И. Ю., Басков В. Е., Барсуков Д. Б., Бортулёв П. И., Краснов А. И.].

Преимущественно выделяют два вида деформаций, наиболее часто встречающихся при нарушении функционирования зон роста проксимального отдела бедренной кости.

Угловая деформация шейки бедренной кости

В 1980 году A. Kalamchi и G. D. MacEwen установили, что в последствии остеонекроза может возникнуть повреждение наружной (верхушечной) части зоны роста (головки) физиса бедренной кости, а это в свою очередь приведет к укорочению шейки и её вальгусной деформации, в то время как центральное повреждение никак не влияет на изменение шеечно-диафизарного угла. [Kalamchi A., MacEwen G. D.].

P. Campbell и S. D. Tarlow отметили, что закрытие латеральной части зоны роста эпифиза головки бедренной кости может происходить ятрогенно вследствие травматизации головки во время вправления вывиха или после периода иммобилизации в положении отведения конечности [Campbell P., Tarlow S. D., Rosenbaum D. G., Servaes S., Bogner E. A., Jaramillo D., Mintz D. N.], так как произойти повышение внутрикапсулярного давления, а также сдавление эпифизарных сосудов задним краем вертлужной впадины, что приводит к ишемии головки бедренной кости [Jaramillo D., Villegas-Medina O. L., Doty D. K., Dwek J. R., Ransil B. J., Mulkern R. V., Shapiro F., Keret D., MacEwen G. D.].

Длительное время попытки воздействия на зоны роста носили скорее экспериментальный характер, а выборка пациентов была достаточно маленькой для формирования какой-то определенной тактики [Bowen J. R., Johnson W. J., Brax P., Gille P.]. Для оптимизации методик работы с зонами роста шейки бедра исследования были продолжены в эксперименте на животных [Canale S. T., Russell T. A., Holcomb R. L.]. Эксперимент C. H. Chang и коллег [2006] на модели свиней подтвердил гипотезу о том, что трансэпифизарное введение винта в медиальную часть шейки бедра ведёт к варизации. Шеечно-диафизарный угол на оперированной стороне оказался меньше, чем на контроле ($132,8^\circ$ vs $141,41^\circ$). Авторы также указали на перспективу использования данного метода для коррекции торсионной деформации путём изменения направления винта [Chang C. H., Chi C. H., Lee Z. L.].

В 2010 году J. J. McCarthy с коллегами провели аналогичное исследование на ягнятах, сравнив две методики гемиепифизиодеза шейки бедра: с трансфизарным и метафизарным расположением винта. Контроль результатов осуществлялся с помощью КТ и гистологического анализа. Авторы подтвердили эффективность коррекции угловой деформации в группе с трансфизарным винтом (132° vs 143°), однако подняли вопрос о сохранении функции зон роста после удаления конструкции. Кроме того, в отличие от данных C. H. Chang, эти исследователи выразили сомнения в возможности коррекции торсионной деформации бедренной кости данным методом [McCarthy J. J. et al.; McCarthy J. J., Noonan K. J., Nemke B., Markel M.].

Несмотря на многочисленные исследования патогенеза вальгусной деформации и смещения эпифиза после асептического некроза, проблема ранней диагностики поражения ростковой зоны оставалась нерешённой. Медиальный гемиепифизиодез стал применяться специалистами

лишь при наличии рентгенологических признаков закрытия зоны роста и манифестации некроза, однако четкие критерии и сроки для проведения данной операции представлены не были [Oh S. W., Joo S. Y., Kumar S. J., Macewen G. D., Kim H. W., Morcuende J. A., Dolan L. A., Weinstein S. L.; Белецкий А. В., Соколовский О. А., Лихачевский Ю. В., Ковальчук О. В.].

Для стандартизации показаний к эпифизиодезу McGillion и Clarke (2011) ввели рентгенометрический показатель «Tilt angle» – угол между линией Хильгенрейнера и контуром эпифиза на переднезадней рентгенограмме. Его уменьшение (вплоть до параллелизма линий) служит маркером начального смещения головки бедра. Динамика угла позволяет оценивать результаты коррекции. Авторы, однако, подчеркнули, что этот двумерный критерий не учитывает трёхмерный характер деформации. Данные КТ показали, что локализация костного мостика в зоне роста и торсионный компонент (антеверсия) варьируют, что делает прогноз при медиальном эпифизиодезом менее определённым и требует углублённой диагностики [McGillion S., Clarke N. M.]. Учитывая положительные результаты коррекции вальгусной деформации при патологии тазобедренного сустава, ортопеды решили внедрить методику эпифизиодеза у пациентов с ДЦП, для которых вальгизация шейки бедренной кости является частым анатомическим изменением [Torode I. P., Young J. L., Agus H., Önvural B., Kazimoglu C., Reisoglu A., Kalenderer O.].

В 2016 году W. C. Lee и коллеги опубликовали результаты медиального эпифизиодеза у 13 пациентов. При наблюдении в сроки от 24 до 90 месяцев (в среднем 45,6) было зафиксировано прогрессирующее уменьшение шеечно-диафизарного угла: на $6,9^\circ$ через 3 месяца, на $10,6^\circ$ через год и на $16,1^\circ$ при максимальном сроке наблюдения до 5,8 лет (у 3 пациентов). Авторы отметили, что малый объём вмешательства и короткая госпитализация позволяют комбинировать эту методику с коррекцией мягких тканей. Было также предложено рассматривать данный подход даже у детей с IV–V степенью двигательных нарушений [Lee W. C. et al., 2016; Lee W. C., Kao H. K., Yang W. E., Ho P. C., Chang C. H.].

В 2019 году H. C. Hsieh и N. Portinaro в своих исследованиях подтвердили эффективность медиального эпифизиодеза у пациентов с ДЦП, отметив, что методика позволяет предотвратить прогрессирование подвывиха бедра и избежать обширных реконструктивных операций. Однако оба автора при динамическом наблюдении отметили миграцию винта из эпифиза у части пациентов, связанную с продолжающимся ростом кости. Это изменение требует тщательного динамического наблюдения и, при необходимости, своевременной замены винта на более длинный для поддержания достигнутой коррекции [Hsieh H. C. et al.; Portinaro N. et al.; Hsieh H. C., Wang T. M., Kuo K. N., Huang S. C., Wu K. W., Portinaro N., Turati M., Cometto M., Bigoni M., Davids J. R., Panou A.]. Данный вывод был также подтвержден работой A. M. Zakrzewski в 2022 году [Zakrzewski A. M., Carl J. R., McCarthy J. J.].

Несмотря на доказанную эффективность, прямое сравнение винтового эпифизиодеза с другими методами было впервые проведено лишь в 2016 году [d'Heurle A. et al.]. В эксперименте на ягнятах авторы сопоставили три методики гемиепифизиодеза медиальной зоны роста шейки бедра: винтовую, пластиной с винтами, и деструкцию зоны роста рассверливанием спицей Киршнера [McCarthy J. J. et al.; Stevens P., Davids J. R. et al.]. Наблюдение в течение $6,78 \pm 0,45$ месяцев показало достоверное уменьшение шеечно-диафизарного угла только в группе с винтовым эпифизиодезом (со $117 \pm 1^\circ$ до $100 \pm 5^\circ$). На основании результатов авторы заключили, что винтовой метод является наиболее адекватным для медиального эпифизиодеза. Меньшая скорость роста проксимального отдела бедренной кости, по их мнению, допускает более длительное оставление винта по сравнению с эпифизиодезом в области коленного сустава. При этом они подтвердили свой более ранний вывод о маловероятности коррекции торсионной деформации данным способом [McCarthy J. J. et al.].

Второй по распространенности деформацией при нарушении функции зон роста проксимального отдела бедренной кости является гипертрофия большого вертела.

В 1940 году E. L. Compere с коллегами впервые создали экспериментальную модель, блокировав изолированно зону роста большого вертела у козлят. Это привело к его укорочению и остановке роста, а также спровоцировало формирование деформаций проксимального отдела бедра по типу соха valga и соха plana. Авторы также отметили сопутствующее укорочение шейки бедренной кости, что, по их мнению, могло нарушать контур головки бедра и функцию тазобедренного сустава [Compere E. L., Garrison M., Fahey J. J.].

В 1959 году L. E. Laurent, развивая идеи E. L. Compere, провёл серию экспериментов на кроликах. Он подтвердил, что повреждение зоны роста большого вертела ведёт к формированию соха valga с удлинением шейки бедра. При этом было установлено, что повреждение ростковой зоны головки бедра, напротив, вызывает гипертрофию большого вертела. Это, в свою очередь, приводит к функциональной недостаточности средних ягодичных мышц, что подтвердило теорию Langenskiöld A. и Salenius P. о механизме возникновения положительного симптома Тренделенбурга и нарушении походки. На основании этих данных Laurent успешно применил эпифизиодез большого вертела для коррекции прогрессирующей соха vara у пациентов, добившись улучшения биомеханики ходьбы.

Для объективизации оценки результатов эпифизиодеза большого вертела W. Edgren [1960] предложил рентгенометрический показатель – articulo-trochanteric distance (ATD, артикуло-трохантерная дистанция). Сравнив группы пациентов без патологии и с деформацией соха plana, автор установил, что ATD всегда положительна в норме, а её снижение коррелирует с гипертрофией

большого вертела вследствие преждевременного закрытия эпифизарной пластинки головки бедренной кости. Также Edgren подтвердил, что снижение силы ягодичных мышц, описанное ранее Langenskiöld A. и Salenius P., развивается на более поздних стадиях данной деформации.

В 1980 году J. R. Gage и J. M. Cary внесли важное уточнение в технику эпифизиодеза большого вертела. Они отметили, что эта процедура не гарантирует полной остановки его роста из-за сохраняющегося потенциала апикальной (cephalic) его части. Для объективного контроля авторы предложили измерять динамику с помощью нового показателя – trochanter-to-trochanter distance (TTD), рассчитывая разницу между послеоперационными и интраоперационными значениями. Наиболее благоприятные результаты, по их данным, были достигнуты при выполнении вмешательства у детей до 5 лет – до появления рентгенологически различимого ядра оссификации в большом вертеле. При выраженной соха vara и значительной слабости ягодичных мышц авторы рекомендовали отдавать предпочтение корригирующей остеотомии [Gage J. R., Cary J. M.].

В своих исследованиях P. M. Stevens и S. S. Coleman расширили возрастные показания для эпифизиодеза большого вертела, рекомендуя его выполнение до 8 лет. Для детей старшего возраста они предложили альтернативные методики, основываясь на работах других авторов: транспозицию большого вертела, либо операции по удлинению шейки бедренной кости [Westin G. W. et al.; Lloyd-Roberts G. C. et al.; Macnicol M. F. et al.; Buess P. et al.; Mendes D. G., Schneidmueller D. et al.].

В 1989 году L. J. Iwersen с коллегами провели ретроспективный анализ, оценив развитие гипертрофии большого вертела как следствие асептического некроза после лечения врождённого вывиха бедра [Iwersen L. J., Kalen V., Eberle C.]. Авторы отметили, что эта деформация часто остаётся незамеченной, поскольку внимание хирургов сфокусировано на восстановлении конгруэнтности сустава, в то время как некроз с повреждением ростковой зоны может проявиться значительно позже. Было установлено, что у пациентов, пролеченных до 5 лет, риск патологического снижения ATD ниже, чем у детей старшего возраста. Соглашаясь с выводами P. M. Stevens и S. S. Coleman, Iwersen уточнил, что оптимальное время для эпифизиодеза может быть упущено из-за непредсказуемого роста хрящевой модели. Также отмечено, что снижение ATD на поражённой стороне оказывает влияние и на здоровый тазобедренный сустав, что, хотя и не столь значительно, требует дальнейшего наблюдения.

В 1996 году A. J. Matan с коллегами провели сравнительный анализ двух групп пациентов с болезнью Легга – Кальве – Пертеса [Matan A. J., Stevens P. M., Smith J. T., Santora S. D.]. В первой группе выполняли изолированную варизирующую остеотомию бедра, во второй её сочетали с профилактическим эпифизиодезом большого вертела. В послеоперационном периоде у пациентов второй группы было отмечено сохранение артикуло-трохантерной дистанции (ATD), больший объём движений, снижение болевого синдрома, удовлетворительная сила мышц-абдукторов и повышение повседневной активности. Таким образом, авторы подтвердили, что комбинированное

вмешательство обеспечивает более выраженный положительный клинико-функциональный результат по сравнению с изолированной остеотомией.

В 2008 году J. J. McCarthy и D. S. Weiner в своём исследовании подвергли критике использование исключительно артикуло-трохантерной дистанции (ATD) для оценки пациентов с болезнью Легга – Кальве – Пертеса, указав, что деформация эпифиза головки бедра при данной патологии может искажать результаты измерений [McCarthy J. J., Weiner D. S.]. Авторы также отметили отсутствие к тому времени альтернативных технических решений для эпифизиодеза зоны роста вертела. В исследование были включены 35 пациентов с односторонним поражением. У 30 из них был применён метод рассверливания зоны роста с последующей установкой винта, у 5 – костный трансплантат. Результаты показали, что в среднем рост большого вертела после вмешательства был меньше на 4,3 мм по сравнению со здоровой стороной, причём у 21 пациента отмечено полное закрытие ростковой зоны. В группе с костным трансплантатом торможение роста было более выраженным, однако малая выборка не позволила сделать статистически значимых выводов. Неожиданным результатом стала более высокая эффективность эпифизиодеза у пациентов старше 8 лет по сравнению с группой младше 6 лет, что противоречило данным J. R. Gage и J. M. Cary. Авторы связали этот факт с более интенсивным ростом в старшем возрасте и меньшими техническими сложностями при выполнении вмешательства.

В 2009 году H. Shah и соавторы подтвердили, что эпифизиодез большого вертела, выполненный в активной стадии болезни Легга – Кальве – Пертеса, снижает частоту его гипертрофии и улучшает показатели теста Тренделенбурга [Shah H., Siddesh N. D., Joseph B., Nair S. N.]. Однако, несмотря на общую положительную динамику у 62 пролеченных детей, авторы отметили недостаточную коррекцию у 30% пациентов. В качестве вероятных причин этого результата были предложены три фактора: недостаточная компрессия ростковой зоны винтом во время операции, сохранение потенциала роста шейки бедренной кости даже после хирургического нарушения целостности зоны роста вертела, а также технические погрешности при выполнении вмешательства, приведшие к неполной коррекции. Что касается возрастных ограничений, авторы также отметили положительные результаты (отрицательный тест Тренделенбурга) даже у пациентов в возрасте 10 лет, что согласуется с данными A. Van Tongel [Van Tongel A., Fabry G.].

Основываясь на данных A. Langenskiöld о частичном и не всегда контролируемом подавлении ростковой зоны при традиционном винтовом эпифизиодезе, P. M. Stevens с коллегами в 2014 году предложили новую методику «управляемого роста» с использованием 8-образной пластины [Stevens P. M., Anderson L. A., Gililand J. M., Novais E.]. Вместо перпендикулярной установки винта авторы фиксировали пластину параллельно ростковой зоне большого вертела. Такой подход, по их мнению, обеспечивает более физиологичное распределение сил, сохраняет потенциал роста шейки бедренной кости и минимизирует риск ятрогенных деформаций. Главной целью метода стало отсрочка или

предотвращение необходимости более масштабных вмешательств – транспозиции большого вертела или корригирующих остеотомий. На выборке из 12 пациентов в возрасте от 4 до 9 лет авторы отметили восстановление оптимальной длины и силы сухожилий отводящих мышц, улучшение объёма движений (внутренняя ротация и отведение), сохранение длины конечности и уменьшение хромоты. Наиболее благоприятные результаты были достигнуты в группе детей 5–8 лет. По итогам исследования был сделан вывод, что методика «управляемого роста» эффективно корригирует гипертрофию большого вертела, улучшает функцию абдукторов бедра и позволяет избежать вторичных деформаций проксимального отдела бедренной кости.

В 2017 году К. S. Kwon и коллеги, проанализировав литературу по эпифизиодезу большого вертела при болезни Легга – Кальве – Пертеса, выявили значительный пробел: ни в одном исследовании результаты не коррелировали с тяжестью течения заболевания. Используя модифицированную классификацию Stulberg, авторы предположили, что пациенты с типом поражения В и пограничным типом В/С имеют более благоприятный прогноз для этой операции по сравнению с типом С [Herring J. A., Kim H. T., Browne R., Kollitz K. M., Gee A. O., Kwon K. S. et al.]. Сравнение результатов у пациентов до и после 8 лет показало лучшие клинико-рентгенологические показатели в младшей возрастной группе. Также авторы отметили, что ключевым техническим фактором успеха является установка винта под углом 60–70° к малому вертелу с обязательным прохождением медиального кортикала.

В 2020 году специалисты института им. Г. И. Турнера, проанализировав отечественную литературу и не обнаружив в ней описания методики эпифизиодеза большого вертела, провели собственное исследование [Поздникин И. Ю., Басков В. Е., Барсуков Д. Б.]. Его целью было изучение динамики роста проксимального отдела бедренной кости после данной операции и определение её места в комплексном лечении детей с патологией тазобедренного сустава. В работе сравнивали два метода фиксации: традиционный [винт с шайбой] и с использованием 8-образной пластины с винтами. Было отмечено, что в послеоперационном периоде не наблюдали нарастания хромоты и симптома Тренделенбурга. Частичное синостозирование зоны роста происходило в сроки от 2 до 4 месяцев. Рентгенологическая оценка показала замедление роста большого вертела на 49,3%. Авторы пришли к выводу, что методика с винтом и шайбой является предпочтительной, так как позволяет достичь результата быстрее, чем при использовании пластины, где необходимо ожидание формирования динамического напряжения на винтах.

1.7. Неравенство длины нижних конечностей при патологии тазобедренного сустава

Неравенство длины нижних конечностей у пациентов с патологией тазобедренного сустава является частым компонентом клинической картины. Эта деформация носит вторичный характер, и её причины варьируют в зависимости от основного патологического процесса. Первостепенной

задачей ортопеда является восстановление конгруэнтности и стабильности тазобедренного сустава, что часто приводит к частичной коррекции разницы в длине ног. Однако в большинстве случаев остаточное неравенство сохраняется.

Многие специалисты считают, что остаточная разница в 1–2 см не имеет существенного клинического значения, поскольку главной целью является стабилизация сустава, а биомеханическая компенсация возможна за счёт наклона таза [Маркс В. О.; Kaufman K. R. et al.]. Этой точки зрения придерживаются и многие хирурги, полагая, что разница до 3 см не требует оперативной коррекции [Liu X. C. et al.]. В то же время ряд исследований указывает на негативное влияние даже меньшей разницы (менее 3 см) на биомеханику, способствующее развитию патологии ипсилатерального тазобедренного и коленного суставов, а также позвоночника [Tallroth K. et al.; Harvey W. F. et al., Murray K. J., Azari M. F.; Ершов Э. В.].

Таким образом, чёткие границы между «физиологической» и «патологической» разницей длины до сих пор не определены [Gordon J. E., Davis L. E.]. При этом для пациента именно это остаточное неравенство часто становится основной долгосрочной жалобой, сохраняющейся спустя годы после успешной хирургической стабилизации сустава.

Наиболее распространенной патологией тазобедренного сустава, приводящей к неравенству длины конечностей [НДК], является врожденный вывих бедра [Merchant R. M. et al.]. В основе деформации лежит краниальное смещение головки бедренной кости. Даже после успешного оперативного лечения, включающего стабилизацию сустава и корригирующую остеотомию, полное устранение укорочения не всегда достигается, и остаточная разница в длине может сохраняться [Kalamchi A., MacEwen G. D.; Porat S. et al.; Inan M. et al.].

В то же время ряд авторов отмечают противоположную динамику: в процессе роста ребенка в отдаленном послеоперационном периоде может наблюдаться постепенное удлинение оперированной конечности, вплоть до превышения длины контралатеральной [Zadeh H. G. et al.; Yoon C. et al.]. Это указывает на сложный и переменный характер роста проксимального отдела бедра после хирургической коррекции, что требует дальнейшего изучения и индивидуализированного прогноза.

При болезни Легга – Кальве – Пертеса укорочение конечности развивается вследствие деформации проксимального отдела бедренной кости, обусловленной нарушением её кровоснабжения [Кожевников О. В., Лысиков В. А., Иванов А. В.; Tolk J. J., Eastwood D. M., Hashemi-Nejad A., Park K. W., Jang K. S., Song H. R. Согласно данным литературы, величина укорочения может варьировать в широких пределах – от 1 мм до 7 см [Grzegorzewski A., Synder M., Kozłowski P, Szymczak W., Bowen R. J., Mirovsky Y., Axer A., Hendel D.]. При этом в доступных источниках отсутствуют указания на случаи удлинения поражённой конечности при данной патологии.

1.8. Механизм удлинения пораженной конечности

Удлинение конечности на стороне поражённого тазобедренного сустава после оперативного лечения ряд авторов объясняет, опираясь на закон Гютера – Фолькмана, согласно которому механическое сжатие замедляет рост костной ткани, а его уменьшение – ускоряет [Stokes I. A.]. Другая объяснительная модель связывает этот феномен с реакцией надкостницы. Исследования на животных моделях показали, что отслоение и продольное рассечение надкостницы (как при реконструктивных вмешательствах) приводит к увеличению длины конечности [Halanski M. A., Yildirim T., Chaudhary R., Chin M. S., Leiferman E., Bertram J. E., Polevoy Y., Cullinane D. M.]. Эти данные согласуются с наблюдениями, что травмы с обширным повреждением периоста сопровождаются увеличением скорости роста сегмента [Pang H., Guo R., Zhuang H., Ben Y., Lou Y., Zheng P.].

Кроме изучения механизма стимуляции роста кости, хирурги провели оценки влияния пола ребенка. D. A. Clement и C. L. Colton в конце 20-го века определили, что тенденция к удлинению конечности у мальчиков выше, чем у девочек. В более современной работе W. Y. Choi с коллегами подтвердили данную гипотезу проведя исследование, включающее большее количество пациентов [Choi W. Y., Park M. S., Lee K. M., Choi K. J., Jung H. S., Sung K. H.]. Некоторые авторы первостепенным фактором формирования неравенства длины нижних конечностей считает возраст, в котором проведено оперативное лечение на бедренном сегменте. При этом выявлено, что наиболее уязвимым возрастом оперативного вмешательства на бедренном сегменте, при котором происходит удлинение сегмента, является возраст 2–4 года [Yoon C., Shin C. H., Kim D. O., Park M. S., Yoo W. J., Chung C. Y., Choi I. H., Cho T. J.].

Ряд авторов считают первостепенным фактором формирования неравенства длины нижних конечностей возраст, в котором проведено хирургическое вмешательство на бедренном сегменте. Было установлено, что наиболее уязвимым периодом, в течение которого операция может привести к удлинению сегмента, является возраст 2–4 года [Yoon C., Shin C. H., Kim D. O., Park M. S., Yoo W. J., Chung C. Y., Choi I. H., Cho T. J.].

1.9. Резюме

По итогам анализа научной литературы можно отметить, что методика управления зона роста активно применяется для коррекции деформаций нижних конечностей. Однако, несмотря на длительную историю развития, изучения и применения методики блокирования зон роста медиальной части физиса головки бедра и большого вертела, до сих пор нет единого мнения по поводу сроков выполнения оперативного вмешательства, выбора вида металлофиксатора (применение винта, 8-образной пластины, кортикальной пластины), а также нет четких данных об отдаленных

результатах вмешательств в связи с кратким сроком наблюдения пациентов в послеоперационном периоде [Lykissas M. G., Jain V. V., Manickam V., Nathan S., Eismann E. A., McCarthy J. J.].

Приобретенные деформации нижних конечностей после оперативного вмешательства большинством авторов оцениваются как самостоятельные, что упрощает подход к их коррекции. Попытки предположить вероятность развития таких деформаций или заблаговременно начать их коррекцию в литературе освещены незначительно. Отсутствие четких алгоритмов выбора тактики коррекции также затрудняет решение данного вопроса.

Недостаточность сведений на поставленные вопросы являются поводом для продолжения научных исследований в данном направлении.

Глава 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1. Планирование исследования

Для оценки частоты формирования вторичных деформаций нижних конечностей, у пациентов после оперативных вмешательств на тазобедренном суставе нами проведен анализ 570 историй болезни пациентов за период с 2018 года по 2023 год со следующей патологией: дисплазия тазобедренных суставов, врожденный вывих бедра, асептический некроз головки бедренной кости, болезнь Легга – Кальве – Пертеса. По итогам оценки документации отобрано 76 историй болезни пациентов, у которых выявлены вторичные деформации нижних конечностей. Таким образом, настоящее исследование основано на результатах обследования и лечения 76 пациентов (99 конечностей) в возрасте от 4 до 16 лет, которые проходили хирургическое лечение по поводу патологии тазобедренного сустава или наблюдавшихся в условиях детского травматолого-ортопедического отделения № 10 ФГБУ НМИЦ ТО им. Н. Н. Приорова. Весь клинический материал был разделен на четыре группы по типу вторичной деформации нижней конечности.

Группа 1 – 56 пациентов с неравенством длины нижних конечностей. Критерии включения в группу:

- проведенное оперативное лечение на тазобедренном суставе;
- выявленное неравенство длины нижних конечностей более 1 см;
- наличие данных компьютерной томограммы или постуральных рентгенограмм с измерением длины нижних конечностей.

Критерии исключения:

- коррекция вторичных деформаций нижних конечностей любой другой хирургической техникой, помимо эпифизиодеза;
- неравенство длины более 4 см;
- отсутствие качественных рентгенограмм тазобедренного сустава и данных компьютерной томограммы с измерением длины нижних конечностей.

Группа 2 – 9 пациентов с гипертрофией большого вертела. Критерии включения в группу:

- проведенное оперативное лечение на тазобедренном суставе;
- выявленная патология большого вертела (уменьшение артикуло-трохантерной дистанции);
- наличие качественных рентгенограмм тазобедренного сустава.

Критерии исключения:

- отсутствие качественных рентгенограмм тазобедренного сустава и данных компьютерной томограммы с измерением длины нижних конечностей.

Группа 3 – 6 пациентов с нарушением функционирования зоны роста шейки бедренной кости. Критерии включения в группу:

- проведенное оперативное лечение на тазобедренном суставе;
- наличие нарушения функционирования зоны роста шейки бедренной кости;
- наличие качественных рентгенограмм тазобедренного сустава и данных компьютерной томограммы с реконструкцией тазобедренных суставов.

Критерии исключения:

- коррекция вторичных деформаций нижних конечностей любой другой хирургической техникой, помимо эпифизиодеза;
- отсутствие качественных рентгенограмм тазобедренного сустава и данных компьютерной томограммы с реконструкцией тазобедренных суставов.

Группа 4 – 5 пациентов с нарушением оси нижних конечностей. Критерии включения в группу:

- проведенное оперативное лечение на тазобедренном суставе;
- выявленное нарушение оси нижних конечностей на уровне коленных суставов;
- наличие данных компьютерной томограммы или постуральных рентгенограмм с определением оси нижних конечностей.

Критерии исключения:

- угол отклонения оси в коленном суставе менее 7 градусов и более 30 градусов;
- отсутствие данных компьютерной томограммы или постуральных рентгенограмм с определением оси нижних конечностей.

Для оценки биомеханических показателей при патологии неравенства длины нижних конечностей была набрана контрольная группа пациентов, состоящая из 14 детей с одинаковой длиной ног.

Критерии включения в группу:

- одинаковая длина нижних конечностей;
- отсутствие нарушения оси нижних конечностей на уровне коленных суставов;
- проведенное биомеханическое исследование.

Критерии исключения:

- любые другие патологии тазобедренных суставов или аномалии развития нижних конечностей;
- не проведенное биомеханическое исследование.

Настоящее исследование состояло из 2 взаимосвязанных частей. Первая часть состояла из анализа данных историй болезни и амбулаторных карт пациентов, а также данных рентгенологических обследований. Оценивали: клинические проявления вторичных деформаций нижних конечностей, функциональные нарушения, вызванные деформацией проксимального отдела бедренной кости и неравенством длины нижних конечностей, биомеханическое исследование. Схема выполнения первой части представлена на Рисунке 2.1.

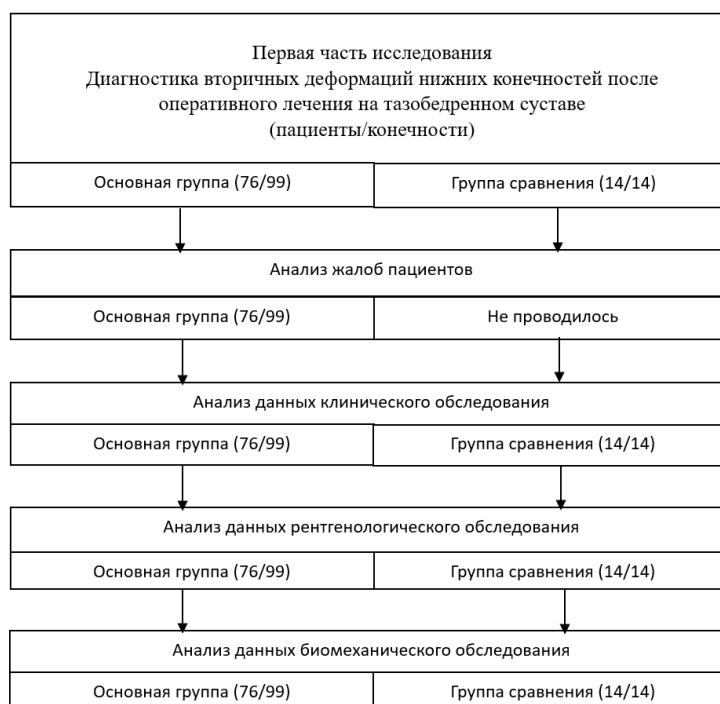


Рисунок 2.1 – Схема выполнения первой части исследования

Вторая часть исследования включала анализ результатов хирургического лечения пациентов со вторичными деформациями нижних конечностей и оценку его эффективности, частоту осложнений и их возможные причины. Для оценки результатов хирургического лечения пациентов проведен анализ клинических и рентгенологических данных, характеризующих выраженность деформаций нижних конечностей до и после хирургического вмешательства. Схема выполнения второй части представлена на Рисунке 2.2.

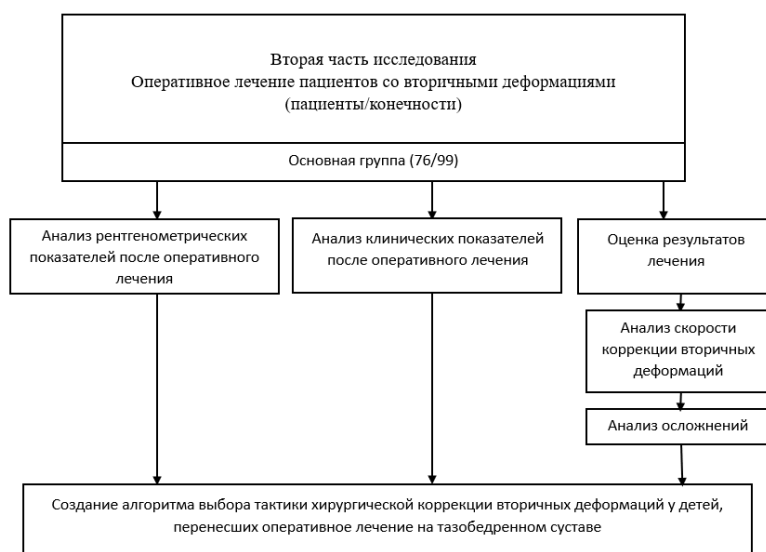


Рисунок 2.2 – Схема выполнения второй части исследования

2.2. Общая характеристика клинического материала

Работа основана на анализе результатов обследования и лечения 76 детей (99 конечностей) со вторичными деформациями нижних конечностей, у которых в динамике развилось неравенство длины нижних конечностей, деформация шейки бедренной кости, гипертрофия большого вертела и нарушение оси конечностей на уровне коленного сустава. Распределение пациентов по нозологиям, приведшим к формированию вторичной деформации нижних конечностей, представлено в Таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Распределение пациентов по нозологиям

Диагноз	Количество (пациенты/конечности)
Дисплазия тазобедренных суставов	49/68
Патологический вывих бедра	5/8
Болезнь Легга – Кальве – Пертеса	12/12
Асептический некроз головки бедренной кости	10/11

Мальчиков было 22 (28,9%), девочек – 54 (71,1%). Из общего количества пациентов 6 детей (6,6%) имели деформацию шейки бедренной кости, у 9 детей (11,8%) выявлена гипертрофия большого вертела, у 56 детей (73,9%) – неравенство длины нижних конечностей, у 5 пациентов (7,9%) – нарушение оси на уровне коленного сустава. Возраст пациентов составил от 3 до 16 лет. Средний возраст пациентов – $9.6 \pm 2,8$ лет. Характеристика пациентов представлена в Таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Характеристика пациентов

Пациенты	Вид вторичной деформации			
	Неравенство длины	Деформация шейки	Деформация большого вертела	Вальгусная деформация
Количество пациентов	56	6	9	5
Средний возраст пациентов	$9,6 \pm 2,7$	$7 \pm 2,5$	$11,3 \pm 2,9$	$9 \pm 3,3$
Соотношение пола (мальчики/девочки)	16/40	2/4	2/7	1/4

Для коррекции вторичных деформаций нижних конечностей пациентам проводили малоинвазивное хирургическое лечение – временный эпифизиодез зон роста проксимального отдела бедренной кости с помощью винтов и временный эпифизиодез зон роста в проекции коленного сустава (дистального метаэпифиза бедренной кости и/или проксимального метаэпифиза большеберцовой кости) с помощью титановых 8-образных пластин. Через 3 месяца проводили первичный осмотр пациента после оперативного лечения, далее клинические наблюдения проводили раз

в 6 месяцев. Панорамные рентгенограммы нижних конечностей в прямой проекции выполняли 1 раз в 6 месяцев.

2.3. Методы исследования

2.3.1. Сбор анамнеза

При сборе анамнеза выясняли возраст пациента, жалобы пациентов и их родителей, время выявления патологии тазобедренного сустава, проведенное лечение, время выявления вторичной деформации, динамику развития. Учитывали характер и объем предшествующего лечения, а также выраженность вторичной деформации. Кроме этого, выясняли семейный анамнез в отношении наличия аналогичных деформаций нижних конечностей.

Учитывая, что вторичные деформации нижних конечностей могут сформироваться после лечения патологии тазобедренного сустава анамнестические данные являются важным фактором, требующим анализа и оценки.

Одним из важных пунктов сбора анамнеза является проведение консервативного лечения или его отсутствия. При положительной динамике консервативных мероприятий достигается стабилизация состояния тазобедренных суставов с тенденцией к положительному исходу, однако при нарушении тактики – при неоднократном травматичном закрытом вправлении головки бедренной кости во впадину, неправильной фиксации в ортезах или гипсовых повязках, позднее начало консервативного лечения или неправильно выбранная методика – все это может привести к деформации головки бедренной кости с появлением асептического некроза головки бедренной кости, что в дальнейшем может привести к дисконгруэнтности тазобедренного сустава, деформации проксимального отдела бедренной кости, укорочению конечности.

При сборе анамнеза – 56 детей (73,68%) получали консервативное лечение по поводу патологии тазобедренных суставов, в то время как у 20 детей (26,32%) консервативных мероприятий не проводилось. 48 детей с дисплазией тазобедренных суставов получали лечение в возрасте $4,7 \pm 5,1$ месяцев, 8 детей получали лечение по поводу асептического некроза головки бедренной кости в возрасте $7,4 \pm 2,9$ лет.

При оценке проведенного ранее оперативного лечения оценивался объем оперативного вмешательства – закрытое или открытое вправление головки бедренной кости, оперативное лечение на проксимальном отделе бедренной кости, оперативное лечение на костях таза. Также 2-е пациентов перенесли изолированное оперативное вмешательство на костях таза. Данные представлены в Таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Объем ранее проведенного оперативного лечения

	Вправление головки бедренной кости			Оперативное лечение на проксимальном отделе бедренной кости	Оперативное лечение на бедре и на костях таза
	Закрытое	Открытое	Закрытое+открытое		
Количество пациентов (n)	3	14	4	66	24

Был проведен анализ количества пораженных и оперированных сегментов для оценки возникшего неравенства длины нижних конечностей (Таблица 2.4).

Таблица 2.4 – Объем проведенного оперативного лечения по сегментам

Оперированный сегмент	Количество пациентов, оперированных на сегменте (n)	
	Бедро	Таз
Слева	23	8
Справа	25	15
Слева + справа	28	4

Как видно из данных Таблицы 2.4 распределение патологии по стороне поражения проксимального отдела бедра практически одинаково. При оценке оперативного лечения костей таза – поражение правого сустава более выражено.

Распределение пациентов по полу и оперированной конечности представлено в Таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Распределение оперированных конечностей в зависимости от пола пациентов

Пол	Оперированный сегмент					
	Бедро			Таз		
	Слева	Справа	Оба	Слева	Справа	Оба
Мальчики	7	8	3	3	1	1
Девочки	14	15	12	5	14	4

Как видно из результатов Таблицы 2.5, девочки чаще проходили оперативное лечение, что отмечают и другие авторы по данным литературы.

При оценке сопутствующих патологий – 6 пациентов (7,89%) имели патологии остальных систем организма (дыхательная, сердечно-сосудистая). 1 пациент – гемипарез, 2 пациента – детский церебральный паралич, 3 пациента – малые аномалии развития сердца, дополнительная хорда левого желудочка.

2.3.2. Оценка жалоб и анкетирование

Согласно жалобам родителей и пациентов, к нарушениям походки относили хромоту, неустойчивую походку, ограничение длительной статической или двигательной нагрузки. При оценке жалоб относительно тазобедренного сустава – основные жалобы связаны со слабостью мышц, окружающих сустав, периодическим болевым синдромом в области суставов, а также ограничением движений в суставе – преимущественно отведения и сгибания. Полученные данные представлены в Таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Жалобы пациентов в зависимости от вторичной деформации нижних конечностей

Пациенты (76)	Жалобы			
	Нарушение походки	Болевой синдром	Ограничение нагрузки	Ограничение движений
Неравенство длины (56)	26 (46,4%)	14 (25%)	27 (48,2%)	0 (0%)
Деформация большого вертела (9)	7 (77,8%)	4 (44,4%)	5 (55,5)	4 (44,4%)
Деформация шейки бедренной кости (5)	2 (40%)	1 (20%)	1 (20%)	0 (0%)
Вальгусная деформация (6)	6 (100%)	1 (16,7%)	2 (33,3%)	2 (33,3%)

К жалобам на боль относился болевой синдром любой локализация в пределах нижних конечностей, как по субъективному ощущению ребенка, так и по мнению его родителей. Преимущественная локализация болевого синдрома была в области коленного сустава на более короткой конечности и тазобедренного сустава на более длинной конечности. Также при пальпационном обследовании суставов и мышц отмечался болевой синдром в области большого вертела и в проекции начала ягодичных мышц.

При общении с родителями относительно жалоб на деформацию нижних конечностей лидирующее место занимает неравенство длины нижних конечностей. В нашей клинической практике это достаточная частая жалоба, зачастую волнующая родителей больше, чем самих пациентов. При проведении одноэтапного или двухэтапного оперативного лечения на тазобедренных суставах разновеликость нижних конечностей даже в пределах одного сантиметра вызывает беспокойство у родителей, и попытки поиска методов решения этой вторичной деформации.

Для уточнения жалоб, обусловленных неравенством длины у пациентов и их родителей, было проведено анкетирование при помощи адаптированного на русский язык опросника опросник качества жизни детей GOAL-LD, представленного Dermott J. A. Данный опросник основан на версии опросника GOAL для пациентов с диагнозом ДЦП, и представляет его модифицированную версию. В 2021 сотрудники НМИЦ им Г. И. Турнера – Кенис В. М. и Петрова Д. А. – получили лицензионное соглашение на перевод и культурную апробацию данного опросника на

русский язык, что упростило его использование у пациентов и их родителей. Данный опросник рассчитан на пациентов в возрасте от 9 до 18 лет, и имеет две версии – для ребенка и его родителя (родственника/опекуна/законного представителя). Опросник включает в себя 6 основных разделов, в каждом из которых пациент выбирает подходящий для себя вариант, отвечающий насколько ему удастся выполнять определенное действие, необходимость использования дополнительных приспособлений, а также оценку реабилитационного потенциала и насколько важно после лечения улучшить выполнение данного действия.

Анкетирование прошли 30 детей в возрасте от 9 лет до 17, а также по одному из родителей каждого пациента. Опросник включает в себя 6 основных разделов, в каждом из которых пациент выбирает подходящий для себя вариант, отвечающий насколько ему удастся выполнять определенное действие, необходимость использования дополнительных приспособлений, а также оценку реабилитационного потенциала и насколько важно после лечения улучшить выполнение данного действия.

Также в опроснике существует дополнительный раздел, где пациенты могли вписать то, что на их личный взгляд не было учтено в основной части. Родителю пациента задаются аналогичные вопросы для сравнения с ответами ребенка. При подсчете баллов предполагает, что чем больше баллов выставлено за данный пункт, тем лучше пациент справляется с действием. Данные проанализированных анкет представлены в Таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Результаты опроса пациентов с неравенством длины нижних конечностей и их родителей

Раздел опросника	Средние баллы ответов детей (n = 37)	Средние баллы ответов родителей (n = 37)
	М (95%-й ДИ)	М (95%-й ДИ)
A. Ходьба и перемещение (max 100)	92,4 (85,1; 98,9)	87,6 (80,3; 94,2)
B. Боль, дискомфорт, усталость (max 100)	95,8 (90,2; 99,1)	86,3 (78,5; 92,7)
C. Физическая активность, игры и отдых (max 100)	96,2 (89,5; 100)	82,4 (75,8; 88,9)
D. Внешний вид походки (max 100)	88,7 (80,3; 95,2)	70,5 (60,8; 79,1)
E. Использование вспомогательных приспособлений в обычной жизни (max 100)	28,9 (20,1; 42,3)	35,6 (26,4; 48,9)
F. Внешний вид и само оценка (max 100)	65,2 (50,4; 85,7)	68,9 (50,2; 87,3)

Как видно из Таблицы 2.7, результаты анкетирования демонстрируют существенные различия в восприятии состояния между детьми и их родителями. Родители систематически оценивают функциональные возможности детей строже, что особенно заметно в таких разделах, как:

1. Ходьба и физическая активность. Средние баллы родителей оказались ниже на 4.8 и 13.8 пунктов соответственно. Это свидетельствует, что взрослые чаще замечают ограничения в подвижности, которые сами дети могут не воспринимать как значительные.

2. Болевой синдром. Разница в 9,5 баллов подтверждает, что дети адаптируются к дискомфорту, тогда как родители фиксируют даже минимальные проявления боли.

Наибольшую озабоченность у обеих групп вызывают:

– **внешний вид походки** (самые низкие показатели среди объективных критериев – 88,7 у детей и 70,5 у родителей);

– **необходимость вспомогательных устройств** (крайне низкие баллы: 28,9 у детей, 35,6 у родителей).

Несмотря на рекомендации врачей:

– 64% пациентов (19 из 30) сознательно отказались от использования стелек/набоек;
– основные причины связаны с неудобством постоянного ношения стелек и перемещения их в разные виды обуви, а также с эстетическим восприятием набойки на обувь.

При анализе результатов опроса мы также можем выявить различие приоритетов лечения. Так у детей основным ожиданием является улучшение внешнего вида (83% ответов) и возможность носить модную обувь, в то время как у их родителей ожидания от проведенного лечения направлены на профилактику сколиоза (67%), улучшение повседневной функциональности.

Клинические выводы на основе результатов опросника:

1. Опросник выявил скрытые психосоциальные аспекты неравенства длины нижних конечностей, которые при стандартном осмотре часто остаются незамеченными.

2. Полученные данные подтверждают необходимость:

- пациентам требуется более эстетичная компенсация неравенства длины;
- целесообразность обсуждения с родителями пациентов как объективно оценивать возможности детей.

3. Разница в результатах опроса в 15–20 баллов показывает необходимость заполнения опросника как ребенком, так и его родителей, для постановки адекватных целей хирургического вмешательства.

Проведенный анализ демонстрирует, как правильное использование опросника позволяет более качественно подойти к вопросу оценки качества жизни ребенка при планировании лечения или выборе тактики консервативного ведения.

2.3.3. Клиническое исследование

Объективное клиническое исследование пациентов производили по общепринятой методике обследования ортопедического больного (Маркс В. О., 1978). Во время клинического осмотра оценивали статическое положение ребенка, симметрию расположения основных анатомических ориентиров – уровень надплечий, углов лопаток, изменение треугольников талии, положение крыльев таза и ямочек в области ромба Михаэлиса. Оценивали походку с наличием или отсутствием хромоты. Также определяли антропометрические показатели каждого пациента: рост, вес, высчитывали индекс массы тела.

У пациентов с вторичной деформацией на уровне проксимального отдела бедра проводили оценку объема движений в тазобедренных суставах – определяли амплитуды сгибания, ротационных движений и отведения. Проводили оценку выполнения Теста Тренделенбурга. Тест проводили на протяжении 30 секунд на каждой конечности. Положительным тестом считается слабость ягодичных мышц и невозможность удерживать таз с самого начала теста. Слабоположительным тест признавали, если пациент мог удерживать таз выше средней линии или горизонтально, но не мог выполнить тест полностью на протяжении 30 секунд. Тест считается отрицательным, если пациент мог продержаться в правильном положении на протяжении 30 секунд. Также оценку положения таза проводили во время ходьбы: компенсация положения таза во время фазы опоры на пораженную ногу осуществляется за счет бокового наклона туловища в ту же сторону. Методика проведения теста представлена на Рисунке 2.3.

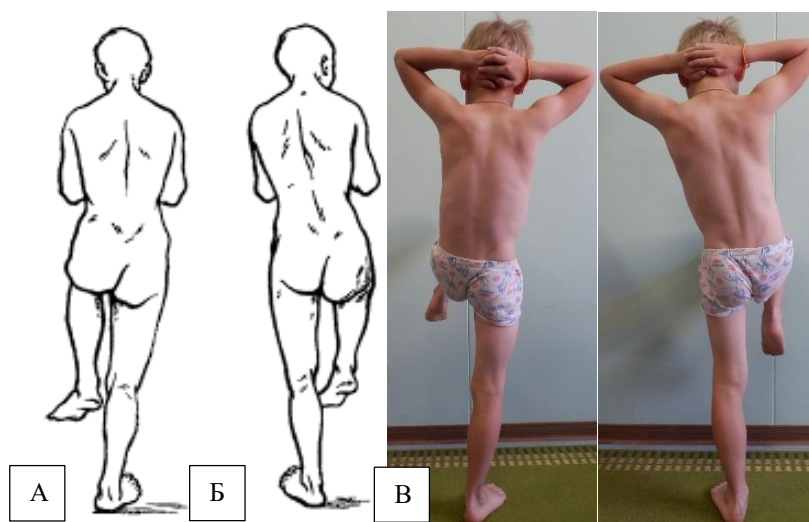


Рисунок 2.3 – Тест Тренделенбурга (Trendelenburg): **а** – правосторонний отрицательный симптом при опоре на здоровую ногу (левая ягодица приподнята, межъягодичная борозда наклонена в сторону опорной ноги правой); **б** – левосторонний положительный симптом (правая ягодица ниже левой, межъягодичная борозда наклонена вправо, в сторону здоровой ноги); **в** – клинический пример проведения теста Тренделенбурга у пациента

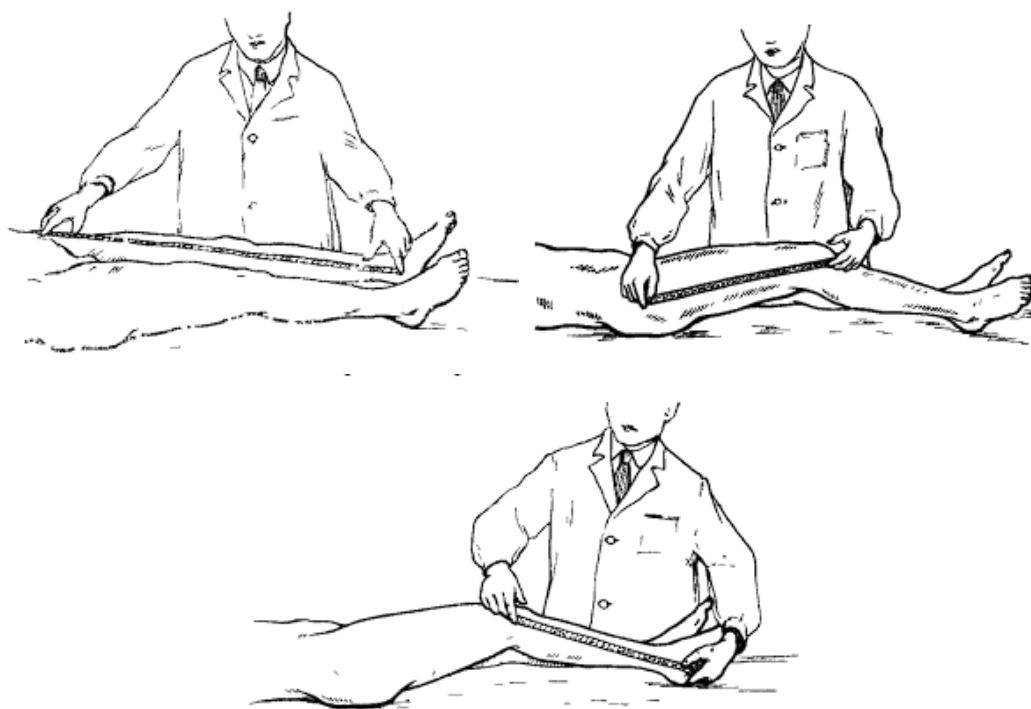
Полученные данные представлены в Таблице 2.8.

Таблица 2.8 – Результаты теста Тренделенбурга в зависимости от вторичной деформации

Пациенты (76)	Тест Тренделенбурга (пациенты/%)		
	Положительный	Слабоположительный	Отрицательный
Неравенство длины (56)	17 (30,4%)	21 (37,5%)	18 (32,1%)
Деформация большого вертела (9)	4 (44,4%)	5 (55,6%)	—
Деформация шейки бедренной кости (5)	1 (20%)	3 (60%)	1 (20%)
Вальгусная деформация (6)	—	4 (66,7%)	2 (33,3%)

При проведении анализа зависимости результатов теста Тренделенбурга от вторичной патологии с использованием χ^2 Пирсона статистически значимых результатов не найдено.

При проведении объективного клинического обследования у пациентов с неравенством длины нижних конечностей использовали общепринятые методики оценки длин сегментов и длины нижних конечностей. Измерение длины нижней конечности проводили сантиметровой лентой по методике от верхней передней подвздошной ости до медиальной лодыжки. Также по методике Маркса проводили измерения длин сегментов: для бедра от большого вертела до суставной щели коленного сустава по наружной поверхности бедра; и для голени от суставной щели коленного сустава до наружной лодыжки также по наружной поверхности. Схемы измерений представлены на Рисунке 2.4.

**Рисунок 2.4** – Схема измерения длины нижних конечностей с помощью сантиметровой ленты

Полученные данные представлены в Таблице 2.9.

Таблица 2.9 – Результаты неравенства длины нижних конечностей по сегментам при измерении сантиметровой лентой

Сегмент	Количество пациентов (n)	Неравенство, см (Me[Q1 –Q3])
Бедро	42	1,7 [1,4–2,1]
Голень	2	0,7
Бедро и голень	13	2,0 [1,5–2,5]

Как видно из Таблицы 2.9, 41 пациент (73,21%) из 56 имели неравенство длины нижних конечностей только за счет бедра, всего 2 пациента (3,57%) за счет только сегмента голени, и 13 пациентов (23,2%) за счет обоих сегментов. Данные по разнице в зависимости от возрастной группы представлены в Таблице 2.10.

Таблица 2.10 – Значения длин нижних конечностей по сегментам и общая длина при измерении сантиметровой лентой

Возрастная подгруппа (n = количество пациентов)	Разница в длине (мм)					
	Бедро		Голень		Бедро и голень	
	Me	Q1–Q3	Me	Q1–Q3	Me	Q1–Q3
4–7 лет (n = 11)	17	15–20	7	2,25–13,5	20	15–27
8–11 лет (n = 26)	15	13–22	3	2–5,5	20	13–24
12–16 лет (n = 19)	20	15–25,5	7,5	2,5–13,0	21	15–27,5
Примечание – n – количество пациентов, Me – медиана, Q1 – Q3 – квартили						

Применяемая методика измерений длин конечностей сантиметровой лентой имеет ряд ограничений: так как методика является специалист-зависимой, это приводит к высокой погрешности самих измерений (по данным литературы разброс получаемых измерений составляет до 2 сантиметров). При измерении сантиметровой лентой сложно измерить абсолютное неравенство вплоть до миллиметра, что повышает тенденцию к округлениям полученных значений. Наличие осевых деформаций только одной конечности также не отражает истинную картину неравенства длины. Проведенное ранее оперативное лечение с вовлечением костей таза затрудняет клиническое измерение длины, так как один из анатомических ориентиров измерения смещен относительно другого, если речь идет при односторонней патологии. Также, согласно данным других авторов, отмечаются ограничения проведения точного измерения длины сегмента в силу разного объема измеряемых конечностей (при гемигипоплазии или гемигипертрофии).

В дополнении проводили клиническую оценку неравенства длины нижних конечностей методикой подставных блоков. Схема представлена на Рисунке 2.5.

Оценка симметрии расположения анатомических ориентиров также не является универсальным способом оценки неравенства длины, так как асимметрия ориентиров может быть связана не столько с разной длиной, сколько с разным мышечным тонусом, например, подъем одного из надплечий в связи с повышенным тонусом верхней трапецевидной мышцы. Патологии развития пояса верхних конечностей также могут вносить изменения в клиническую картину (Болезнь Шпренгеля, Парез Дюшена – Эрба). Асимметричное расположение подкожно-жировой клетчатки также может создавать визуальный эффект асимметрии. По нашей оценке, клинически значимым является положение таза при неравенстве длины нижних конечностей и линий подколенных ямок. В данном случае метод подставных блоков показывает положительные результаты, восстанавливая положение указанных ориентиров.

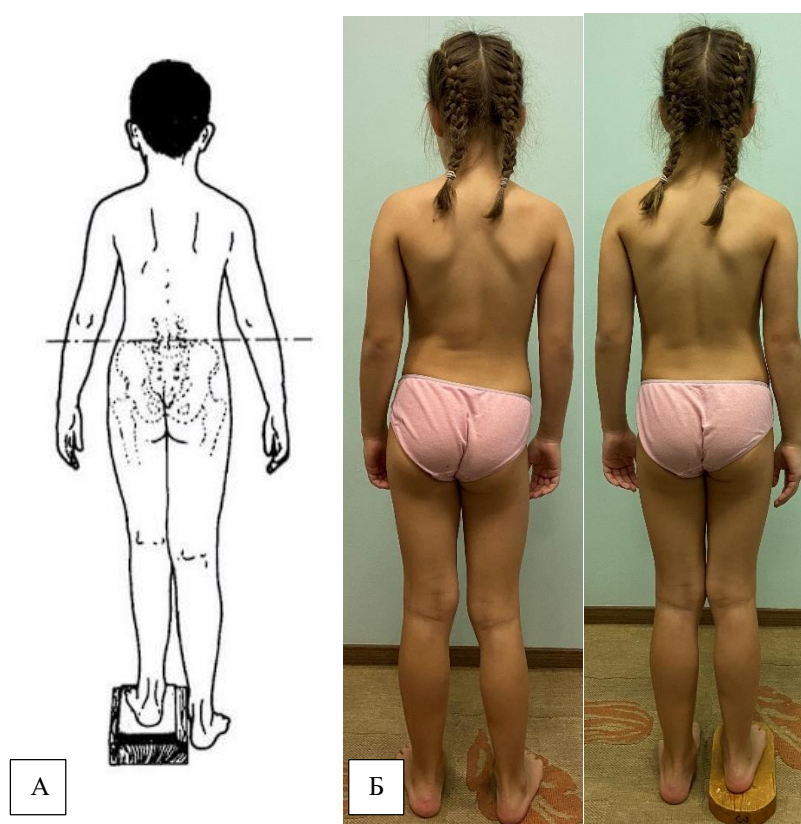


Рисунок 2.5 – А – измерение неравенства длины нижних конечностей методикой подставных блоков. Б – клинический пример использования методики у пациента

По итогам анализа результатов клинического обследования было выявлено, разновеликость нижних конечностей у пациентов, перенесших оперативное лечение на тазобедренном суставе, обусловлена преимущественно изменением длины бедра в большую или меньшую сторону. Пациенты, у которых неравенство длины обусловлено только укорочением сегмента голени, встречаются крайне редко, чаще всего это происходит при травматизации данного сегмента. Неравенство длины за счет обоих сегментов нижней конечности можно объяснить системным диспластическим процессом, влияющим на правильное развитие бедра и голени.

2.3.4. Функциональные нарушения, вызванные неравенством длины

К функциональным нарушениям, вызывающих наибольший интерес, относится перекос таза во фронтальной плоскости. Изменения положение таза, по мнению ряда авторов, приводит к формированию вторичного сколиоза. Также существует мнение, что положение таза – это строго рентгенографический показатель, не представляющий реальную клиническую картину, так как ребенок не проводит длительное время в бипедальной позе с опорой на обе стопы и равномерным распределением нагрузки между ними. Для оценки функциональных и анатомических нарушений, вызванных неравенством длины у детей, измеряли перекос таза во фронтальной плоскости на панорамных рентгенограммах в переднезадней проекции без компенсации неравенства длины (Pendelton С., 2013). Схема измерений представлена на Рисунке 2.6.

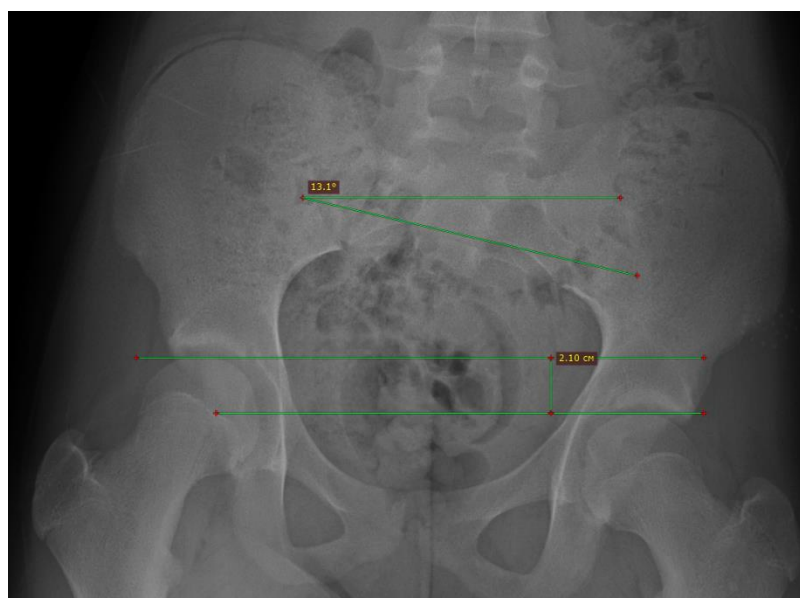


Рисунок 2.6 – Схема измерения угла наклона таза во фронтальной плоскости, оценка разницы положения головок бедренных костей

Для оценки перекоса таза во фронтальной плоскости проводили измерение угла наклона таза на постуральных рентгенограммах в переднезадней проекции (без компенсации длины) и разницы в положении головок бедренных костей. Данные измерений представлены в Таблице 2.11.

Таблица 2.11 – Оценка функциональных нарушений в статическом положении

Пациенты	Угол наклона таза во фронтальной плоскости (градус)		Разница в положении головок бедренных костей (мм)	
	М ± SD	95%-й ДИ	М ± SD	95%-й ДИ
Группа исследуемых (n = 25)	9,69±4,2	7,96–11,41	19,61±8,95	15,9–23,31
<i>Примечание</i> – N – количество пациентов, М – среднее, SD – стандартное отклонение, ДИ – доверительный интервал				

Полученные данные отображают показатели наклона таза в прямой проекции у детей с неравенством длины нижних конечностей. При проведении однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) статистически значимое увеличение угла наклона таза во фронтальной плоскости отмечено только у пациентов с неравенством длины более 3,5 см ($p = 0,006$).

Однако для адекватной оценки полученных результатов необходимо адекватно оценить патологию тазобедренного сустава, так как на разницу в положении головок влияет не только неравенство длины сегментов нижних конечностей, но и деформация головки со снижением ее высоты вследствие перенесенного асептического некроза или болезни Легга – Кальве – Пертеса. Описанные изменения представлены на Рисунке 2.7.

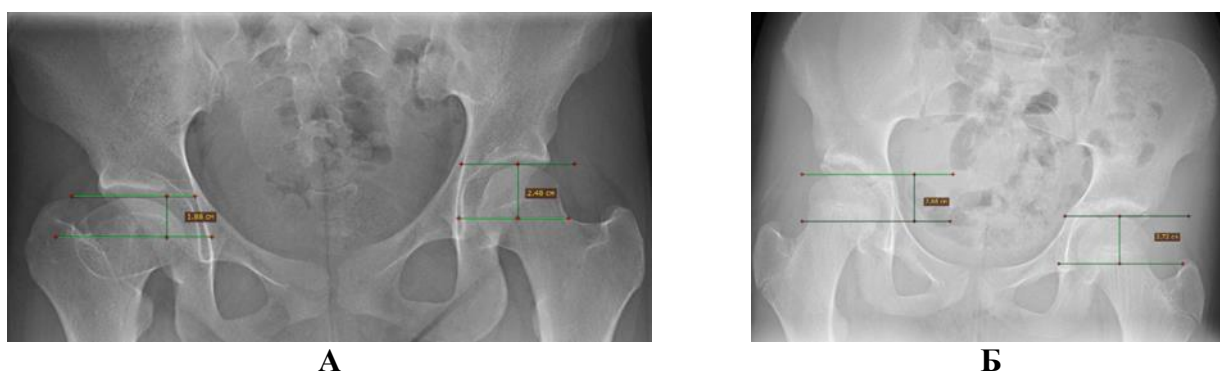


Рисунок 2.7 – А. Пациентка С. 16 лет, последствие Болезни Легга – Кальве – Пертеса. Высота головки правой бедренной кости 1,88 см, левой 2,48 см. Б. Пациентка П. Дисплазия тазобедренных суставов. Высота головки правой бедренной кости 2,68 см, левой 2,72 см

2.3.5. Инструментальное обследование

Перед началом хирургического лечения всем пациентам выполняли ряд исследований в условиях отделения лучевой диагностики ЦИТО им. Н.Н. Приорова под руководством доктора медицинских наук Морозова Александра Константиновича:

- костного возраста;
- рентгенография тазобедренных суставов;
- постуральные рентгенограммы и КТ-скиаграммы длины нижних конечностей;
- компьютерная томография тазобедренных суставов.

Оценка костного возраста

Оценка костного возраста играет ключевую роль при планировании и проведении временного эпифизиодеза, так как этот метод предполагает вмешательство в зону роста кости. Важность оценки костного возраста определяет следующие важные факторы:

1. *Планирование операции.* Костный возраст помогает определить, сколько времени осталось до закрытия зон роста. Это критически важно, потому что операция должна быть выполнена

до того, как зоны роста закроются окончательно. Если провести операцию слишком поздно, эффект от процедуры будет минимальным или отсутствовать вовсе.

2. *Прогноз результата.* Понимание текущего костного возраста позволяет предсказать, какой объем коррекции можно ожидать после операции. Чем моложе пациент, тем больше потенциал для коррекции деформации.

3. *Минимизация рисков.* Оценка костного возраста помогает избежать преждевременного закрытия всех зон роста, что могло бы привести к необратимым последствиям, таким как укорочение конечности или усиление деформации.

4. *Индивидуальный подход к лечению.* Каждый ребенок развивается индивидуально, и костный возраст может отличаться от паспортного. Поэтому использование данных о костном возрасте позволяет подобрать оптимальное время для проведения операции и выбрать наилучшую тактику лечения.

Для оценки костного возраста и остаточного потенциала роста мы пользовались методикой Греулиха – Палмера. Это классический и широко применяемый способ оценки костного возраста, основанный на сравнении рентгенограммы кисти и запястья пациента с эталонными изображениями из атласа, разработанного американскими учеными Вильямом Уолтером Греулихом и Саррой Айделл Палмер 1950-х годах. Этот метод используется для определения уровня физиологического развития скелета и помогает установить соответствие между биологическим возрастом ребёнка и его календарным возрастом.

Основные принципы методики Греулиха – Палмера:

1. Рентгенография кисти и запястья: проводят оценку рентгеновского снимка «нерабочей» руки – у правой это левая рука и запястье, у левой наоборот, поскольку противоположная конечность считается менее подверженной влиянию профессиональной деятельности и травм.

2. Для оценки костного возраста проводят сравнение с рентгенограммами, включёнными в атлас Греулиха – Палмера. В атласе представлены рентгенограммы кистей и лучезапястного сустава здоровых детей разного возраста и пола, начиная с рождения до достижения полного скелетного созревания.

3. Степень окостенения кисти и запястья оценивается по нескольким признакам: форма и размеры костей, состояние эпифизов, наличия ядер окостенения и закрытия зон роста.

4. Определение костного возраста: после сравнения рентгенограммы пациента с эталонными изображениями определяется соответствующий возраст, отражающий уровень физиологической зрелости скелета. Если костный возраст совпадает с паспортным, это свидетельствует о нормальном развитии. Отклонения могут указывать на задержки или ускорения роста, что требует дальнейшего обследования.

Данная методика оценки костного возраста обладает такими преимуществами как: простота и доступность, высокая воспроизводимость результатов, долгосрочная клиническая практика. Выполнялись рентгенограммы кистей в прямой проекции. Исследование проводил один и тот же оператор на аппарате Philips duo DIAGNOST. При анализе рентгенограмм кистей проводили оценку костного возраста пациентов с целью определения потенциала роста и возможности коррекции неравенства длины нижних конечностей. В нашей работе проводили общее сравнение всей кисти ребенка с аналогичной возрастной рентгенограммой из атласа, а также сравнение каждой кости кисти, локтевой и лучевой костей предплечья с присвоением буквенной градации. Методика оценки представлена на Рисунке 2.8.

По данным оценки рентгенограмм 32 пациентов с помощью атласа Greulich and Pyle у 25 (78,2%) пациентов костный возраст соответствовал биологическому, а у 7 (21,8%) отставал в пределах 1–2 лет.

Рентгенография тазобедренных суставов

Для оценки состояния тазобедренных суставов проводилось рентгенологическое исследование в трех проекциях – переднезадняя обзорная рентгенограмма таза, проекция с внутренней ротацией нижних конечностей, и проекция по Лаунштейну. Исследование проводил один и тот же оператор на аппарате Philips duo DIAGNOST. Фокусное расстояние при выполнении составляло 80–100 см в зависимости от веса ребенка. При анализе рентгенограмм оценивали классические рентгенологические показатели тазобедренных суставов – шеечно-диафизарный угол (ШДУ), шеечно-эпифизарный угол (ШЭУ), ацетабулярный индекс (АИ), коэффициент покрытия головки бедренной кости (КП), артикуло-трохантерная дистанция (АТД), тазово-вертельное расстояние (ТВР). Схема измерений представлена на Рисунке 2.9.

Полученные данные измерений представлены в Таблице 2.12.

Как видно из данных, представленных в Таблице 2.12, средние показатели шеечно-диафизарного угла во всех возрастных группах отличаются незначительно. При оценке квартильных показателей Q_1 – Q_3 шеечно-диафизарный угол левой нижней конечности более выражен во всех возрастах, достигая наибольших значений в средней и старшей группе пациентов. Значения ацетабулярного индекса также более выражены в левой нижней конечности у пациентов 8-16 лет. При оценке артикуло-трохантерной дистанции отмечается наиболее выраженное ее снижение в группе пациентов младшего возраста и старшего. Связано это преимущественно с тем, что при оперативном лечении детей младшего возраста с целью коррекции шеечно-диафизарного угла выполняет гиперкоррекция с варизацией, таким образом меняется положение головки бедренной кости и вертела. У пациентов более старшей группы снижение артикуло-трохантерной дистанции связано с последствиями асептического некроза головки бедренной кости, который чаще встречается именно у пациентов данной возрастной группы.

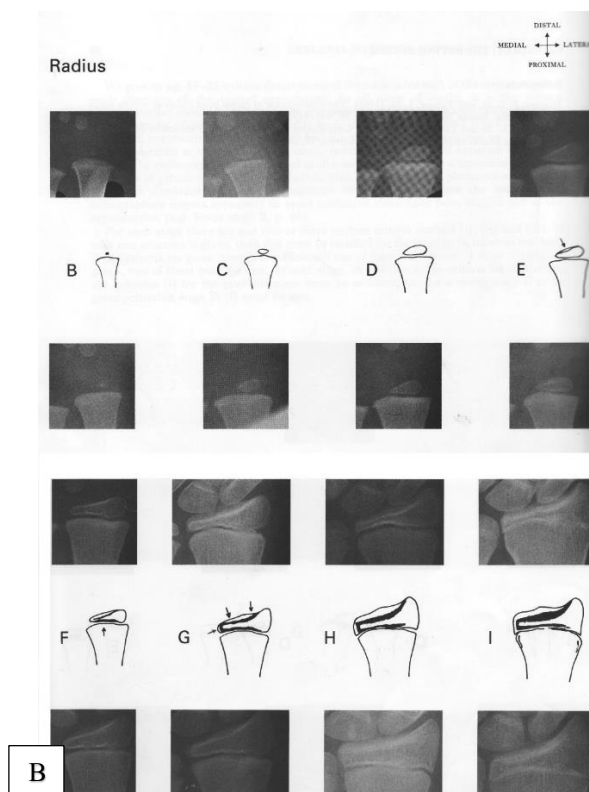
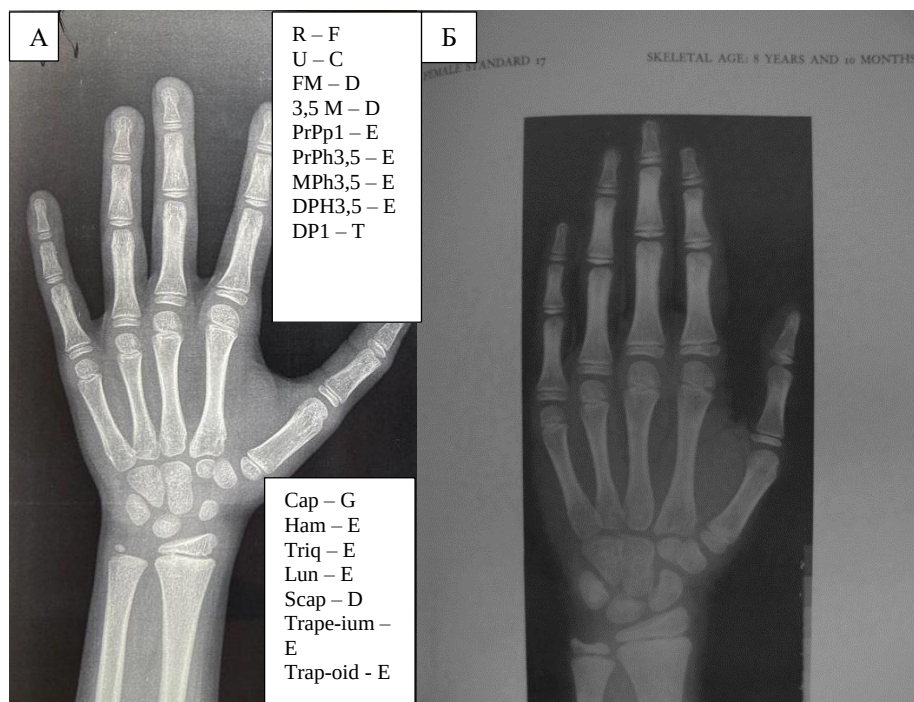


Рисунок 2.8 – Оценка костного возраста по кисти. **А.** Рентгенограмма пациентки А. 9 лет, буквенная оценка костей кисти. **Б.** Сравнительная оценка по атласу Greulich and Pyle. В атласе представлена рентгенограмма девочки возрастом 8 лет 10 месяцев. **В.** Оценка костного возраста по каждой кости запястья и кисти

Таким образом оценка костного возраста у пациентов с неравенством длины нижних конечностей позволила нам оценить остаточный потенциал роста ребенка, предположить сроки и объем коррекции разновеликости и применить методику временного эпифизиодеза зон роста.

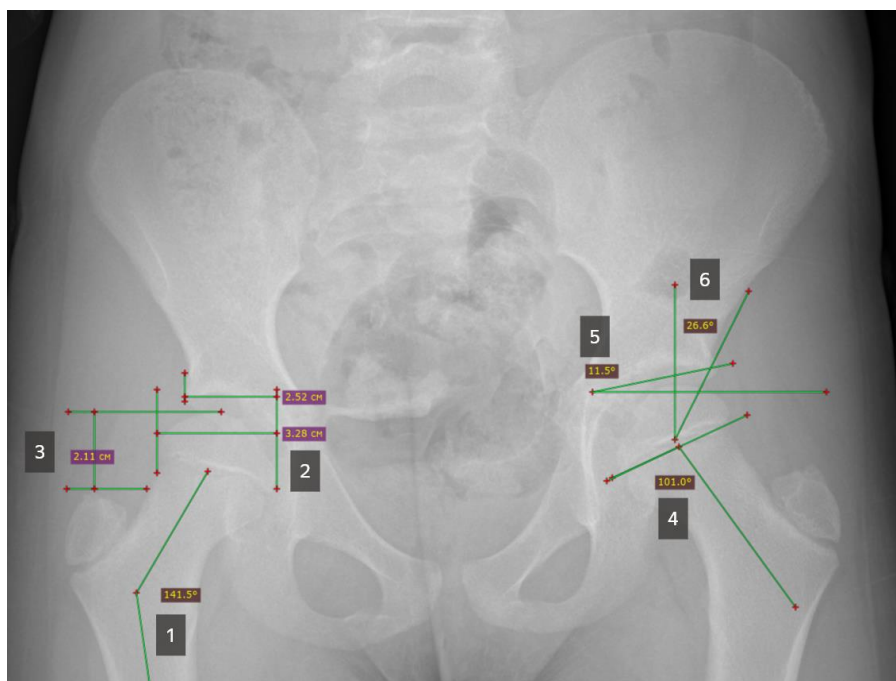


Рисунок 2.9 – Рентгенанатомические измерения на переднезадней рентгенограмме тазобедренных суставов. **1** – измерение шейно-диафизарного угла, **2** – измерение коэффициента покрытия головки бедренной кости, **3** – измерение артикуло-трохантерной дистанции, **4** – измерение шейно-эпифизарного угла, **5** – измерение ацетабулярного индекса, **6** – измерение угла Виберга.

Таблица 2.12 – Значения рентгенологических показателей тазобедренных суставов

Рентгенологический показатель	Возрастная группа					
	4–7 лет (n = 16)		8–11 лет (n = 38)		12–16 лет (n = 22)	
	Правая н/к	Левая н/к	Правая н/к	Левая н/к	Правая н/к	Левая н/к
ШДУ (Градусы)	134,8 (116,5–139,5)	135,5 (113,1–139,8)	130,9 (121,4–137,2)	135,8 (124,6–146,2)	132,4 (127,6–141,3)	135,3 (127,7–144,6)
ШЭУ (Градусы)	108,5 (104,7–114,5)	105,3 (95,7–108,5)	108,4 (102,9–120,5)	104 (98,5–109,3)	110,5 (101,7–115,3)	107,1 (99,5–120,95)
АИ (Градусы)	21,3 (19,1–24,4)	21,7 (18,4–32,8)	18,3 (13,7–21,4)	16,6 (13,0–20,4)	17,7 (14,1–21,4)	20,2 (12,7–31,1)
КП	0,86 (0,76–1,0)	0,85 (0,78–1,0)	0,81 (0,72–0,86)	0,84 (0,71–0,91)	0,79 (0,73–0,87)	0,84 (0,75–1,0)
АТД (мм)	18 (3,5–22,8)	10 (5,2–18)	11,9 (8,0–16,9)	14,1 (9,0–20,4)	12,45 (2,0–16,8)	12,5 (5,5–24,7)
ТВР (мм)	24,1 (23,9–30,0)	24,1 (23,9–30)	23,8 (18,8–32,0)	24,0 (19,0–29,6)	23,5 (15,1–34,1)	28,0 (22,5–31,5)

Основываясь на биомеханической концепции равновесия таза у 25 пациентов проведено сравнение рентгенанатомических показателей тазобедренных суставов, полученных в положении лежа, и на постуральных рентгенограммах нижних конечностей. Учитывая, что при смене положения таза меняются не все анатомические структуры, то проводилась оценка лишь некоторых показателей. На длинной конечности оценивался коэффициент покрытия головки бедренной кости в положении лежа и в положении стоя. Также мы решили оценить угол Виберга на стороне длинной конечности в положении лежа и в положении стоя с целью оценить степень экстррузии головки бедренной кости из вертлужной впадины. Полученные данные представлены в Таблице 2.13.

Таблица 2.13 – Оценка измерения рентгеноанатомических показателей длинной конечности в положении лежа и стоя

Рентгенологический показатель	Длинная конечность			
	Лежа		Стоя	
	M ± SD	Min – Max	M ± SD	Min – Max
КП	0,79±0,07	0,62–0,89	0,74±0,08	0,56–0,5
Угол Виберга (градусы)	32,07±8,81	15,9–47,8	28,3±9,03	8,6–43,8

При проведении анализа полученных результатов отмечено статистически значимое снижение коэффициента покрытия головки бедренной кости на более длинной конечности ($p < 0,001$). Также выявлено статистическое значимое изменение угла Виберга со снижением его показателя ($p = 0,002$). Дополнительно выполнена оценка тазово-вертельного расстояния в положении лежа и в положении стоя как на стороне длинной конечности, так и короткой. Полученные данные представлены в Таблице 2.14.

Таблица 2.14 – Оценка измерения тазово-вертельного расстояния

Рентгенологический показатель	Измеряемая конечность							
	Короткая				Длинная			
	Лежа		Стоя		Лежа		Стоя	
	M ± SD	Min – Max	M ± SD	Min – Max	M ± SD	Min – Max	M ± SD	Min – Max
ТВР (мм)	26,05±9,15	9,0–39,8	24,05±9,08	5,0–35,7	33±5,3	21,8–43,9	39,7±6,36	25,6–49,0

При проведении анализа полученных результатов отмечено статистически значимое изменение тазово-вертельного расстояния на короткой ноге ($p = 0,002$) и на длинной ноге ($p < 0,001$).

Как видно из данных, представленных в Таблицах 2.13 и 2.14, при смещении таза в сторону более короткой ноги происходит уменьшение коэффициента покрытия головки бедренной кости на более длинной конечности, а на стороне более короткой конечности происходит уменьшение тазово-вертельного расстояния. Данные изменения показателей в положении лежа и стоя расценены нами как формирование позиционного подвывиха головки бедренной кости (Рисунок 2.10).

Снижение покрытия головки бедренной кости вследствие ее латеропозиции при неравенстве длины схоже аналогичной вальгусной деформации шейки бедренной кости при дисплазии тазобедренного сустава. В таком положении происходит удаление точки фиксации ягодичных мышц на более длинной ноге, что меняет угол тяги этих мышц

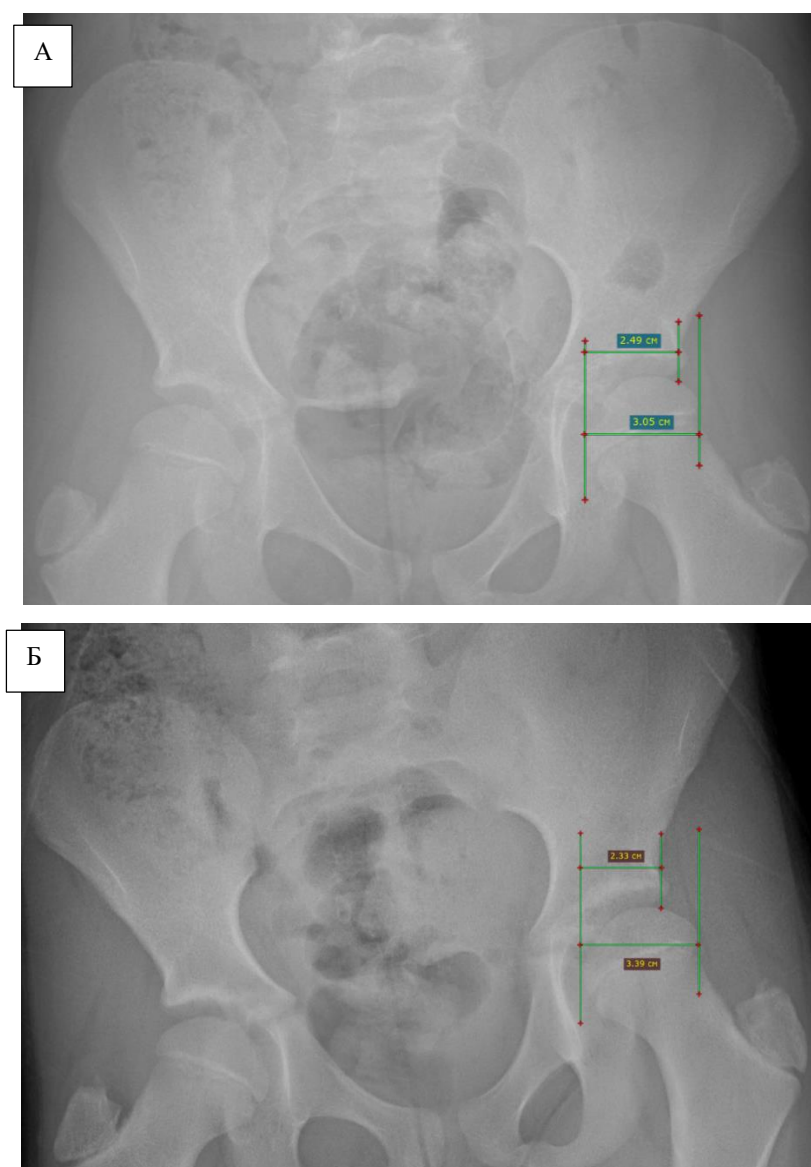


Рисунок 2.10 – Пациентка Е. **А.** Коэффициент покрытия головки левой бедренной кости в положении лежа – 0,82. **Б.** При нагрузке – 0,67.

. Как было описано в главе 1.8 – данные изменения приводят к снижению площади распределения нагрузки на единицу поверхности впадины, таким образом, силы напряжения концентрируются на определенной зоне. При наличии болевого синдрома в тазобедренном суставе на стороне более длинной конечности пациент начинает щадить этот сустав, стараясь сохранить его функцию и одновременно убрать из-под нагрузки участок головки, который подвергся предельным нагрузкам (Рисунок 2.11).

При длительной сохраняющемся позиционном подвывихе головки бедра и продолжающейся нагрузке на сустав происходит уплотнение нагружаемых участков головки и вертлужной впадины, что в результате приведет к усугублению диспластического состояния сустава и формированию изменений по типу артроза.

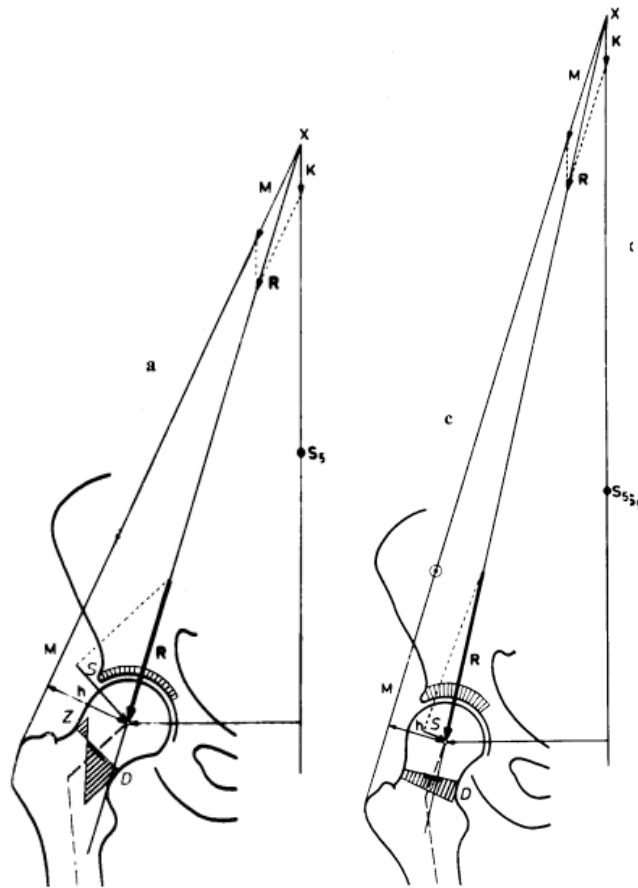


Рисунок 2.11 – Перераспределение нагрузки в тазобедренном суставе при нарушении центрации головки бедренной кости (Maquet, 1985; Pauwels, 1973)

Постуральные рентгенограммы и КТ-скиаграммы длины нижних конечностей

Для определения неравенства длины нижних конечностей выполняли постуральную рентгенографию нижних конечностей в переднезадней проекции в положении стоя без компенсации неравенства длины нижних конечностей. Исследования проводили с помощью цифровой рентгенографической системы Optima XR 646. Фокусное расстояние – 183 см. Для оценки неравенства длины нижних конечностей измерение проводили по стандартной методике Helms C. и McCarthy S. (1987). Схема измерений представлена на Рисунке 2.12.

Проводили измерения всей длины нижней конечности – от верхней точки головки бедренной кости до дистальной части эпифиза большеберцовой кости. Сегмент стопы не был включен в измерения длины всей нижней конечности. Также проводили измерения по каждому сегменту отдельно: для бедра от верхней точки головки бедренной кости до нижней точки медиального мыщелка бедра; для голени от нижней точки медиальной части плато большеберцовой кости до дистальной части эпифиза большеберцовой кости.

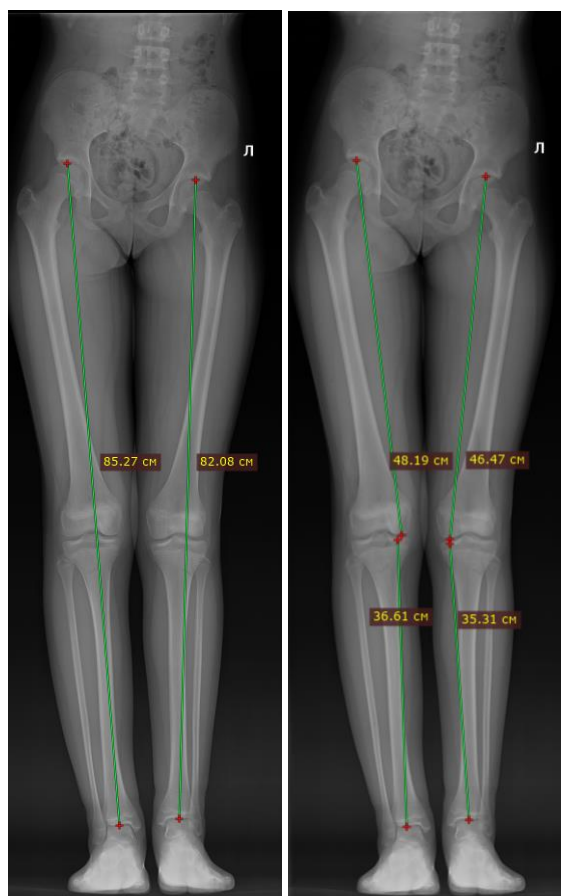


Рисунок 2.12 – Измерение длины нижних конечностей на постуральной рентгенограмме

Также выполняли компьютерную томографию нижних конечностей с определением длины. Исследование проводили на рентгеновском томографе компьютерной серии Optima CT660. Как и при выполнении постуральной рентгенографии проводили измерение всей длины нижней конечности (от верхней точки головки бедренной кости до дистальной части эпифиза большеберцовой кости) и измерения по каждому сегменту отдельно (для бедра от верхней точки головки бедренной кости до нижней точки медиального мыщелка бедра, для голени от нижней точки медиальной части плато большеберцовой кости до дистальной части эпифиза большеберцовой кости). Схема измерений представлена на Рисунок 2.14.

Полученные данные измерений представлены в Таблице 2.14.

Как видно из данных Таблицы 2.14, в группе пациентов младшего возраста и старшего укорочение бедра более выражено. При оценке общего укорочения в группе пациентов старшего возраста значения практически в два раза превышают неравенство более младших пациентов. Также у пациентов более старшего возраста отмечали более широкий диапазон по $Q_1 - Q_3$ укорочение как сегментов, так и общего неравенства.



Рисунок 2.14 – Измерение длины нижних конечностей при помощи компьютерной скиаграммы

Таблица 2.14 – Значения длин нижних конечностей по сегментам и общая длина по данным инструментального исследования

Возрастная подгруппа (n = количество пациентов)	Разница в длине (мм)					
	Бедро		Голень		Бедро и голень	
	Me	Q ₁ – Q ₃	Me	Q ₁ – Q ₃	Me	Q ₁ – Q ₃
4–7 лет (n = 11)	18,1	10–26,1	3,8	3,8–8,3	12	10–19,1
8–11 лет (n = 26)	9,95	5,6–21	2,4	0,7–4,4	11	9,05–19,1
12–16 лет (n = 19)	17	7,6–25,6	2,75	2,0–8,05	21	12,4–30,9,5
<i>Примечание</i> – n – количество пациентов, Me – медиана, Q ₁ и Q ₃ – квартили						

Выполнение инструментальных исследований с подсчетом неравенства длины нижних конечностей позволило нам сопоставить разницу измерений по сравнению с методикой оценки разноразмерности сантиметровой лентой. Полученные данные представлены в Таблице 2.15.

Таблица 2.15 – Сравнение результатов оценки неравенства длины нижних конечностей двумя методами

	Разница в длине (мм)								
	Бедро (Ме, Q1 – Q3)			Голень (Ме, Q1 – Q3)			Бедро + голень (Ме, Q1 – Q3)		
	4–7 лет	8–11 лет	12–16 лет	4–7 лет	8–11 лет	12–16 лет	4–7 лет	8–11 лет	12–16 лет
Измерение сантиметровой лентой	17 (15–20)	15 (13–22)	20 (15–25,5)	7 (2,25–13,5)	3 (2–5,5)	7,5 (2,5–13,0)	20 (15–27)	20 (13–24)	21 (15–27,5)
Измерение инструментальной методикой	18,1 (10–26,1)	9,95 (5,6–21)	17 (7,6–25,6)	3,8 (3,8–8,3)	2,4 (0,7–4,4)	2,75 (2,0–8,05)	12 (10–19,1)	11 (9,05–19,1)	21 (12,4–30,9,5)
<i>Примечание – n – количество пациентов, Ме – медиана, Q1 и Q3 – квартили</i>									

Как видно из данных Таблицы 2.15, при сравнении методик измерения неравенства длины нижних конечностей средние показатели выражено отличаются, что подтверждает ограничения способа измерения сантиметровой лентой. Как показали данные, представленные в таблицах, общая длина конечностей не равна сумме сегмента бедра голени. Это связано с тем, что общая длина конечности может быть компенсирована за счет разных сегментов, например, укорочение бедра с одной стороны и удлинение голени с другой.

При подсчете длины нижних конечностей у 50 пациентов односторонним поражением тазобедренного сустава у 14 детей (28%) выявлено удлинение оперированной конечности за счет бедренного сегмента. Данные измерения представлены в Таблице 2.16.

Таблица 2.16 – Разница в длине нижних конечностей при одностороннем поражении

Оперированная конечность	Удлинение (мм), Ме (Q1–Q3)	Укорочение (мм), Ме (Q1–Q3)
Левая нижняя конечность	5,4 (3,4–9,1)	14 (9,3–25,1)
Правая нижняя конечность	12,8 (7,05–15,5)	5,45 (2,8–26,25)

Из 14 пациентов с удлинением конечности 10 детей проходили оперативное лечение по поводу дисплазии тазобедренных суставов, 4 по поводу Болезни Легга – Кальве – Пертеса. При дисплазии тазобедренных суставов клинически может наблюдаться две картины – когда превалирует дисплазия вертлужной впадины, и у пациентов отмечается укорочение пораженной конечности за счет децентрации головки и краниальном ее смещении, и обратная ситуация, когда дисплазия вертлужной впадины не столь выражена, и на первое место выходит торсионно-вальгусная деформация проксимального отдела бедренной кости. В таком случае шеечно-диафизарный угол пораженной конечности будет больше противоположной, что приведет к удлинению сегмента бедра. Данные изменения важно различать при клиническом осмотре пациентов и выставлении диагноза, так как это может влиять на тактику обследования и лечения.

Стандартной методикой лечения дисплазии тазобедренного сустава являются корригирующие остеотомии проксимального отдела бедренной кости в сочетании с остеотомией костей таза в случае тяжелой дисплазии. При выполнении данного вида остеотомий либо происходит коррекция неравенства длины, либо укорочение оперированной нижней конечности, что чаще всего и наблюдается в клинической практике. Но в нашем исследовании у 28% пациентов при динамическом наблюдении отмечено удлинение конечности, что потребовало дальнейшей коррекции.

При патологии проксимального отдела по типу асептического некроза головки бедренной кости или Легга – Кальве – Пертеса наиболее часто встречается именно укорочение пораженной конечности. Это происходит из-за деформации головки бедренной кости, так как снижается ее высота относительно здоровой головки, как описано ранее. Также происходит укорочение шейки бедренной кости. Оперативное лечение при болезни Легга – Кальве – Пертеса и асептическом некрозе, как и при дисплазии, направлено на стабилизацию тазобедренного сустава, выведение из-под нагрузки пораженной части головки, создание условий для восстановления формы головки по принципу матричного ремоделирования. Воздействие хирургии на проксимальный отдел бедренной кости также чаще всего укорачивает сегмент. В нашей работе из 22 пациентов (Болезнь Легга – Кальве – Пертеса и асептический некроз головки бедренной кости) у 4 пациентов (18,18%) мы отметили удлинение оперированного сегмента.

Компьютерная томография тазобедренных суставов

Пациентам с вторичной деформацией проксимального отдела бедренной кости проводили компьютерную томографию тазобедренных суставов для оценки функционирования зон роста. Зачастую рентгенография не передает полную картину патологических изменений в области физиса. Использование методики компьютерной томографии позволяет детализировать состояние зон роста головки на всем протяжении, выявляя повреждение латеральной зоны роста по типу Kalamchi II типа. Сама по себе зона роста при такой деформации располагается более горизонтально, в сравнении с противоположным бедром. В наружном отделе она не прослеживается, в области хода зоны роста отмечаются костные мостики. В медиальном отделе головки бедренной кости зона роста не нарушена, ее функция удовлетворительная. Также встречается поражение и медиальной зоны роста. Вариант визуализации зоны роста представлен на Рисунке 2.15.

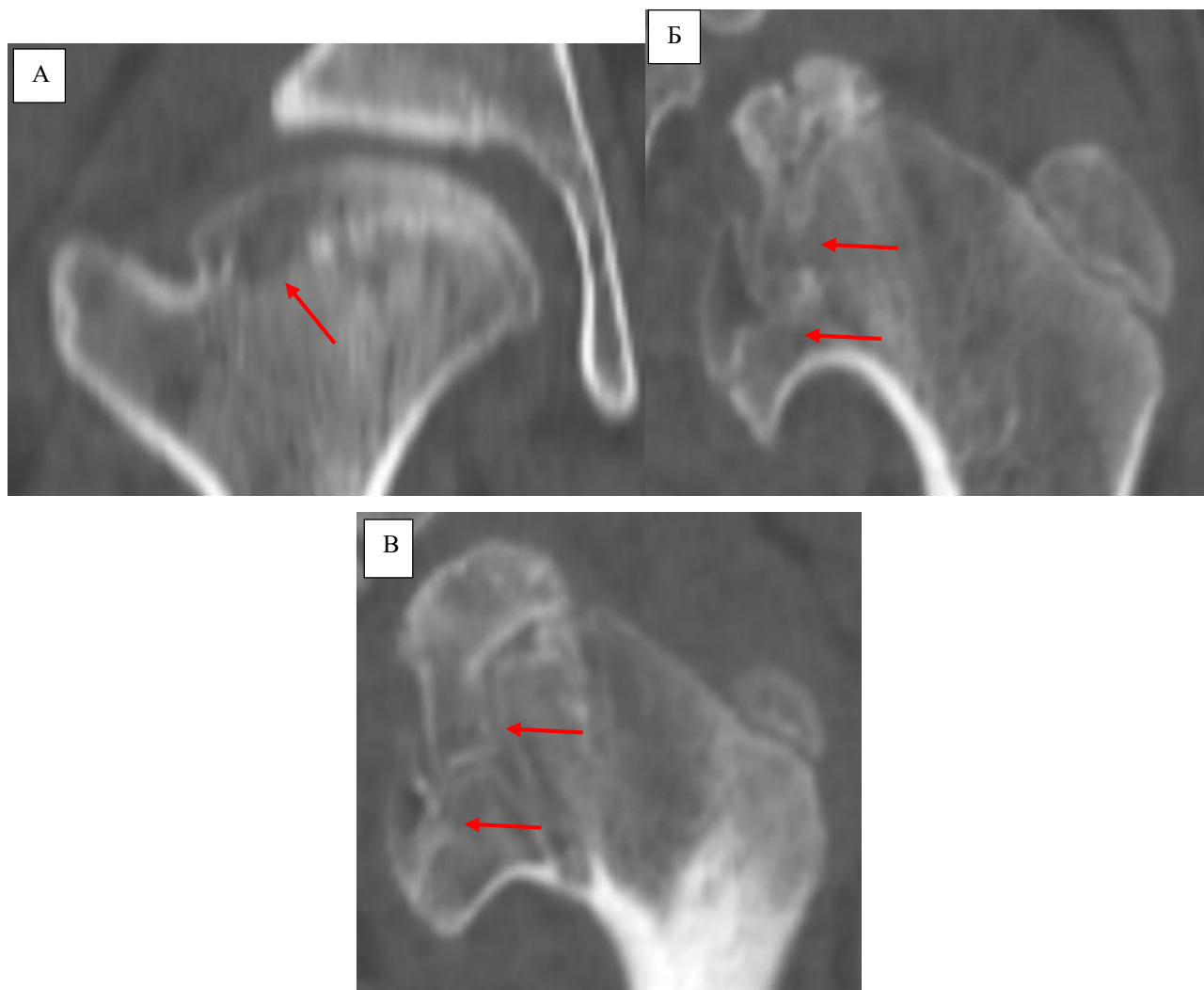


Рисунок 2.15 – А. Коронарный срез проксимального отдела правой бедренной кости пациентки С. Повреждение латеральной зоны роста шейки бедренной кости. Б, В. Коронарные срезы проксимального отдела левой бедренной кости пациентки Б. Повреждение медиальной зоны роста шейки бедренной кости

Выполнение компьютерной томографии с возможностью 3-Д моделирования позволяет визуально оценить форму головки бедренной кости, ее ориентацию во впадине и размеры относительно впадины (Рисунок 2.16).



Рисунок 2.16 – Пациент Ф. 14 лет. Последствия АНГБК. Компьютерная томография тазобедренных суставов с 3-Д реконструкцией

Так как деформация проксимального отдела бедренной кости чаще всего возникает вследствие асептического некроза или как следствие оперативного или консервативного лечения, то головка бедренной кости в таких условиях деформируется, снижается ее высота, появляется нарушение формы и ее асферичность. За счет снижения высоты головки также может проявляться неравенство длины нижних конечностей и уменьшаться артикуло-трохантерная дистанция, Рисунок 2.17.

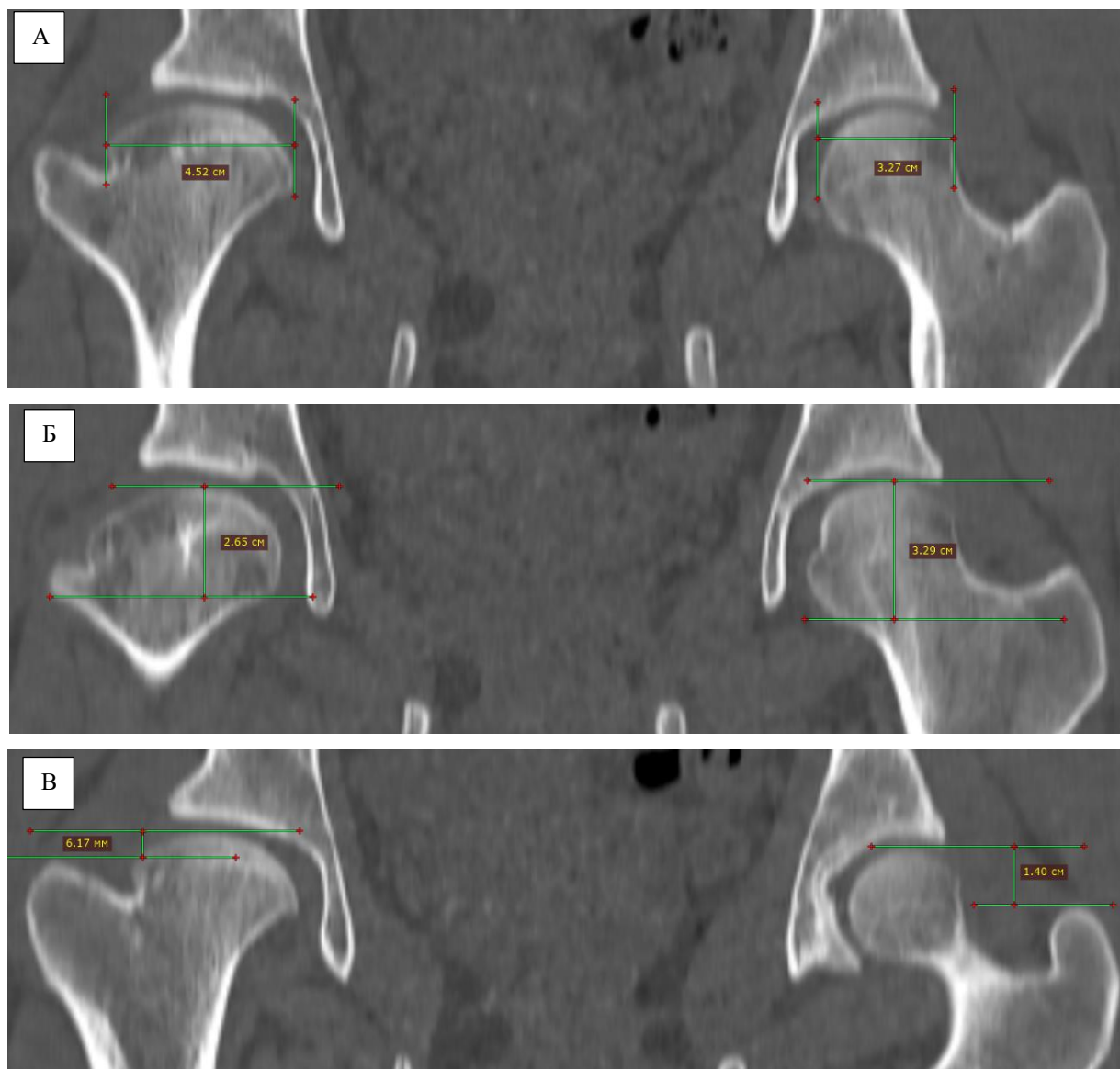


Рисунок 2.17 – Пациентка С. **А.** Деформация головки бедренной кости с ее расширением. **Б.** Снижение высоты головки. **В.** Снижение артикуло-трохантерной дистанции в связи с деформацией головки бедренной кости

2.3.6. Статистический метод

Все полученные результаты обследования пациентов подвергались статистической обработке с использованием программы IBM SPSS Statistics v.26.

Каждая из сравниваемых совокупностей количественных данных подвергалась оценке на предмет нормальности распределения. Соответствие статистического распределения числовых показателей нормальному оценивали при помощи критерия Колмогорова – Смирнова. В работе использовались как параметрические, так и не параметрические методы обработки.

Методы статистической обработки:

– описательная статистика параметрических параметров: вычисление средних значений (M), средних квадратичных отклонений (σ);

- описательная статистика непараметрических параметров: вычисление медиан, 25-й и 75-й квартиль (Q_1 – Q_3);
- сравнение двух независимых групп по одному признаку (параметрический метод): Т-критерий;
- сравнение двух независимых групп по одному признаку (непараметрический метод): критерий Манна – Уитни;
- оценка различий между двумя рядами изменений (непараметрический метод): критерий Уилкоксона.

Достоверными считались отличия при $p < 0,05$.

Глава 3. ОЦЕНКА БИОМЕХАНИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ У ПАЦИЕНТОВ С НЕРАВЕНСТВОМ ДЛИНЫ НА ФОНЕ ПАТОЛОГИИ ТАЗОБЕДРЕННОГО СУСТАВА

Биомеханика нижних конечностей человека представляет собой сложную систему взаимодействия костей, мышц, связок и сухожилий, обеспечивающую передвижение тела в пространстве. При этом длина ног играет важную роль в определении кинематики движений и распределения нагрузок на суставы и мышцы. Основной методикой исследования в биомеханике нижних конечностей служит получение характеристики движений, что позволяет определить нам их правильную кинематику и динамику при выполнении своих непосредственных функций – опора и передвижение. Таким образом длина ног влияет на длину шага и частоту шагов при ходьбе, а также на положение центра тяжести и его смещение при передвижении.

Для оценки функции тазобедренного сустава и нижних конечностей в статическом положении и в фазе нагрузки проводили биомеханическое исследование на аппарате Habilect MotionLAB (Хабилект, Рисунок 3.1) в условиях лаборатории биомеханики под руководством заведующего отделением реабилитации ЦИТО им. Н. Н. Приорова, доктора медицинских наук, профессора Цыкунова Михаила Борисовича.



Рисунок 3.1 – Устройство аппарата Habilect MotionLAB

Данная система представляет из себя программно-аппаратный комплекс с биологической обратной связью. Принцип работы комплекса основан на лазерно-оптическом безмаркерным методом оценки движений, что позволяет отслеживать выполняемые пациента упражнения по трехмерной модели.

Для оценки функции тазобедренных суставов и нижних конечностей в целом использовали режимы, позволяющие измерить показания баланса тела в пространстве во время движения и во время выполнения Теста Тренделенбурга. Проводили оценку походки с измерением длительности фазы опоры на каждой конечности, смещение центра тяжести, а также распределение нагрузки на ноги.

Исследование выполняли с проведением двух тестов. Все тесты выполняли на протяжении 30 секунд. Расстояние от испытуемого до аппарата составляло 3 метра с целью более качественного захвата движений лазерно-оптической системой.

Первый тест – оценка положения тела пациента в статическом положении на одном месте. Исходное положение пациента – положение тела ровное, без сутулости, голова прямо. Руки вытянуты по бокам. Задача пациента удерживать положения стоя в течение 30 секунд (Рисунок 3.2).



Рисунок 3.2 – Первый тест на аппарате Nabilect. Оценка положения тела пациента в статическом положении на одном месте

Во время выполнения теста оценивали положение центра тяжести, положение пояса верхних и нижних конечностей, смещение тела в сторону.

Второй тест – Тест Фукуды – оценка функции нижних конечностей при динамической нагрузке для проверки вестибулярного аппарата и равновесия. Исходное положение пациента –

положение тела ровное, руки на поясе. После начала теста пациент начинает делать шаги на месте. Тест выполнялся 30 секунд (Рисунок 3.3).

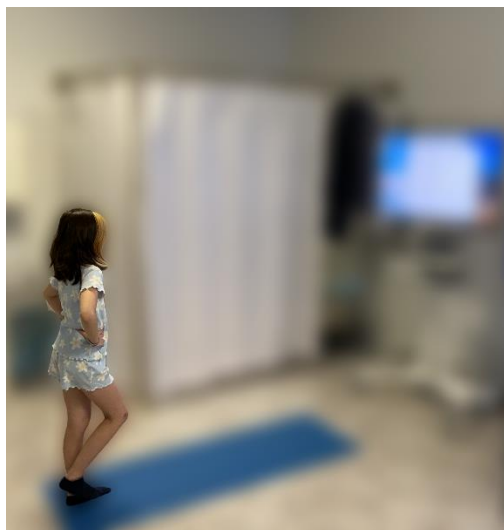


Рисунок 3.3 – Второй тест на аппарате Nabilect.
Оценка функции нижних конечностей при динамической нагрузке

Во время выполнения теста проводили оценку положения таза, отклонения общей оси тела от центра, смещение центра тяжести, распределение нагрузки на конечности.

Все результаты тестов фиксировали в таблицах и графиках на экране аппарата Nabilect, после чего переносили на компьютер с целью дальнейшей обработки.

Проведение тестирования в лаборатории биомеханики позволило оценить функциональные особенности нижних конечностей в статическом положении и динамической нагрузке.

Когда одна нога человека короче другой даже на небольшую величину, например, на 1,5–2 см, это приводит к значительным биомеханическим изменениям в ходьбе и положении туловища. В таких ситуациях организм использует различные варианты компенсации, стараясь адаптироваться в разнице в длине: на стороне короткой конечности таз поднимается вверх, чтобы сохранить баланс и обеспечить равномерную высоту бедер относительно земли. Таким образом формируется функциональный перекос таза, который может повлиять на изменение положения позвоночника, особенно в поясничном сегменте. При этом любые изменения положения таза, из-за его жесткой структуры, будут влиять сразу на обе ноги. Работа данного соединения аналогична работе зависимой подвески, применяемой в автомобилестроении. Другим вариантом компенсации может служить наклон туловища в сторону короткой конечности, чтобы распределить вес более равномерно между обеими ногами, а для поддержания равновесия позвоночник может скручиваться вокруг своей оси, особенно в поясничном отделе, создавая тем самым дополнительную нагрузку на межпозвоночные диски и фасеточные суставы.

При равной длине нижних конечностей цикл шага выполняется симметрично, все его фазы (8 функциональных единиц) выполняются аналогично как на левой, так и на правой конечности (Рисунок 3.4).



Рисунок 3.4 – Цикл шага и его периоды. (Скворцов Д. В.)

Однако данные фазы характерны для нормальной походки человека. При неравенстве длины нижних конечностей ходьба у пациентов становится асимметричной:

1. **Укороченная фаза опоры на стороне короткой ноги:** чтобы избежать перегрузки, организм сокращает время контакта этой ноги с землей. Шаг на стороне короткой ноги становится быстрее и менее устойчивым.

2. **Длиннее фаза переноса на стороне длинной ноги:** поскольку длинная нога имеет больший радиус движения, она проводит больше времени в фазе переноса (когда нога движется вперед).

3. **Неравномерность шага:** из-за разницы в длине ног шаги становятся разными по длине и скорости, что усложняет поддержание ритма ходьбы.

Также важным пунктом является динамическая нагрузка, которая особенно велика на конечность, принимающую вес тела. Как описывает J. Perry что перед контактом с опорой стопа переносимой ноги находится, в среднем, в 1 см от опоры, таким образом тело до момента бипедальной опоры находится в свободном падении. В фазу контакта за 0,2 сек. на конечность нагружается 60% веса тела. Основные функции конечности после восстановления опоры в первые две фазы контакта и нагрузки – амортизация энергии удара и трансформация энергии удара в поступательное движение тела. У пациентов с разной длиной нижних конечностей в связи с восстановлением положения центра тяжести происходит «свободное» падение на высоту равную разнице в длине нижних конечностей, что дополнительно увеличивает ударную нагрузку на более короткую конечность, что увеличивает компрессию коленного сустава.

Проводя тесты в лаборатории биомеханики на аппарате Nabilect MotionLAB, мы пытались проанализировать биомеханические особенности неравенства длины нижних конечностей. После

проведение каждого теста на аппарате Хабилект мы получали результаты измерений и информативные графики (Рисунок 3.5).

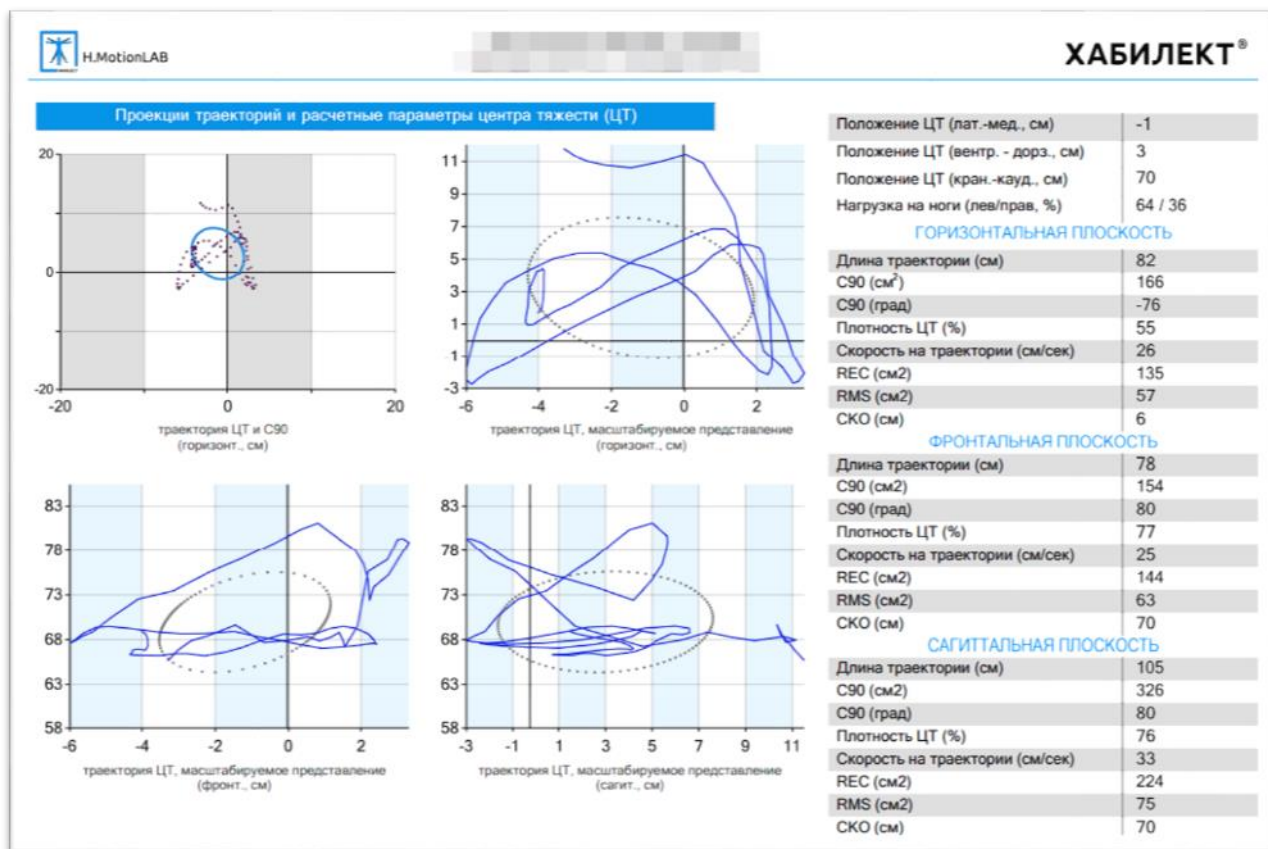


Рисунок 3.5 – Пример результатов тестирования на аппарате Hablect MotionLAB

При проведении анализа тестов проводилась оценка следующих параметров:

1. Параметры центра тяжести (ЦТ) (Рисунок 3.5):

1.1) положение ЦТ в различных плоскостях (горизонтальной, фронтальной, сагиттальной) – среднее смещение центра тяжести относительно точки ноль. Точка ноль рассчитывается по точкам между лодыжками и располагается посередине отрезка между этими точками;

1.2) траектория ЦТ – расчет и анализ движения центра тяжести;

1.3) длина траектории (см) – общее расстояние, которое проходит центр тяжести (ЦТ) объекта за определенный период времени. В контексте анализа движений этот параметр используется для оценки объема и сложности двигательной активности;

1.4) плотность ЦТ – плотность точек центра тяжести, выражающаяся в процентах. Чем меньше процент плотности точек ЦТ, тем больше у пациента отклонение ЦТ при ходьбе;

1.5) C90 (см²) – площадь эллипса минимального размера, в который попадает 90% всех точек положения ЦТ за время пробы. Показывает, насколько сильно пациент отклоняется в стороны при ходьбе;

1.6) C90 (град) – угол между большой осью эллипса и осью X показывает, насколько градусов ориентированно распределение точек ЦТ и в какую сторону пациент отклонялся при ходьбе больше всего. Угол не может быть больше 90 °. Если угол расположен выше оси X, значение будет положительное. Если ниже – отрицательное. Углы смотрятся относительно только положительного направления оси X;

1.7) REC – Reconstruction Error (см²) – площадь минимального прямоугольника, в который помещаются все точки. Чем площадь больше, тем больше разброс точек ЦТ, и тем больше пациент отклонялся в стороны во время замера;

1.8) RMS – Root Mean Square (см²) – СКО площадь круга, которая высчитывается по среднеквадратичному расстоянию от средней точки до точек ЦТ. Тоже говорит о разбросе точек, как и REC, но нивелирует единичные пиковые выбросы. REC и RMS смотрят вместе, чтобы понять, насколько равномерно распределены точки, присутствуют ли единичные пиковые выбросы. Чем ближе друг к другу значения REC и RMS, тем более равномерно двигался человек;

1.9) СКО – Standard Concentration Offset (см) – среднеквадратичное расстояние от точки ноль до точек ЦТ, что может быть показательным при сравнении замеров до/после.

2. Стабилограммы:

2.1) проводилась оценка смещения сегментов тела в латерально-медиальном и вентрально-дорзальном направлении (Рисунок 3.6);

2.2) проводилась оценка отклонения сегментов тела в латерально-медиальном и вентрально-дорзальном направлении;

2.3) проводилась оценка ротационных изменений туловища в горизонтальной плоскости.

3. Нагрузка на ноги: баланс нагрузки между левой и правой ногой – среднее распределение нагрузки на левую и правую ноги в процентном соотношении. Рассчитывается по положению центра тяжести относительно точки ноль. Если ЦТ ровно посередине, то нагрузка распределена 50% на 50%. Если ЦТ смещен вправо или влево, значит одна нога нагружена больше другой (рисунок 3.7).

3.1. Общая характеристика материалов биомеханического исследования

В основную группу исследования вошло 14 пациентов, получавших ранее оперативное лечение на тазобедренном суставе в условиях 10-го детского травматолого-ортопедического отделения ФГБУ НМИЦ ТО им. Н. Н. Приорова, у которых в динамике выявлено неравенство длины нижних конечностей. Гендерный состав: 9 девочек (64,3%), 5 мальчиков (35,7%). Средний возраст пациентов – 10±1,9. При разделении по нозологии – 9 пациентов с дисплазией тазобедренных суставов (64,3%), 3 пациента с асептическим некрозом головки бедренной кости (21,4%), 2 пациентов с болезнью Легга – Кальве – Пертеса (14,3%).

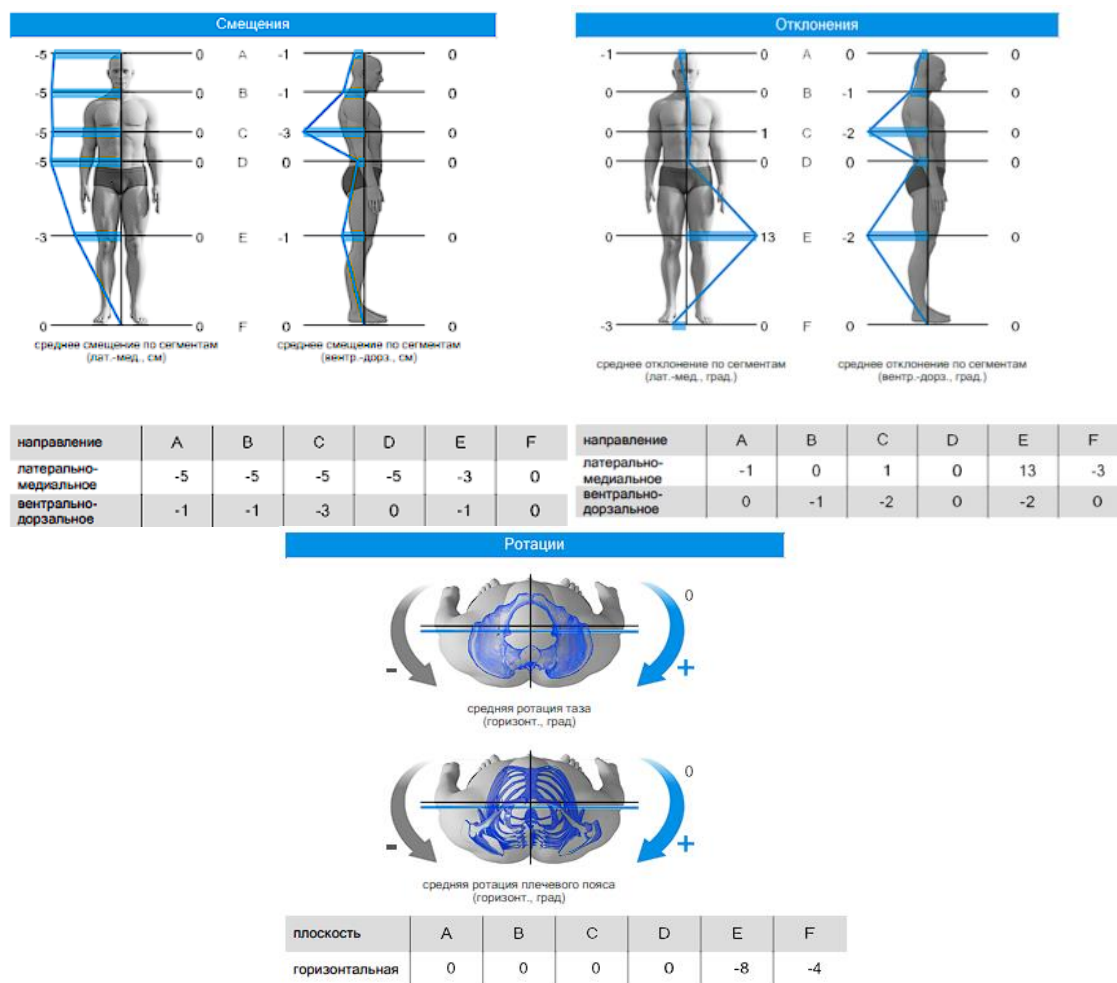


Рисунок 3.6 – Оценка смещения сегментов тела

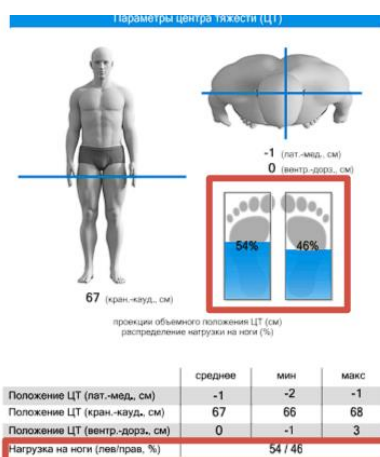


Рисунок 3.7 – Баланс нагрузки между левой и правой ногой

У 8 пациентов укорочение левой нижней конечности (57,1%), у 6 правой (42,9%). Среднее неравенство длины нижних конечностей составило – $17 \pm 1,9$ (мм).

Группу сравнения составили 14 пациентов без неравенства длины нижних конечностей и других патологий нижних конечностей, наблюдающихся в поликлинике ФГБУ НМИЦ ТО им.

Н. Н. Приорова по поводу сторонних нозологий. Гендерный состав: 8 девочек (57,1%), 6 мальчиков (42,9%). Средний возраст пациентов – $11 \pm 0,5$.

3.2. Результаты биомеханического обследования пациентов основной группы

По каждому из двух проведенных тестов на аппарате Nabilest у каждого пациента мы получили по 2 файла с массивом данных, описанных в предыдущем разделе (Рисунки 3.1–3.3). После обработки данные были систематизированы в таблицы и прошли статистическую обработку.

Для удобства оценки все данные были разделены в четыре таблицы. В каждой таблице описаны данные, полученные при проведении статических и динамических тестов. В первой таблице описано положение центра тяжести в латерально-медиальном (лат-мед), вентрально-дорзальном (вентр-дорз), краниально-каудальном направлении (кран-кауд), а также нагрузка на длинную и короткую ногу во время выполнения тестов (Таблица 3.1).

Таблица 3.1 – Положение центра тяжести и распределение нагрузки на нижние конечности

	Положение ЦТ (лат-мед, см)		Положение ЦТ (вентр-дорз, см)		Положение ЦТ (кран-кауд, см)		Нагрузка на короткую ногу (%)		Нагрузка на длинную ногу (%)	
	ME	Q ₁ ; Q ₃	ME	Q ₁ ; Q ₃	ME	Q ₁ ; Q ₃	ME	Q ₁ ; Q ₃	ME	Q ₁ ; Q ₃
Статистический тест	-1	-2; 0	-1,5	-3; 0	64,5	63; 73	55,5	44; 59	44,5	41; 56
Динамический тест	-1	-1; -1	-4,5	-6; -3	68,5	65; 75	53	48; 58	47	42; 52

Как видно из данных Таблицы 3.1 положение центра тяжести в латерально-медиальном направлении при выполнении статического и динамического теста меняется не значительно, но в вентрально-дорзальном и краниально-каудальном направлении отмечается более значительное изменение – при проведении статистического анализа с применением критерия Уилкоксона отмечены статистически значимые изменения этих показателей ($p = 0,01$ и $p = 0,002$ соответственно). Изменения в вентрально-дорзальном направлении связаны с тем, что во время движения пациенты больше отклоняют корпус назад для облегчения переноса более длинной конечности вперед.

В норме при ходьбе изменение положения таза происходит по синусоиде, соответственно при каждом шаге положение центра тяжести в краниально-каудальном направлении будет меняться. Однако у пациентов с неравенством длины перепад туловища с длинной конечности на короткую во время шага влияет на увеличение данного показателя.

При оценке распределения нагрузки на конечности в обоих тестах мы видим преобладание смещения туловища на более короткую ногу. В показателях динамического теста можно отметить увеличение нагрузки на длинную конечности, однако перевес на более короткую ногу все же со-

храняется. При статистическом анализе значимости данных показателей в статическом и динамическом тесте не отмечено ($p = 0,875$), таким образом можно заключить, что перераспределение нагрузки на ноги во время движения происходит незначительно, сохраняя все биомеханические особенности положения тела, как и при статическом положении.

Во второй таблице описаны конкретные характеристики положения центра тяжести в горизонтальной, фронтальной и сагиттальной плоскостях в статическом и динамическом тесте – длина траектории – ДТ (см), С90 (см²), С90 (градусы), Плотность ЦТ (%), REC (см²), RMS (см²), СКО (см) (Таблица 3.2).

Оценка длины траектории, как описано выше, позволяет оценить расстояние, которое проходит центр тяжести во время проведения теста. Таким образом длина траектории также может служить индикатором координации движений (Рисунок 3.8). Короткая траектория означает, что положение пациента практически не изменяется за определенный промежуток времени, тогда как длинная траектория может указывать на недостаточную координацию и попытку стабилизировать туловище. Как видно из результатов Таблицы 3.2 длина траектории во всех трех направлениях значительно увеличивается во время динамического теста ($p = 0,002$, $p = 0,001$, $p = 0,009$ соответственно). Наибольшую длину траектории отметили в горизонтальной плоскости, в то время как наименьшая и в статическом, и в динамическом тесте отмечается во фронтальной плоскости.

Показатель С90 (см²) даёт нам количественную оценку общей активности движения (Рисунок 3.9). Отклонения пациентов во время динамического теста увеличивается во все трех плоскостях ($p = 0,001$, $p = 0,001$, $p = 0,004$ соответственно), а среднее отклонение в горизонтальной и фронтальной плоскости практически одинаково (52 и 50) в отличие от статического теста, где отклонение в горизонтальной плоскости больше, чем во фронтальной (11,5 и 3 соответственно).

При оценке показателя С90 (°) в статическом тесте в среднем отмечается положительное значение угла отклонения в горизонтальной и фронтальной плоскости, а то время как в сагиттальной плоскости данный угол стремится к отрицательным значениям. В динамическом тесте значение угла во всех трех плоскостях отрицательное, однако статистически значимых различий при проведении анализа не отмечено ($p = 0,638$, $p = 0,130$, $p = 0,777$ соответственно).

Плотность ЦТ в статическом тесте наибольшее значение имеет в горизонтальной плоскости, по сравнению с остальными, во время динамического теста наибольшее значение плотности отмечается в сагиттальной плоскости, а в горизонтальной данное значение является наименьшим. При проведении статистического анализа значимое изменение не отмечено ни в одной плоскости ($p = 0,889$, $p = 0,183$, $p = 0,080$ соответственно)

Таблица 3.2 – Показатели положения центра тяжести в трех плоскостях в статическом и динамическом тесте

	Статический тест						Динамический тест					
	Горизонтальная		Фронтальная		Сагиттальная		Горизонтальная		Фронтальная		Сагиттальная	
	ME	Q ₁ ; Q ₃	ME	Q ₁ ; Q ₃	ME	Q ₁ ; Q ₃	ME	Q ₁ ; Q ₃	ME	Q ₁ ; Q ₃	ME	Q ₁ ; Q ₃
ДТ (см)	67,5	16; 87	40	19; 65	64	24; 92	130	76; 172	103,5	77; 135	119,5	80; 152
C90 (см ²)	11,5	3; 18	3	2; 7	6,5	2; 8	52	37; 93	50	27; 82	58	38; 68
C90 (°)	26,5	-76; 86	11,5	-7; 22	-4,5	-8; 1	-13,5	-52; 52	-16	-59; 26	-13	-57; 8
Плотность ЦТ (%)	51	45; 55	47,5	46; 51	48,5	47; 52	48,5	47; 52	52	47; 54	52,5	49; 54
REC (см ²)	11,5	3; 17	3	1; 6	7	2; 8	54,5	30; 86	40,5	25; 79	45,5	29; 62
RMS (см ²)	2	0; 4	1	0; 1	1,5	1; 2	17	8; 27	10	8; 26	10,5	7; 15
СКО (см)	3	2; 5	64,5	63; 73	64,5	63; 73	5,5	4; 7	68,5	65; 75	68,5	65; 75

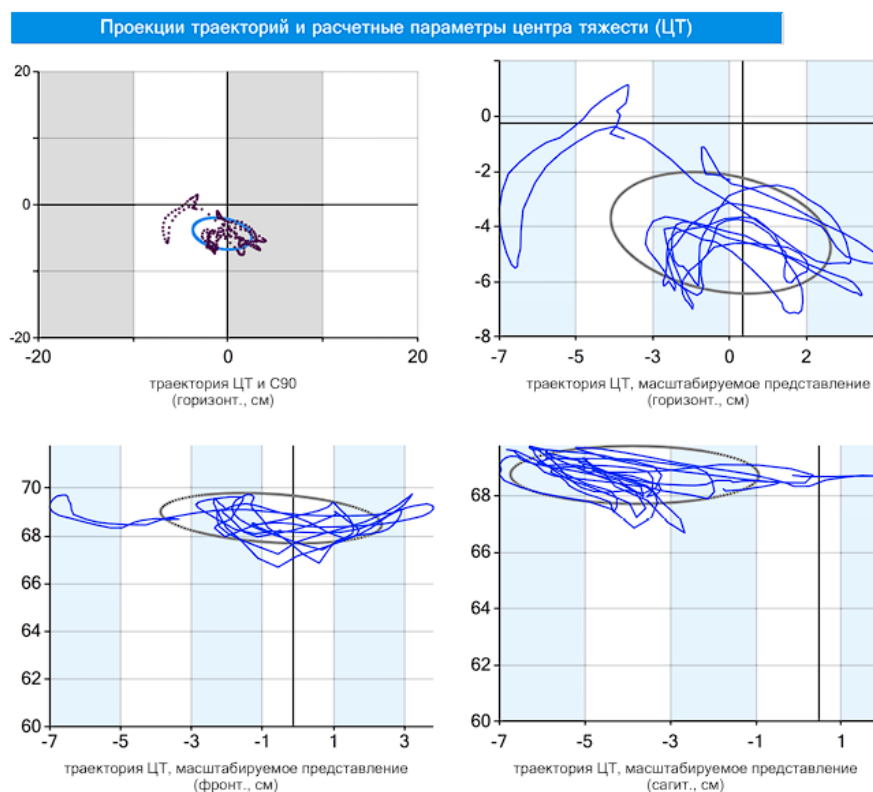


Рисунок 3.8 – Пример проекции траектории центра тяжести в горизонтальной, фронтальной и сагиттальной плоскости

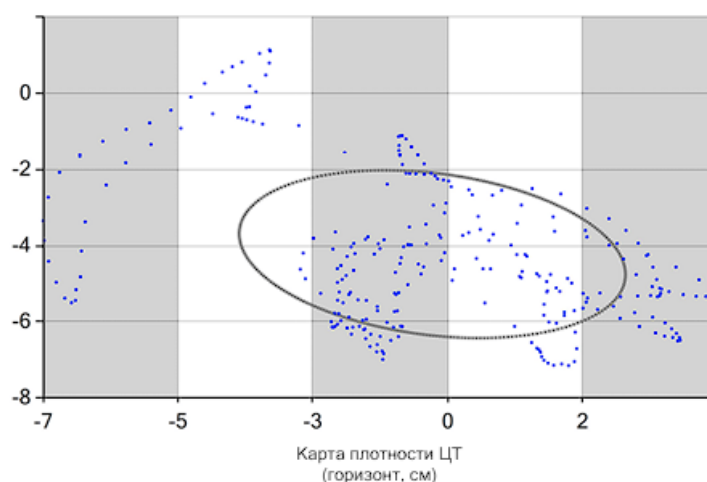


Рисунок 3.9 – Пример визуализации показателя $S90$ (см^2) в горизонтальной плоскости

Низкие значения REC говорят о высокой точности реконструкции траектории движения (порядка нескольких сантиметров или даже миллиметров). В результатах нашего теста данный показатель показывает статистически значимые изменения в динамическом тесте во всех трех плоскостях ($p = 0,001$ для всех трех плоскостей). Таким образом площадь прямоугольника разброса точек при выполнении динамического теста значительно увеличивается по сравнению со статическим положением тела.

Для большинства движений нормой считается RMS около 1–2 см. Однако, чем выше требования к точности и стабильности движения, тем ниже должно быть значение RMS. При выполнении статистического теста средние значения RMS во всех трех плоскостях находятся в рамках нормальных значения, однако в динамическом тесте отмечается статически значимое увеличение данного параметра во всех трех плоскостях ($p = 0,001$ для всех трех плоскостей), преобладавая в горизонтальном направлении.

Оценивая показатель СКО, отмечается значительная разница данного показателя в горизонтальной плоскости от остальных двух направлений. Данная разница сохраняется также и в динамическом тесте. Высокое значение СКО во фронтальной и сагиттальной плоскости свидетельствует о значительных колебаниях и нестабильности движений. Тем не менее даже минимальная разница в средних значениях статистического и динамического теста (от 2,5 см) приводит к появлению статистически значимой разнице во всех трех плоскостях ($p = 0,006$, $p = 0,002$, $p = 0,002$ соответственно).

В третьей таблице результатов тестирования описаны показатели Смещение, Отклонение, и Ротации (Таблица 3.3), в четвертую таблицу внесены те же показатели, но в динамическом тесте (Таблица 3.4). Они относятся к параметрам, используемым для оценки биомеханики движений и позиционирования тела, предоставляя ценную информацию о положении и движении центра тяжести (ЦТ), а также о качестве движений.

1. Смещение (Displacement) – это мера того, насколько далеко переместился центр тяжести (ЦТ) от исходного положения. Смещение измеряется в сантиметрах или миллиметрах и показывает общий путь, который прошёл ЦТ за определённое время.

2. Отклонение (Deviation) – показывает, насколько траектория движения ЦТ отклонилась от идеального или ожидаемого пути. Отклонения обычно измеряются в угловых единицах или процентах.

3. Ротации (Rotation) – ротации описывают вращательные движения частей тела или всего тела вокруг оси

Смещение и отклонение пациентов оценивались по 6 линиями: А – на уровне головы, В – на уровне шеи, С – на уровне грудного отдела позвоночника, D – на уровне поясничного отдела позвоночника, Е – на уровне коленного сустава, F – на уровне стоп (Рисунок 3.4). Смещение и отклонение оценивались двух направлениях – латерально-медиальном и вентрально-дорзальном, ротации оценивались только в горизонтальной плоскости.

В статическом тесте Смещение должно быть минимально, так как отсутствует активное движение. Небольшие смещения могут указывать на естественные колебания тела, связанные с дыханием или мелкими произвольными движениями. Отклонения также минимальны, так как

отсутствуют значительные изменения в положении тела. Большие отклонения могут свидетельствовать о проблемах с балансом или нестабильности.

Таблица 3.3 – Результаты смещения, отклонения и ротации туловища при выполнении статического теста

	Смещение (см)				Отклонение (°)				Ротации (°)	
	Латерально-медиально		Вентрально-дорзально		Латерально-медиально		Вентрально-дорзально		Горизонтальная плоскость	
	ME	Q ₁ ; Q ₃	ME	Q ₁ ; Q ₃	ME	Q ₁ ; Q ₃	ME	Q ₁ ; Q ₃	ME	Q ₁ ; Q ₃
A	-2	-2; -1	-1	-6; 1	2	0; 5	-1	-3; 0	0	0; 0
B	-2	-3; -1	-1	-5; 2	0	-2; 0	-0,5	-3; 0	0	0; 0
C	-2	-3; -1	-3	-6; -2	-2	-3; 0	-2	-5; -1	0	0; 0
D	-1	-2; 1	0	-2; 1	-2	-3; 1	0	-2; 1	0	-1; 0
E	0	-1; 0	-1,5	-2; 0	-1	-5; 2	-2,5	-4; -1	-0,5	-5; 4
F	0	0; 0	0	0; 0	0	0; 0	0	0	-0,5	-6; 6

Как видно из данных Таблицы 3.3, при проведении статического теста у пациентов отмечали смещение преимущественно в латеральную сторону и в дорзальном направлении на уровнях A, B, C, D. Таким образом ЦТ смещается в сторону короткой конечности и кзади для стабилизации положения туловища. На уровне E отмечается смещение в дорзальном направлении, что свидетельствует об отклонении коленного сустава (положение рекурвации). В отклонениях отмечена аналогичная картина. Изменения на уровне F не отмечены ни в параметре Смещение, ни в Отклонении. Однако при оценке показателя Ротаций единственные изменения отмечены на уровне коленного сустава (E) и стопы (F).

При выполнении динамического теста смещение ЦТ может увеличиваться, так как происходят циклические движения ногами. Величина смещения может зависеть от скорости и ритма шагов. Большие смещения могут указывать на недостаточную координацию или силу мышц ног. Отклонения в динамике также увеличиваются, так как каждое движение вызывает изменение положения ЦТ. Большие отклонения могут свидетельствовать о проблемах с контролем движений.

При проведении динамического теста отмечено сохранение смещения в латеральную сторону A, B, C, D. При статистической оценке не отмечено значимых различий, что также свидетельствует о том, что показатели не меняются в динамике. Однако при оценке смещений в вентрально-дорзальном направлении отмечено статистически значимое повышение показателей на уровнях A, B, C, D ($p = 0,042$, $p = 0,002$, $p = 0,005$, $p = 0,004$ соответственно). На уровне E отметили смещение в вентральном направлении, что свидетельствует об улучшении стабилизации сустава во время нагрузки ($p = 0,002$). Смещение на уровне F в динамическом тесте также не отмечено.

Таблица 3.4 – Результаты смещения, отклонения и ротации туловища при выполнении динамического теста

	Смещение (см)				Отклонение (°)				Ротации (°)	
	Латерально-медиально		Вентрально-дорзально		Латерально-медиально		Вентрально-дорзально		Горизонтальная плоскость	
	ME	Q ₁ ; Q ₃	ME	Q ₁ ; Q ₃	ME	Q ₁ ; Q ₃	ME	Q ₁ ; Q ₃	ME	Q ₁ ; Q ₃
-2	-3; -1	-5	-8; -1	2	0; 5	-2	-4; -1	0	0; 0	-2
-2	-2; -1	-6	-8; -4	-1	-2; -1	-3	-5; -3	1	0; 1	-2
-1	-2; -1	-7,5	-9; -5	-1	-2; 0	-4,5	-7; -4	0	0; 0	-1
-1	-1; 0	-4	-5; -3	-2	-3; 0	-4	-5; -3	-1	-2; 0	-1
0	0; 0	2	1; 3	-2,5	-9; 1	3	3; 6	-2	-6; 1	0
0	0; 0	0	0; 0	-2	-5; 1	0	0; 0	0	-3; 5	0

В отклонениях отметили статистически значимое изменение показателей в дорзальном направлении на уровнях В, С, D ($p = 0,042$, $p = 0,007$, $p = 0,004$ соответственно). Уровень А остался без изменений, а уровень Е также показал отклонение в вентральном направлении при выполнении динамического теста ($p = 0,004$).

При оценке показателя Ротаций отметили статистические значимые изменения на уровнях В и D ($p = 0,008$ и $p = 0,007$ соответственно).

3.3. Результаты биомеханического обследования пациентов группы сравнения

Пациенты группы сравнения проходили те же 2 теста – статический и динамический. Результаты тестов представлены в виде 4 таблиц. Учитывая, что пациенты в группе сравнения с одинаковой длиной нижних конечностей, в таблицах указано распределение нагрузки на правую и левую нижнюю конечность, вместо короткой и длинной, как в основной группе.

Таблица 3.5 – Положение центра тяжести и распределение нагрузки на нижние конечности пациентов контрольной группы

	Положение ЦТ (лат-мед, см)		Положение ЦТ (вентр-дорз, см)		Положение ЦТ (кран-кауд, см)		Нагрузка на левую ногу (%)		Нагрузка на правую ногу (%)	
	ME	Q ₁ ; Q ₃	ME	Q ₁ ; Q ₃	ME	Q ₁ ; Q ₃	ME	Q ₁ ; Q ₃	ME	Q ₁ ; Q ₃
Статический тест	0	-1,7; 0	-2	-5; 1,5	83	79,5; 86,5	50,5	49; 55,5	49,5	44,5; 51
Динамический тест	-1	-1,5; -0,5	-2	-5,5; 0	89,5	85,0; 91,0	53	51,5; 55,5	47	44,5; 48,5

Как видно из данных Таблицы 3.5, положение ЦТ в латерально-медиальном направлении практически не меняется в статическом и динамическом тесте, а в вентрально-дорзальном направлении среднее значения положения остается тем же. В краниально-каудальном направлении отмечены статистические изменения ($p = 0,008$). Положение ЦТ у пациентов с неравенством

длины в двух плоскостях практически не меняется в статическом и динамическом положении, что говорит о лучшей стабилизации и контроле движений.

При оценке распределения нагрузки на ноги можно отметить практически равное распределение в статическом положении, и умеренное изменение данного параметра в динамической нагрузке, однако данные изменения статистически не значимы.

При оценке длины траектории пациентов контрольной группы в статическом и динамическом тесте отмечается статистически значимое возрастание данного параметра во всех трех плоскостях ($p = 0,012$, $p = 0,007$, $p = 0,017$ соответственно). Наибольшее увеличение длины траектории отмечается в сагиттальной плоскости, по сравнению с остальными двумя. Также по данным таблицы туловище пациента наиболее стабильно во фронтальной плоскости как в статическом, так и в динамическом тесте, так как длина траектории в этой плоскости наименьшая.

Показатель $C90$ (cm^2) по результатам динамического теста увеличивается во всех трех плоскостях ($p = 0,011$, $p = 0,012$, $p = 0,012$ соответственно). Особенно стоит отметить значительное увеличение среднего показателя $C90$ (cm^2) при выполнении динамического теста во фронтальной плоскости – 1 против 35,5.

При оценке показателя $C90$ ($^\circ$) в статическом тесте среднее значение угла отклонения в горизонтальной плоскости положительное, тогда как значение во фронтальной и сагиттальной плоскостях являются отрицательными. В динамическом тесте значение угла во всех трех плоскостях отрицательные, однако статистически значимое различие при проведении анализа присутствует только в сагиттальной плоскости ($p = 0,036$).

Плотность ЦТ, согласно результатам тестов, в статическом положении наибольшее значение имеет в горизонтальной плоскости, по сравнению с остальными, однако в динамическом плотность ЦТ уменьшается, показывая более выгодное движение туловища, чем в статике. Также во время динамического теста плотность ЦТ во фронтальной и сагиттальной плоскости у данной группы пациентов сравнивается. При проведении статистического анализа значимое изменение не отмечено ни в одной плоскости ($p = 0,141$, $p = 0,833$, $p = 0,324$ соответственно).

При оценке показателя REC у пациентов контрольной группы отметили статистически значимые изменения в динамическом тесте во всех трех плоскостях ($p = 0,011$, $p = 0,012$, $p = 0,01$ соответственно).

Показатель RMS при выполнении статического теста во всех трех плоскостях находится в рамках нормальных значений, однако в динамическом тесте отмечено статически значимое увеличение данного параметра во всех трех плоскостях ($p = 0,011$, $p = 0,012$, $p = 0,011$ соответственно). Наибольшее изменение данного показателя отмечается во фронтальном направлении.

Таблица 3.6 – Показатели положения центра тяжести в трех плоскостях в статическом и динамическом тесте пациентов контрольной группы

	Статический тест						Динамический тест					
	Горизонтальная		Фронтальная		Сагиттальная		Горизонтальная		Фронтальная		Сагиттальная	
	ME	Q ₁ ; Q ₃	ME	Q ₁ ; Q ₃	ME	Q ₁ ; Q ₃	ME	Q ₁ ; Q ₃	ME	Q ₁ ; Q ₃	ME	Q ₁ ; Q ₃
ДТ (см)	27	11,5; 44,5	15,5	13,5; 24	39,5	20; 70	57,5	49,5; 93	45,5	43,5; 54	92,5	78; 112,5
C90 (см ²)	3,5	2; 10	1	1; 1	4	2; 5,5	42,5	32,5; 50	35,5	25; 47	23	18,5; 26
C90 (°)	72,5	-85,5; 86	-16,5	-52; 26,5	-4	-7; 2,5	-4	-75,5; 60	-0,5	-38; 20,5	-23,5	-28,5; -13
Плотность ЦТ (%)	58	50,5; 67	51	46,5; 58	53	48; 65,5	51	47,5; 52,5	55	52; 55,5	55	51,5; 56
REC (см ²)	4,5	1,5; 7,5	1	0,5; 1	3,5	2; 4	23,5	17,5; 29	15	9; 20	24,0	20,5; 29
RMS (см ²)	1,5	0,5; 4	0	0; 0	1,5	0,5; 4	5	5; 7	12,5	8,5; 16,5	5,5	4,5; 7,5
СКО (см)	2,5	2; 5	13	10; 15,5	24,5	21; 27	5,5	4,5; 7,5	20,5	17,5; 24,5	28	24,5; 30

Показатель СКО имеет статистически значимые различия во всех трех плоскостях ($p = 0,01$, $p = 0,011$, $p = 0,018$ соответственно). Наибольшее значение данного параметра как в статическом, так и динамическом тесте отмечено в сагиттальной плоскости.

В Таблицах 3.7 и 3.8 результатов тестирования описаны показатели Смещение, Отклонение, и Ротации в статическом и динамическом тесте соответственно.

Таблица 3.7 – Результаты смещения, отклонения и ротации туловища при выполнении статического теста пациентов контрольной группы

	Смещение (см)				Отклонение (°)				Ротации (°)	
	Латерально-медиально		Вентрально-дорзально		Латерально-медиально		Вентрально-дорзально		Горизонтальная плоскость	
	ME	Q ₁ ; Q ₃	ME	Q ₁ ; Q ₃	ME	Q ₁ ; Q ₃	ME	Q ₁ ; Q ₃	ME	Q ₁ ; Q ₃
A	0	-2,5; 0,5	-3,5	-10,5; 1	1	-1; 3,5	-1	-3,5; 0	0	0; 0
B	-0,5	-2,5; 0	-1	-8; 2,5	-0,5	-1,5; 1,5	-0,5	-3,5; 1,5	0	0; 1
C	-0,5	-2; 0	-3,5	-7,5; -0,5	-1,5	-2; 0,5	-1,5	-4,5; 0	0	0; 0
D	-0,5	-1; 0	2	0–4	-0,5	-2; 0	2	-0,5; 3	-1	-1,5; 0
E	0	-0,5; 0	-1	-3,5; 1,5	1	-1; 3	-2	-5,5; 0	0	-1; 1
F	0	0; 0	0	0; 0	-3	-4; -1,5	0	0; 0	1	-0,5; 1,5

Таблица 3.8 – Результаты смещения, отклонения и ротации туловища при выполнении динамического теста пациентов контрольной группы

	Смещение (см)				Отклонение (°)				Ротации (°)	
	Латерально-медиально		Вентрально-дорзально		Латерально-медиально		Вентрально-дорзально		Горизонтальная плоскость	
	ME	Q ₁ ; Q ₃	ME	Q ₁ ; Q ₃	ME	Q ₁ ; Q ₃	ME	Q ₁ ; Q ₃	ME	Q ₁ ; Q ₃
A	-1	-1,5; 0,5	-3,5	-7,5; -0,5	-1	-2; 2,5	-1,5	-3; -0,5	0	0; 0
B	-0,5	-2; 0,5	-5	-8,5; -2	0,5	-2,5; 2,5	-2	-4; -1	1	0; 1
C	-1,5	-2; 0,5	-5	-10; -3,5	-1,5	-2; 1	-3	-6; -2,5	0	0; 0
D	-0,1	-1; -0,5	-2	-6; 0	0	-2,5; 1	-1,5	-5; 0	-1	-1,5; -1
E	0	-1; 0	5	3; 6,5	-0,5	-3; 3	8	4,5; 9	0,5	-3; 2,5
F	0	0–0	0	0–0	-1,5	-2; 3	0	0–0	0	-4; 2,5

При оценке смещения туловища в латерально-медиальном направлении в статическом тесте отметили минимальное смещение на уровнях B, C, D. В вентрально-дорзальном направлении отмечено значительное смещение туловища кзади на уровнях A, B, C. В разделе «Отклонения» в латерально-медиальном направлении отмечена тенденция к смещению на уровнях B, C, D, а

также на уровне F. Показатели A и E имеют положительные значения. Однако, как видно из данных таблицы в вентрально-дорзальном направлении мы видим изменение отклонения практически на всех уровнях. Ротационный компонент практически не выражен на всех уровнях.

При оценке тех же показателей в динамическом тесте отмечено сохранение значений в смещении в латерально-медиальном направлении на уровнях B, C, D, также добавляется смещение на уровне A. При оценке вентрально-дорзального смещения отмечено увеличение отклонения в дорзальном направлении на уровне B и D, а показатель E сменился в положительную сторону, и данное изменение является единственно статистически значимым из всех уровней смещений ($p = 0,018$). В разделе «Отклонения» статистически значимые изменения отмечаются только на уровне E ($p = 0,012$). Остальные значения изменены незначительно.

При оценке ротационных изменений по результатам статического и динамического тестов статистически значимых различий не отметили.

3.4. Сравнение результатов биомеханического обследования основной и контрольной групп пациентов

Для оценки влияния неравенства длины нижних конечностей на положение центра тяжести в статическом и динамическом положении была проведена статистическая обработка результатов двух тестов и сравнение при помощи непараметрического критерия Манна–Уитни. Полученные данные представлены в виде нескольких таблиц.

Таблица 3.9 – Результаты оценки положения центра тяжести основной и контрольной группы в статическом тесте

	Статический тест				p
	Основная группа		Контрольная группа		
	ME	Q ₁ ; Q ₃	ME	Q ₁ ; Q ₃	
Положение ЦТ (лат-мед, см)	-1	-2; 0	0	-1,7; 0	0,365
Положение ЦТ (вентр-дорз, см)	-1,5	-3; 0	-2	-5; 1,5	0,92
Положение ЦТ (кран-кауд, см)	64,5	63; 73	83	79,5; 86,5	≤ 0,001

Как можно увидеть из результатов Таблицы 3.9 у пациентов с неравенством длины и без отмечается статически выраженная разница в положение ЦТ в краниально-каудальном направлении ($p \leq 0,001$). При оценке квартильного интервала можно отметить, что разброс цифр в основной группе превышает контрольную группу (10 сантиметров против 7 сантиметров). Однако в статическом положении данный показатель малоинформативен, так как показывает положение центра тяжести пациента в зависимости от его роста. При выполнении динамического теста его показатели можно расценивать более адекватно (Таблица 3.10).

Таблица 3.10 – Результаты оценки положения центра тяжести основной и контрольной группы в динамическом тесте

	Статический тест				p
	Основная группа		Контрольная группа		
	ME	Q ₁ ; Q ₃	ME	Q ₁ ; Q ₃	
Положение ЦТ (лат-мед, см)	-1	-1; -1	-1	-1,5; -0,5	0,714
Положение ЦТ (вентр-дорз, см)	-4,5	-6; -3	-2	-5,5; 0	0,165
Положение ЦТ (кран-кауд, см)	68,5	65; 75	89,5	85,0; 91,0	≤ 0,001

При сравнении показателей центра тяжести в динамическом тесте так же можно отметить статистическую разницу в краниально-каудальном направлении ($p \leq 0,001$). Оценивая интерквартильный интервал можно отметить разницу в положении ЦТ – 10 сантиметров в основной группе и 6 сантиметров в контрольной группе. Таким образом во время движения центр тяжести пациентов с неравенством длины нижних конечностей в краниально-каудальном направлении проходит на 4 сантиметра больше, чем у пациентов с одинаковой длиной нижних конечностей. При проведении поиска статистически значимых различий в результатах смещения в горизонтальной плоскости в обеих группах не найдено.

Таблица 3.11 – Результаты смещения туловища во фронтальной плоскости при выполнении статического теста пациентами основной и контрольной группы

	Статический тест				p
	Основная группа		Контрольная группа		
	ME	Q ₁ ; Q ₃	ME	Q ₁ ; Q ₃	
ДТ (см)	40	19; 65	15,5	13,5; 24	0,029
C90 (см ²)	3	2; 7	1	1; 1	0,013
C90 (°)	11,5	-7; 22	-16,5	-52; 26,5	0,188
Плотность ЦТ (%)	47,5	46; 51	51	46,5; 58	0,238
REC (см ²)	3	1; 6	1	0,5; 1	0,02
RMS (см ²)	1	0; 1	0	0; 0	0,029
СКО (см)	64,5	63; 73	13	10; 15,5	0,001

При оценке во фронтальной плоскости напротив мы можем отметить достаточно много статистически значимых различий. Как видно из результатов Таблицы 3.11 длина траектории центра тяжести пациентов с неравенством длины нижних конечностей превышает значение данного показателя у пациентов с одинаковой длиной ног ($p = 0,029$). Как было описано выше – длина траектории это расстояние, которое проходит центр тяжести (ЦТ) объекта за определенный период времени. Таким образом ЦТ пациентов с разновеликостью проходит большее расстояние в попытке стабилизации туловища, затрачивая больше сил и энергии на выполнение данного действия.

При сравнении показателей $C90$ (см^2) не смотря на невыраженную разницу в средних значениях (3 см^2 против 1 см^2), она, тем не менее, статистически значима ($p = 0,013$). Так как данный показатель определяет площадь эллипса минимального размера, в который попадает 90% всех точек положения ЦТ за время проведения теста, можно заключить, что площадь эллипса пациентов с разновеликостью больше, чем у пациентов с равной длиной конечностей. Другими словами – отклонение туловища пациентов в стороны в основной группе больше, чем в контрольной.

Показатель $C90$ ($^\circ$) в обеих группах не показал статистически значимых различий, не смотря на положительное значение в основной группе и отрицательное значение в контрольной группе ($p = 0,188$). Так как данное измерение показывает угол насколько градусов ориентированно распределение точек ЦТ и в какую сторону пациент отклонялся при ходьбе больше всего, то мы можем отметить, что пациенты основной группы больше отклонялись в горизонтальной плоскости, в отличии от пациентов контрольной группы.

Результаты оценки плотности центра тяжести также не показали статистически значимой разницы в обеих группах, в то время как показатели REC, RMS и СКО оказались значимы ($p = 0,02$, $p = 0,029$, $P = 0,001$ соответственно). Учитывая, что REC и RMS целесообразно оценивать вместе, можно отметить, что данный показатель в контрольной группе меньше, чем в основной. Как было описано выше – чем ближе друг к другу значения REC и RMS, тем более равномерно двигался пациент. Таким образом по результатам данных показателей можно отметить, что неравенство длины нижних конечностей влияет на равномерное движение в горизонтальной плоскости. При оценке показателя СКО по результатам Таблицы 3.11 мы можем отметить достаточно выраженную разницу средних в основной и контрольной группе. СКО дает нам представление о том, насколько сильно данные отклоняются от среднего значения.

Таблица 3.12 – Результаты смещения туловища в сагиттальной плоскости при выполнении статического теста пациентами основной и контрольной группы

	Статический тест				p
	Основная группа		Контрольная группа		
	ME	Q ₁ ; Q ₃	ME	Q ₁ ; Q ₃	
ДТ (см)	64	24; 92	39,5	20; 70	0,365
C90 (см ²)	6,5	24 8	4	2; 5,5	0,267
C90 (°)	-4,5	-8; 1	-4	-7; 2,5	0,714
Плотность ЦТ (%)	48,5	47; 52	53	48; 65,5	0,127
REC (см ²)	7	2; 8	3,5	2; 4	0,165
RMS (см ²)	1,5	1; 2	1,5	0,5; 4	0,664
СКО (см)	64,5	63; 73	24,5	21; 27	0,001

Малые значения СКО указывают на меньший разброс данных и, следовательно, на более стабильное движение. По результатам измерений данного значения можно заключить, что пациенты с одинаковой длиной нижних конечностей более стабильно удерживают положение туловища в горизонтальной плоскости. При оценке результатов статистического теста обеих групп в сагиттальной плоскости можно отметить, что практически все показатели являются статистически не значимыми, из чего следует вывод – неравенство длины статистически не влияет на положение туловища в статическом положении в сагиттальной плоскости. Единственный показатель, который показывает статистически значимую разницу – СКО ($p = 0,001$). Однако в отрыве от остальных показателей данный результат сложно оценить полноценно.

Показатели центра тяжести в динамическом тесте представлены в Таблице 3.13.

Таблица 3.13 – Результаты смещения туловища в горизонтальной плоскости при выполнении динамического теста пациентами основной и контрольной группы

	Статический тест				p
	Основная группа		Контрольная группа		
	ME	Q ₁ ; Q ₃	ME	Q ₁ ; Q ₃	
ДТ (см)	130	76; 172	57,5	49,5; 93	0,006
C90 (см ²)	52	37; 93	42,5	32,5; 50	0,212
C90 (°)	-13,5	-52; 52	-4	-75,5; 60	0,973
Плотность ЦТ (%)	48,5	47; 52	51	47,5; 52,5	0,764
REC (см ²)	54,5	30; 86	23,5	17,5; 29	0,003
RMS (см ²)	17	8; 27	5	5; 7	0,001
СКО (см)	5,5	4; 7	5,5	4,5; 7,5	0,616

В отличие от статического положения при движении мы можем отметить изменения в горизонтальной плоскости. Как было отмечено ранее длина траектории ЦТ в каждой группе различается, повышаясь в динамическом тесте. Из результатов Таблицы 3.13 мы можем отметить, что длина траектории в основной группе более выражена, чем в контрольной, данная разница статистически значима ($p = 0,006$). Исходя из показателей можно сделать вывод, что длина траектории у пациентов с разновеликостью значительно больше, чем у пациентов с равной длиной конечностей не только в статическом положении, но и в динамическом.

Показатели С90 (см²), С90 (°) и плотность ЦТ в обеих группах не имеют статистически значимых различий, что указывает на отсутствие влияния разницы длины нижних конечностей на эти показатели в горизонтальной плоскости.

Однако отмечена статистически значимая разница в значениях REC и RMS ($p = 0,003$ и $p = 0,001$ соответственно), что указывает на менее равномерное движение в горизонтальной плоскости у пациентов основной группы.

Показатель СКО в обеих группах при проведении динамического теста не показывает статистических различий, так как в среднем является одинаковым.

Таблица 3.14 – Результаты смещения туловища во фронтальной плоскости при выполнении динамического теста пациентами основной и контрольной группы

Динамический тест					
	Фронтальная плоскость				p
	Основная группа		Контрольная группа		
	ME	Q ₁ ; Q ₃	ME	Q ₁ ; Q ₃	
ДТ (см)	103,5	77; 135	45,5	43,5; 54	≤ 0,001
C90 (см ²)	50	27; 82	35,5	25; 47	0,165
C90 (°)	-16	-59; 26	-0,5	-38; 20,5	0,714
Плотность ЦТ (%)	52	47; 54	55	52; 55,5	0,330
REC (см ²)	40,5	25; 79	15	9; 20	≤ 0,001
RMS (см ²)	10	8; 26	12,5	8,5; 16,5	0,815
СКО (см)	68,5	65; 75	20,5	17,5; 24,5	≤ 0,001

Исходя из данных Таблицы 3.14 длина траектории ЦТ имеет статистически значимую разницу ($p \leq 0,001$) и в контрольной группе практически в 2,3 раза меньшее значение, чем в основной группе.

Показатели С90 (см²), С90 (°) и плотность ЦТ, как и в горизонтальной плоскости, не имеют статистически значимых различий, что также указывает на отсутствие влияния разницы длины нижних конечностей на эти показатели во фронтальной плоскости.

По результатам сравнения результатов целесообразно отметить значения REC и RMS. При оценке REC мы видим статистически значимую разницу показателей ($p \leq 0,001$), а средняя величина данного измерения в контрольной группе в 2,7 раза меньше, чем в основной группе. Также важно заметить, что интерквартильный интервал показывает большую ширину значений в основной группе (25–79), по сравнению с контрольной. А при оценке RMS мы можем отметить обратную картину. Данный показатель в контрольной группе, не смотря на меньший интерквартильный интервал, в среднем оказался больше, чем в основной группе пациентов.

СКО во фронтальной плоскости, в отличие от горизонтальной, показывает выраженную статистически значимую разницу ($p \leq 0,001$), что в общем указывает на более стабильное положение пациентов без разновеликости.

Таблица 3.15 – Результаты смещения туловища в сагиттальной плоскости при выполнении динамического теста пациентами основной и контрольной группы

Динамический тест					
	Сагиттальная плоскость				p
	Основная группа		Контрольная группа		
	ME	Q ₁ ; Q ₃	ME	Q ₁ ; Q ₃	
ДТ (см)	119,5	80; 152	92,5	78; 112,5	0,267
С90 (см²)	58	38; 68	23	18,5; 26	≤ 0,001
С90 (°)	-13	-57; 8	-23,5	-28,5; -13	0,815
Плотность ЦТ (%)	52,5	49; 54	55	51,5; 56	0,297
REC (см²)	45,5	29; 62	24,0	20,5; 29	0,002
RMS (см²)	10,5	7; 15	5,5	4,5; 7,5	0,005
СКО (см)	68,5	65; 75	28	24,5; 30	≤ 0,001

Из результатов Таблицы 3.15 в сагиттальной плоскости мы можем отметить, что длина траектории не зависит от длины нижних конечностей ($p = 0,267$), однако площадь эллипса С90 (см²) в контрольной группе значительно меньше ($p \leq 0,001$), что указывает на более стабильное движение без отклонений.

Показатели С90 (°) и плотность ЦТ в обеих группах не показывают статистически значимых различий, в то время как все три измерения REC, RMC и СКО в динамическом тесте дают нам значимую разницу ($p = 0,002$, $p = 0,005$, $p \leq 0,001$ соответственно). Данный результат говорит о выраженном влиянии разновеликости нижних конечностей на положение центра тяжести человека во время динамического движения.

Оценка показателей смещения, отклонения и ротации корпуса в обеих группах как в статическом, так и в динамическом тесте не показывает статистически значимых различий в результатах измерений. Данный исход можно объяснить тем, что показатели, полученные в результате прохождений не настолько выражены, чтобы влиять на общее положение туловища вне зависимости от наличия или отсутствия разницы в длине нижних конечностей.

3.5. Обсуждение результатов обследования

Проведенное биомеханическое исследование пациентов основной группы с использованием диагностического комплекса Nabilest позволило выявить комплекс характерных нарушений статодинамической функции, обусловленных имеющейся патологией. Анализ полученных данных свидетельствует о формировании у пациентов устойчивого патологического двигательного стереотипа, направленного на компенсацию анатомического дефекта, который проявляется уже в

условиях статического позиционирования и значительно усугубляется при выполнении динамических тестов, имитирующих ходьбу.

Общая характеристика статических нарушений

По результатам оценки полученных результатов у пациентов в положении стоя отмечается выраженная асимметрия опоры со смещением центра тяжести в сторону более короткой конечности. Данные изменения сопровождаются компенсаторным отклонением туловища кзади (в дорзальном направлении), что подтверждается статистически значимыми изменениями положения ЦТ в вентро-дорзальной и кранио-каудальной плоскостях ($p = 0,01$ и $p = 0,002$ соответственно). Такое положение формируется как адаптация организма на разницу длины конечностей, в результате чего увеличивается площадь опоры и повышается общая устойчивость.

Анализ стабилметрических параметров (REC, RMS, СКО) в статическом положении показал, что пациенты достаточно хорошо поддерживают вертикальное положение, несмотря на наличие асимметрии нижних конечностей: значения RMS находятся в пределах физиологической нормы, а низкие показатели REC указывают на малый разброс результатов. Это говорит о том, что в условиях отсутствия движения пациентам удастся эффективно контролировать положение тела за счет напряжения определенных мышечных групп. Однако высокие значения СКО во фронтальной и сагиттальной плоскостях свидетельствуют о наличии постоянных колебательных движений, что указывает на нестабильность и высокую физическую нагрузку для удержания равновесия.

Динамические изменения и нарушение локомоторной функции

Проведение динамического теста с имитацией ходьбы выявило более яркую картину имеющихся нарушений. Основные изменения выявлены в координации движений и траектории центра тяжести во время движения:

1. По результатам исследования отмечено увеличение амплитуды движений - при проведении динамического теста статистически значимо увеличилась длина траектории ЦТ во всех трех плоскостях ($p < 0,01$). Наибольшие изменения отметили в горизонтальной плоскости. Параллельно с этим выросла площадь эллипса С90 и показателя RMS ($p = 0,001$), что свидетельствует о существенном снижении точности движений, а также повышении нестабильности положения при выполнении шага. Увеличение площади разброса (REC) в динамическом тесте подтверждает, что траектория движения центра ЦТ более хаотичной и менее подвержена контролю ($p = 0,001$).

2. При проведении динамического теста базовая асимметрия нагрузки на нижние конечности сохраняется. Вес также смещен в сторону более короткой конечности, однако в ходьбе отмечается тенденция к некоторому увеличению нагрузки на длинную конечность. Отсутствие статистической значимости этого перераспределения ($p = 0,875$) указывает на то, что пациенты не способны в полной мере перестроить стереотип опоры в условиях движения, перенося «статическую» компенсацию на фазу шага.

3. Наиболее показательные данные получены при анализе смещений и отклонений на различных уровнях позвоночника и нижних конечностей:

3.1) верхние отделы (А, В, С, D): в динамике сохраняется латеральное смещение туловища в сторону короткой конечности. Однако достоверное усиление дорзального отклонения на этих уровнях ($p < 0,05$) подтверждает, что пациенты еще больше отклоняют корпус назад, пытаясь облегчить пронос длинной конечности и скомпенсировать ее избыточную массу;

3.2) коленный сустав (уровень E): выявлена важная компенсаторная перестройка в работе коленного сустава. В статике отмечалось смещение в дорзальном направлении (положение рекurvации). В динамике зафиксировано статистически значимое изменение вектора смещения на вентральное ($p = 0,002$), что, вероятно, отражает попытку стабилизировать сустав и адаптировать его к фазе переноса и опоры;

3.3) дистальные отделы (уровень F): отсутствие значимых изменений в смещении стопы, наряду с появлением ротационных изменений на уровне колена и стопы, может указывать на то, что основная компенсаторная нагрузка приходится на проксимальные отделы, в то время как дистальные сегменты выступают в роли пассивных стабилизаторов.

Биомеханическое исследование пациентов основной группы позволило качественно и количественно оценить сложные компенсации, развивающиеся с целью коррекции неравенства длины нижних конечностей. По результатам исследования выявили, что патологический стереотип во время статического положения (смещение центра тяжести в сторону короткой конечности и дорзальный наклон корпуса), является устойчивым и прогрессирует при переходе к динамическому тесту. Это подтверждается статистически достоверным ухудшением всех параметров координации положения, увеличением разброса траектории движения и нарушением опороспособности. Полученные статистически подтвержденные закономерности имеют важное клиническое значение, так как определяют важные пункты для последующей реабилитации, направленной на восстановление правильного стереотипа ходьбы, а также симметричного распределения нагрузки.

Результаты биомеханического исследования пациентов группы сравнения (с одинаковой длиной нижних конечностей) показали другую картину статодинамических показателей по сравнению с основной группой. У пациентов без разновеликости в положении стоя наблюдается симметричное распределение нагрузки на правую и левую нижние конечности. Положение центра тяжести также стабильно в латерально-медиальном и вентро-дорзальном направлениях. Показатели удержания позы (RMS, REC) находятся в пределах физиологических значений, что свидетельствует о сбалансированной работе мышц туловища и мышц, окружающих таз, отсутствии необходимости формирования компенсаторного положения. При проведении динамического теста пациенты показали эффективную адаптацию к динамической нагрузке, движения стали более

симметричными и стабильными. Результаты обследования переход к имитации ходьбы сопровождается ожидаемым физиологическим увеличением большинства стабилметрических показателей (длина траектории, площадь эллипса, RMS, СКО), что отражает естественное усложнение задачи управления движением.

Однако ключевым отличиями от основной группы являются:

1. Несмотря на движение, значимого перераспределения нагрузки на одну из конечностей не происходит, что подтверждает отсутствие латерального компенсаторного компонента.
2. Наименьшие значения длины траектории во фронтальной плоскости как в статическом, так и в динамическом тесте указывают на хорошую боковую устойчивость.
3. Увеличение показателей REC и RMS в динамическом тесте не выходит за рамки физиологической реакции и не сопровождается хаотичностью движений.

На сегментарном уровне (смещения и отклонения по линиям A-F) у пациентов группы сравнения также прослеживается физиологичный стереотип:

1. В статическом положении отмечается минимальное смещение на уровнях туловища (B, C, D) и естественный дорзальный наклон корпуса.
2. В динамическом тесте единственным статистически значимым изменением стало смещение и отклонение на уровне коленного сустава (E) в вентральном направлении
3. Отсутствие ротационных изменений на всех уровнях свидетельствует о сохранности физиологического стереотипа ходьбы без скручивающих компенсаторных движений.

Таким образом, группа сравнения демонстрирует более правильную реакцию организма на статическую и динамическую нагрузку.

Сравнительный статистический анализ данных, полученных в основной группе и группе сравнения, позволил подтвердить, что разница длины нижних конечностей оказывает системное влияние на биомеханику всего скелета. Выявленные различия носят не локальный, а генерализованный характер, затрагивая все исследуемые плоскости и уровни движения.

Ключевые межгрупповые различия

1. Вертикальная ось (кранио-каудальное направление). Наиболее выраженные различия зафиксированы именно здесь. В динамическом тесте центр тяжести пациентов основной группы проходит в вертикальном направлении в среднем на 4 см больше, чем в группе сравнения ($p \leq 0,001$). Это свидетельствует о том, что компенсация асимметрии длины ног достигается за счёт избыточных вертикальных колебаний всего тела, вовлекающих позвоночник и вышележащие отделы.

2. Стабильность и равномерность движений. Во всех плоскостях у пациентов основной группы отмечается статистически значимое ухудшение показателей, отвечающих за стабильность:

2.1) **длина траектории центра тяжести** значимо выше в основной группе как в статике, так и в динамике ($p = 0,006–0,029$). Это означает, что пациентам требуется больше микродвижений для удержания равновесия, что указывает на хроническое перенапряжение постуральной мускулатуры;

2.2) **показатели REC и RMS**, оценивающие компактность и равномерность траектории, демонстрируют значимо худшие значения в основной группе ($p = 0,001–0,02$). Траектория движения центра тяжести у пациентов с разновеликостью более хаотична и разбросана, что говорит о нарушении координации на всех уровнях скелета;

2.3) **Показатель СКО (среднеквадратичное отклонение)** выше в основной группе в горизонтальной и фронтальной плоскостях, что говорит об общей нестабильности кинематической цепи.

3. **Сегментарный уровень (смещения, отклонения, ротации)** у пациентов основной группы захватывают все уровни – от головы (А) до коленного сустава (Е), тогда как в группе сравнения изменения минимальны и локализованы преимущественно на уровне туловища.

4. **Наиболее информативные показатели.** Различия пациентов с разновеликостью и без позволяет прежде всего отметить интегральные показатели динамических тестов: **длина траектории ЦТ, REC, RMS и СКО** во всех трёх плоскостях. Именно они отражают системный характер нарушений, тогда как изолированные угловые параметры ($C90^\circ$) или плотность ЦТ оказались менее чувствительными.

Сравнительный анализ подтвердил, что разница длины нижних конечностей является не локальным дефектом, а **важным биомеханическим фактором**, перестраивающим работу всего опорно-двигательного аппарата. Компенсаторный стереотип положения, начинаясь в тазовом поясе, может распространяться как вверх, вовлекая все отделы позвоночника, так и вниз, изменяя биомеханику коленных суставов. Это приводит к формированию устойчивого патологического двигательного стереотипа, характеризующегося асимметрией, нестабильностью, повышенными энергозатратами и появлением торсионных нагрузок.

Полученные данные обосновывают необходимость рассматривать пациентов с разновеликостью нижних конечностей как группу риска по развитию вторичных деформаций позвоночника, хроническому болевому синдрому и преждевременному износу суставов не только на стороне патологии, но и на всех уровнях опорно-двигательного аппарата. Коррекция длины конечности, таким образом, является не косметической или узко ортопедической, а системной профилактической мерой, направленной на сохранение биомеханического здоровья всего скелета.

Глава 4. ЛЕЧЕНИЕ ПАЦИЕНТОВ СО ВТОРИЧНЫМИ ДЕФОРМАЦИЯМИ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ ПОСЛЕ ОПЕРАТИВНЫХ ВМЕШАТЕЛЬСТВ НА ТАЗОБЕДРЕННОМ СУСТАВЕ

4.1. Общие принципы хирургического лечения

Для коррекции вторичных деформаций проксимального отдела бедренной кости, разности ног мы использовали методы временного блокирования зон роста нижней конечности: временный эпифизиодез шейки бедренной кости, большого вертела, а также зон роста области коленного сустава. Данная технология отличалась малотравматичностью, не требовала длительного восстановительного лечения и практически не нарушала привычный образ жизни ребенка. Для выбора тактики и уровня оперативного вмешательства все пациенты проходили клинический осмотр и инструментальные исследования.

4.2. Хирургическое лечение детей с неравенством длины нижних конечностей

Основными показаниями для проведения хирургического лечения с применением методики временного блокирования зон роста являлись:

- неравенство длины нижних конечностей от 1 до 3 сантиметров;
- наличие жалоб пациента на нарушение походки, хромоту, неудобство удержания статического положения тела длительный период времени;
- соответствие биологического возраста паспортному.

По итогам оперативного лечения неравенства длины нижних конечностей у 56 пациентов по методике, предложенной Р. Stevens всего было установлено 130 пластин для временного эпифизиодеза. При этом эпифизиодез бедренной кости выполнялся в 52 случаях (92,86%), большеберцовой кости в 2 (3,57%), у 8 пациентов (14,29%) выполнялся эпифизиодез обоих сегментов. В 4 случаях (7,14%) выполнялась одномоментная установка металлоконструкций на 2 уровнях в связи с возрастом пациентов, близкому к окончанию костного роста.

Для коррекции разности ног применяли методику управления зонами роста с помощью 8-ми образных пластин. 8-образная пластина представляет собой металлический имплант, изготовленный из титанового сплава (Набор имплантатов для детской ортопедии «ОртоКид» (OrthoKid). ВТ-14 по ГОСТ 19807) и нержавеющей стали (316 LVM по стандарту ASTM F-138), имеющий два типоразмера – малая 22 мм и большая 26 мм. Ширина обоих типоразмеров пластин составляет 10 мм, высота 1,5 мм. Пластина имеет три отверстия. Одно отверстие в центре пластины (1) диаметром 1,7 мм используется для проведения направляющей спицы, два отверстия на концах металлоконструкции (2) для установки винтов. Внутренний диаметр отверстий в обоих типоразмерах составляет 4,7 мм (Рисунок 4.1).



Рисунок 4.1 – 8-образная пластина OrtoKid большого и малого типоразмера

Оперативное вмешательство проводили с использованием регионарной анестезии, под жгутом, через два небольших разреза длиной до 2 см. Для установки металлоконструкций использовалась стандартная техника, которая была предложена автором методики Р. М. Stevens (2006). После выполнения доступа под контролем ЭОП при помощи спицы Киршнера (1,0–1,5 мм) через центральное отверстие пластины маркировали зона роста. По спице Киршнера накладывали пластину так, чтобы ее отверстия располагались на противоположных сторонах от зоны роста. Оценку правильного расположения металлоконструкций проводили под ЭОП-контролем. После чего фиксировали пластину на кости канюлированными винтами, проведенными по направляющим спицам. Раны ушивали послойно с внутрикожным швом (Рисунок 4.2).

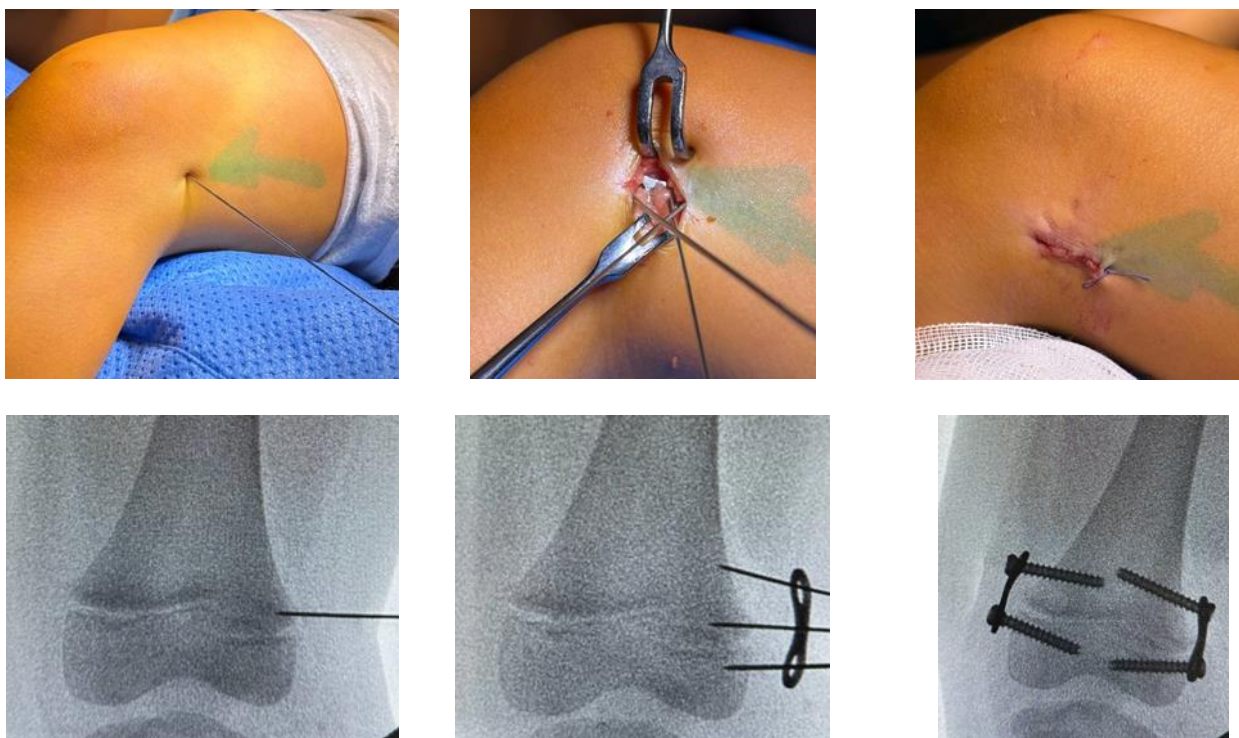


Рисунок 4.2 – Методика выполнения временного эпифизиодеза латеральной зоны роста дистального метаэпифиза бедренной кости (из личного архива автора)

Малоинвазивность методики позволяет не использовать иммобилизацию после проведения оперативного вмешательства. У пациентов, которым проводили одномоментное вмешательство

на 2-х уровнях, использовали эластичную компрессию нижней конечности для снижения отека колена. Вертикализация пациентов с полной осевой нагрузкой на оперированную конечность проводилась на следующий день после оперативного вмешательства.

Контроль после оперативного вмешательства проводили через 3 месяца, в дальнейшем через каждые 6 месяцев. Постуральные рентгенограммы нижних конечностей или КТ-скиаграмма выполняли 1 раз в 6 месяцев.

4.3. Оценка эффективности малоинвазивной методики временного эпифизиодеза у пациентов с неравенством длины нижних конечностей после оперативного лечения на тазобедренном суставе

Основываясь на данных, описанных в 3-й главе, для оценки методики временного эпифизиодеза мы определяли сроки коррекции разновеликости и объем коррекции.

На момент анализа результатов из 56 пациентов с неравенством длины нижних конечностей лечение окончили 44 пациента (78,6%), 12 детей (21,4%) продолжают лечение.

Основными факторами, влияющими на положительный результат коррекции разновеликости нижних конечностей, является возраст установки металлоконструкций, так как от этого зависит функциональное состояние ростковой пластины, сегмент установки, и сроки фиксации (Таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Результаты лечения пациентов с неравенством длины нижних конечностей

Сегмент	Количество пациентов	Возраст, лет		Длительность эпифизиодеза, дни	
		М ± SD	95%-й ДИ	М ± SD	95%-й ДИ
Бедро	44	9,07±2,72	8,05–10,08	623,12±207,92	549,12–696,85
Голень	4	11±3,36	5,64–16,36	591,5±135,89	375,26–807,74

Как видно из данных, представленных в Таблице 4.1, средний возраст пациентов, проходивших лечение, составлял 9–11 лет. Длительность эпифизиодеза сегмента бедра составила от 1 года 2 месяцев до 2 лет 1 месяцев, коррекция сегмента голени составила от 1 года 5 месяцев до 1 года 10 месяцев.

Для определения динамики нарастания неравенства длины нижних конечностей была проведена оценка возраста, в котором ранее было проведено оперативное лечение на тазобедренном суставе, и возраста, в котором выполнена операция эпифизиодеза (Таблица 4.2).

Как видно по данным Таблицы 4.2 разница в длине нижних конечностей в среднем нарастала через 2 года после оперативного лечения на проксимальном отделе бедренной кости. Самые ранние сроки нарастания неравенства длины отмечены у пациентов, перенесших Болезнь Легга

– Кальве – Пертеса и в последствии асептического некроза головки бедренной кости, так как данные патологии способствуют укорочению пораженной конечности в связи с деформацией головки бедренной кости.

Таблица 4.2 – Динамика нарастания неравенства длины нижних конечностей

Количество пациентов	Возраст оперативного лечения на бедре (лет)		Возраст выполнения эпифизиодеза (лет)		Нарастание неравенства (дни)	
	M ± SD	Min – Max	M ± SD	Min – Max	M ± SD	Min – Max
56	5,5±2,9	0,6–12	9,2±2,4	3,8–13,9	746,5±953,22	55–3290

В рамках работы показателем эффективности методики являлся объем коррекции неравенства длины. Полученные результаты мы разделили на три группы (Рисунок 4.3):

- 1) полная коррекция неравенства длины;
- 2) частичная коррекция неравенства длины (остаточное неравенство 0,5–1,0 см);
- 3) отсутствие коррекции неравенства длины.

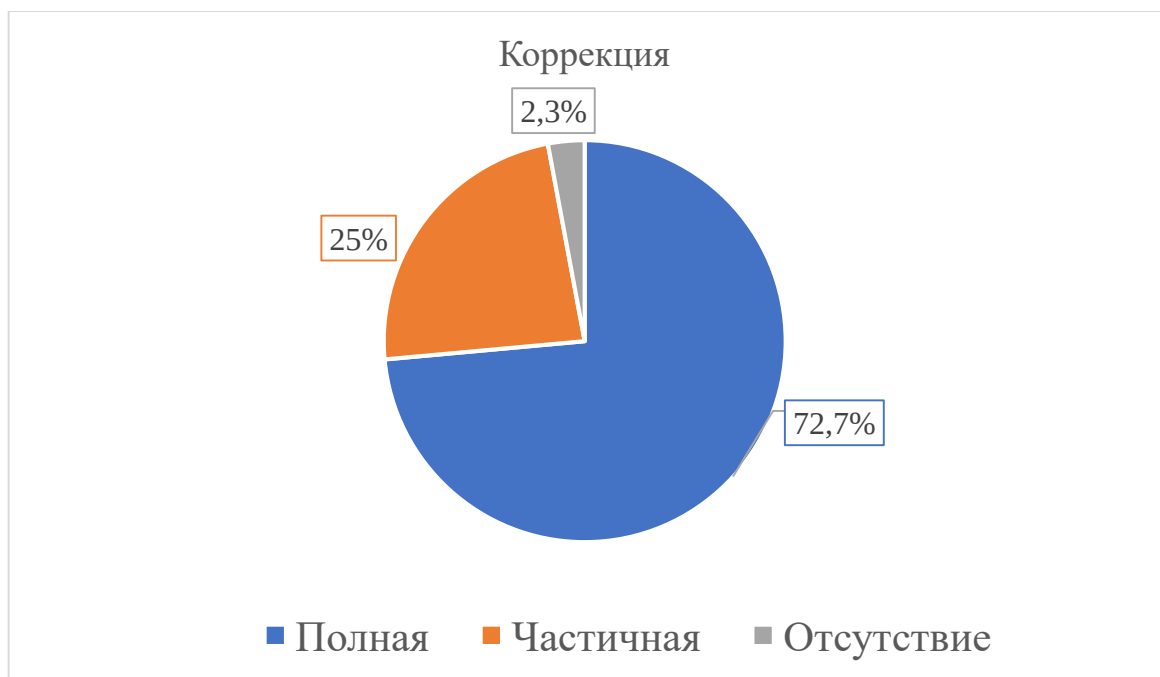


Рисунок 4.3 – Оценка эффективности использования методики временного блокирования зон роста у пациентов с неравенством длины нижних конечностей

о итогах лечения у 32 пациентов (72,7%) отмечена полная коррекция неравенства длины нижних конечностей. Все пациенты находятся под дальнейшим динамическим наблюдением для оценки сохранения скорректированной длины. У 11 пациентов (25%) отмечена частичная коррекция длины. Остаточное неравенство в среднем составило $7,1 \pm 3,5$ мм. Данный результат расценен

нами как положительный, так как остаточное неравенство составило меньше 1 см. Функционально и с точки зрения биомеханики разновеликость такой величины является прогностически благоприятным.

Проведен анализ эффективности использования метода управляемого роста для коррекции неравенства длины в зависимости от возраста пациентов (Таблица 4.3).

Таблица 4.3 – Анализ эффективности использования метода управляемого роста. В таблице n – количество пациентов

Результаты	Возраст (лет)					
	4–7		8–11		12–16	
	n	%	n	%	n	%
Полная коррекция	14	87,5	16	76,2	2	28,6
Частичная коррекция	2	12,5	4	19	5	71,4
Отсутствие коррекции	–	–	1	4,8	–	–
Всего	16	100	21	100	7	100

Интерпретация данных Таблицы 4.3 позволяет сделать нам следующие выводы о методике временного эпифизиодеза зон роста в разных возрастных группах:

1. Эффективность полной коррекции снижается с возрастом:
 - в группе 4–7 лет она составляет 87,5%;
 - в группе 8–11 лет – 76,2%;
 - а в группе 12–16 лет падает до 28,6%.
2. Частичная коррекция, напротив, увеличивается с возрастом:
 - в группе 4–7 лет она наблюдается у 12,5% пациентов;
 - в группе 8–11 лет показатель составляет 19%;
 - но значительно повышается до 71,4% в группе 12–16 лет.
3. Отсутствие коррекции также варьируется:
 - в младшей группе (4–7 лет) данные отсутствуют, но можно предположить, что процент отсутствия коррекции остается низким;
 - в средней группе (8–11 лет) этот показатель составляет всего 4,8%;
 - в старшей группе (12–16 лет) данные об отсутствии также отсутствуют.

Таким образом, методика временного эпифизиодеза более эффективна для младших возрастных групп, особенно в достижении полной коррекции. С увеличением возраста пациентов эффективность метода снижается, и в старшей возрастной группе (12–16 лет) процент частичной коррекции в разы больше, чем полной.

Проведена оценка скорости коррекции неравенства длины нижних конечности в зависимости от возраста пациентов. Данные представлены в Таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Скорость коррекции длины нижних конечностей в зависимости от возраста пациентов

Возрастная подгруппа (n = количество пациентов)	Возраст эпифизиодеза, лет		Длительность эпифизиодеза, дни	
	M ± SD	95%-й ДИ	M ± SD	95%-й ДИ
4–7 лет (n = 16)	6,2±1,6	5,1–7,5	687,1±173,7	562,8–811,35
8–11 лет (n = 21)	9,6±1,5	8,8–10,3	642,8±389,7	442,5–843,2
12–16 лет (n = 7)	12,6±2,5	9,97–15,3	790,5±181,87	599,6–981,4

Как видно из данных, представленных в Таблице 4.4, самая быстрая коррекция была достигнута у пациентов возрастной группы 8–11 лет. Данные результаты связаны с тем, что в данном возрасте чаще всего встречается скачок роста, позволяющий быстрее добиться коррекции разноразмерности. Однако и длительность эпифизиодеза в данной возрастной группе варьируется намного больше, чем в младшей и старшей группах.

Группа пациентов 12–16 лет ожидаемо показала самый длительный срок коррекции. В данном возрасте активность ростковых пластин снижается, что увеличивает время, требуемое для коррекции. Так же в данном возрасте тяжелее предположить возможную коррекцию длины нижних конечности, что требует сугубо индивидуального подхода для определения сроков и возможности применения методики временного эпифизиодеза.

Клинический пример №1

Пациентка Б., 2015 г. р. Диагноз – Врожденный вывих правого бедра. Неравенство длины нижних конечностей (Рисунок 4.4)

Анамнез заболевания – в 3 месяца поставлен диагноз врожденный вывих правого бедра. Проводилось консервативное лечение без положительного эффекта. В 2021 году консультированы в 10-м отделении ЦИТО. При клиническом осмотре выявлено укорочение правой н/з конечности до 3 см, положительный тест Тренделенбурга справа. При пальпации отмечается краниально-дорзальное смещение головки бедренной кости выше зоны Розера – Нелатона.

Рентгенологическая картина при поступлении: наацетабулярный вывих головки правой бедренной кости с формированием неоартроза. Головка правой бедренной кости уменьшена, располагается вне вертлужной впадины в подвздошном вывихе, сформирована неовпадина. Шейка утолщена и укорочена, деформирована. ШДУ в прямой проекции справа 130 гр., слева 140, ШДУ в проекции внутренней ротации справа 120 гр, слева 130. Антеторсия справа 23 гр, слева 38,9 гр. КП головки б/к справа отрицательный, слева 0,8. Угол Виберга слева 20 гр., справа отр. (Рисунок 4.5).



Рисунок 4.4 – Пациентка Б. Фото пациентки и выполнение теста Тренделенбурга до оперативного лечения

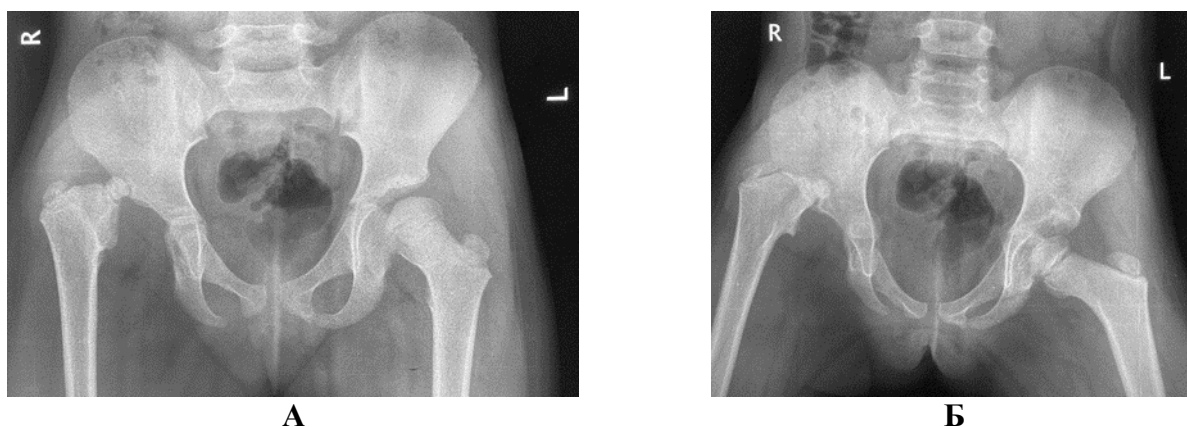


Рисунок 4.5 – Пациентка Б. Рентгенограммы тазобедренных суставов в прямой проекции (А) и в положении внутренней ротации с отведением (Б)

С целью коррекции тазобедренного сустава 27.04.2021 выполнена операция – Укорачивающая корригирующая остеотомия бедренной кости, открытое вправление головки бедренной кости, остеотомия таза по Солтеру (Рисунок 4.6).

Через год после оперативного лечения у пациентки отмечено укорочение правой нижней конечности на 2 см. По данным КТ-скиаграммы нижних конечностей – абсолютная длина правой нижней конечности – 512,6 мм, левой – 531,0 мм, длина правого бедра – 268,7 мм, длина левого бедра – 288,9 мм, длина правой голени – 245,5 мм, длина левой голени 241,7 мм. При клиническом осмотре отмечена хромота на правую нижнюю конечность. Пациентка отмечала дискомфорт при ходьбе, периодические боли при опоре на конечность.

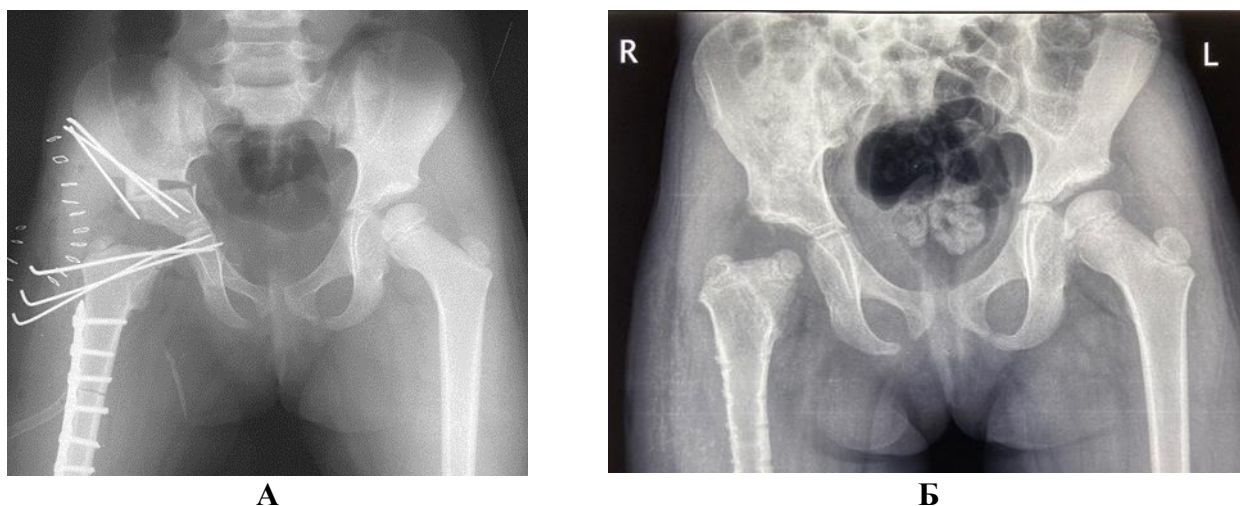


Рисунок 4.6 – Состояние после оперативного вмешательства (А) и через 12 месяцев (Б).

С целью коррекции неравенства длины нижних конечностей (20,2 мм за счет бедренного сегмента) и снижения ударной нагрузки на правый тазобедренный сустав 20.04.2022 выполнено временное блокирование зон роста левой бедренной кости (Рисунок 4.7).

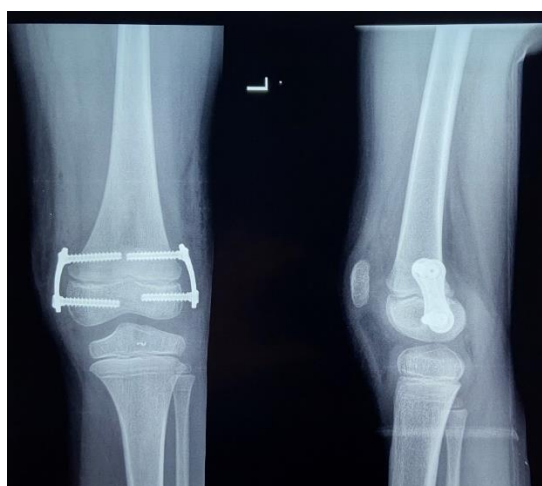


Рисунок 4.7 – Временный эпифизиодез зон роста левого бедра 8-образными пластинами

В феврале 2023 года по данным КТ-скиаграммы нижних конечностей – абсолютная длина правой нижней конечности – 548,3 мм, левой – 559,4 мм, длина правого бедра – 289,7 мм, длина левого бедра – 305,3 мм, длина правой голени – 255,7 мм, длина левой голени 251,6 мм. За 8 месяцев с момента проведения оперативного вмешательства коррекция длины бедренного сегмента составила 4,6 мм.

В феврале 2024 года по данным КТ-скиаграммы нижних конечностей – абсолютная длина правой нижней конечности – 579,0 мм, левой – 576,5 мм, длина правого бедра – 310,0 мм, длина левого бедра – 310,5 мм, длина правой голени – 264,7 мм, длина левой голени 263,4 мм. За 20 месяцев с момента проведения оперативного вмешательства неравенство длины за счет бедренных сегментов полностью скорректировано. Проведено удаление металлоконструкций (Рисунок 4.8).

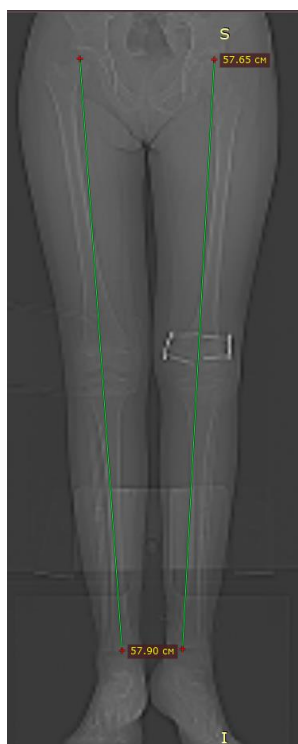


Рисунок 4.8 – Пациентка Б. КТ-скиаграмма длины нижних конечностей. Длина правой нижней конечности – 57,9 см, левой нижней конечности – 57,65 см

4.4. Обсуждение полученных результатов

Проведённый анализ эффективности временного эпифизиодеза у пациентов с неравенством длины нижних конечностей, развившимся после оперативного лечения патологии тазобедренного сустава, позволяет сделать следующие заключения.

Ключевым условием успешного применения методики управляемого роста является точная оценка остаточного потенциала роста пациента, таким образом принципиальное значение приобретает определение костного возраста, а не паспортного. Проведённая оценка рентгенограмм 32-х пациентов по методике Грегуля – Палмера показала, что у 78,2% детей костный возраст соответствовал биологическому, а у 21,8% наблюдалось его отставание в пределах 1–2 лет. Оценка костного возраста позволила нам более дифференцированно подойти к определению сроков вмешательства и обоснованно применить методику временного эпифизиодеза с учётом реального ростового потенциала каждого пациента.

Анализ клинических результатов подтвердил высокую эффективность метода: полная коррекция разновеликости достигнута у 72,7% пациентов, а в остальных случаях остаточная разница не превышала функционально и биомеханически приемлемого уровня (менее 1 см), что позволяет оценивать временный эпифизиодез как надёжный инструмент устранения асимметрии длины конечностей в растущем организме.

Возраст пациента выступает главным фактором успеха применения методики. Наилучшие результаты получены в возрастных группах 4–7 и 8–11 лет (полная коррекция у 80–83% детей), что

соответствует высокому ростовому потенциалу и максимальной активности зон роста. В пубертатном возрасте (12–16 лет) эффективность закономерно снижается: полная коррекция достигается лишь у 28,6% пациентов, тогда как у большинства удаётся добиться лишь частичной коррекции.

У пациентов младшего возраста высокий потенциал роста создаёт благоприятные условия для коррекции, однако рекомендованный срок фиксации металлоконструкциями (в среднем 2 года) может оказаться недостаточным для полной коррекции длины из-за продолжающегося активного роста ребёнка. В таких случаях важным преимуществом методики является возможность повторного выполнения эпифизиодеза через определённый промежуток времени, что позволяет продолжить коррекцию без потери достигнутого результата.

По мере приближения пациента к возрасту закрытия зон роста потенциал коррекции снижается. Также существуют сегментарные особенности – зоны роста бедренной кости закрываются быстрее, чем большеберцовой. Поэтому у пациентов старшей возрастной группы со сниженным потенциалом роста и исходной разновеликостью 1,5–2 см, обусловленной преимущественно бедренным сегментом, тактически оправдано выполнение эпифизиодеза обоих сегментов (бедра и голени), чтобы достичь суммарной коррекции за счёт блокирования всех сохраняющих активность зон роста.

Особую значимость полученным результатам придаёт их связь с данными биомеханического исследования (Глава 3). Ранее было доказано, что разница длины нижних конечностей оказывает системное негативное влияние на весь опорно-двигательный аппарат. Асимметрия длины ног инициирует формирование устойчивого патологического двигательного стереотипа, который проявляется смещением центра тяжести и перераспределением нагрузки на более короткую конечность, нестабильностью позвоночно-тазового комплекса с вовлечением всех отделов позвоночника вплоть до шейного, избыточными ротационными нагрузками, создающими предпосылки для сколиотических деформаций.

С нашей точки зрения, коррекция неравенства длины у пациентов с патологией тазобедренного сустава является важным и рациональным фактором, поскольку она позволяет:

- **стабилизировать тазобедренный сустав** за счёт восстановления симметричной нагрузки на суставные поверхности;
- **восстановить физиологическое положение центра тяжести**, устраняя его патологическое смещение в сторону короткой конечности;
- **улучшить баланс мышц, окружающих тазобедренный сустав**, создавая условия для симметричной работы мышечных групп-антагонистов;
- **восстановить физиологический паттерн походки**, устраняя вынужденные компенсаторные движения (дорзальный наклон корпуса, ротационные перекосы);

– **избежать использования внешней компенсации длины** (ортопедической обуви, стелек) или существенно снизить требуемую высоту компенсации, что повышает качество жизни пациента и его двигательный комфорт.

Эти изменения, закрепляясь в процессе роста, приводят к хронической перегрузке суставов, преждевременному износу хрящевой ткани и формированию вторичных деформаций, требующих в дальнейшем сложного и не всегда эффективного лечения.

Таким образом, своевременная коррекция неравенства длины нижних конечностей (предпочтительно до завершения активного роста, в возрасте до 11–12 лет) играет не только локальную роль в выравнивании длины ног, но и выполняет важнейшую профилактическую функцию. Устраняя асимметрию на этапе, когда компенсаторные перестройки ещё не успели закрепиться в виде устойчивого патологического стереотипа, мы предотвращаем или минимизируем каскад вторичных биомеханических нарушений во всех вышележащих отделах скелета.

Чем раньше проведена коррекция (с учётом подтверждённого рентгенологически костного возраста и остаточного потенциала роста), тем меньше вероятность:

- развития деформаций позвоночника;
- дисфункции тазобедренных и коленных суставов;
- формирования нефизиологичного стереотипа походки;
- возникновения хронического болевого синдрома в отдалённом периоде.

Временный эпифизиодез, выполненный на основании тщательной предоперационной подготовки, является эффективным методом коррекции разновеликости нижних конечностей у растущих пациентов. Максимальная результативность достигается при вмешательстве до 11–12 лет, что соответствует периоду высокого ростового потенциала. При этом методика допускает повторные вмешательства в случае продолжающегося роста, а в старшей возрастной группе требует сегментарно-ориентированного подхода с учётом различной скорости закрытия зон роста бедра и голени.

С позиций биомеханики и клинической практики, ранняя коррекция асимметрии длины ног выступает не просто как устранение локального дефекта, а как комплексное мероприятие, обеспечивающее стабилизацию тазобедренного сустава, восстановление физиологического положения центра тяжести, нормализацию мышечного баланса и паттерна походки, а также позволяющее минимизировать или полностью исключить использование внешних средств компенсации длины. Своевременное выявление пациентов с риском развития разновеликости и направление их на хирургическое лечение с учётом данных рентгенологического исследования зон роста должно стать стандартом подхода, направленного на профилактику вторичных ортопедических нарушений и сохранение биомеханического здоровья всего скелета в детском и подростковом возрасте.

4.5. Хирургическое лечение детей со вторичными деформациями проксимального отдела бедренной кости

С целью коррекции деформации шейки бедренной кости было временный эпифизиодез винтов осуществлен у 6 пациентов. Эпифизиодез большого вертела выполнен в 9 случаев.

Для коррекции деформации шейки бедренной кости выполняли общепринятую методику выполнения эпифизиодеза. В положении пациента на боку под ЭОП-контролем дистальнее зоны роста большого вертела проводили спицу-метку в область медиального или латерального края шейки. Спица должна прободать зону роста, но не выходить в полость сустава. По спице-метке проводили примерку необходимой длины винта, чтобы винт слегка выступал на латеральной стороне бедренной кости, после чего с помощью канюлированного сверла проводили рассверливание канала. Далее под ЭОП-контролем выполняли введение винта по сформированному каналу. Винт продвигали до тех пор, пока кончик винта не достигал зоны роста с ее прохождением. (Рисунок 4.9).

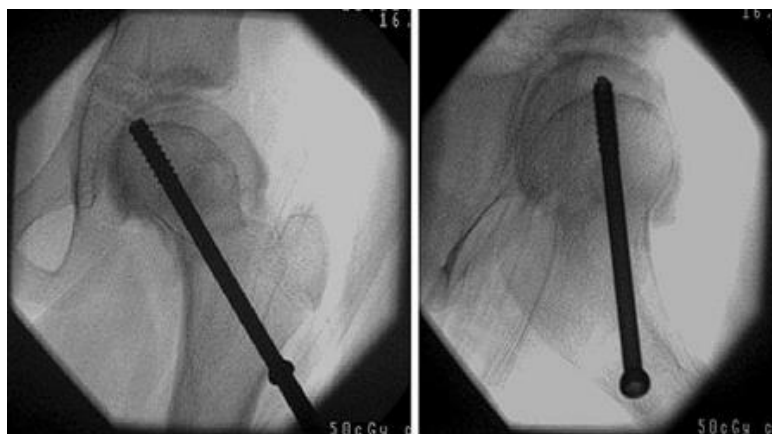


Рисунок 4.9 – Установка винта в шейку бедренной кости (S. McGillion, 2011)

После проведения оперативного лечения вертикализация пациента происходила на следующий день с полной нагрузкой на оперированную нижнюю конечность. Контроль после оперативного вмешательства проводили через 3 месяца, в дальнейшем через каждые 6 месяцев. Рентгенограммы тазобедренных суставов выполняли 1 раз в 6 месяцев.

При выполнении эпифизиодеза зоны роста большого вертела после проведения послойного доступа по боковой поверхности бедра под ЭОП-контролем проводили метку для визуализации зоны роста. Зона роста большого вертела разрушалась рассверливанием по ходу с латеральной, передне- и заднебоковой поверхностями бедренной кости без проникновения в вертельную ямку. Далее выполняли проведение спицы через апофиз большого вертела под углом близким к 90 гра-

дусов по отношению к дуге Адамса, после чего выполняли рассверливание в выбранном направлении и установка винта. Для более стабильной фиксации кончик винта выходил на медиальной поверхности бедренной кости около 2–3 мм. (Рисунок 4.10)



Рисунок 4.10 – Установка винта в большой вертел бедренной кости (D. Schneidmueller, 2006)

После проведения оперативного лечения вертикализация пациента происходила на 3–5 день с полной нагрузкой на оперированную нижнюю конечность. Контроль после оперативного вмешательства проводили через 3 месяца, в дальнейшем через каждые 6 месяцев. Рентгенограммы тазобедренных суставов выполняли 1 раз в 6 месяцев.

У одного пациента выполнено воздействие на зону роста с помощью 8-ми образной пластины по методике, предложенной P. Stevens (Рисунок 4.11).

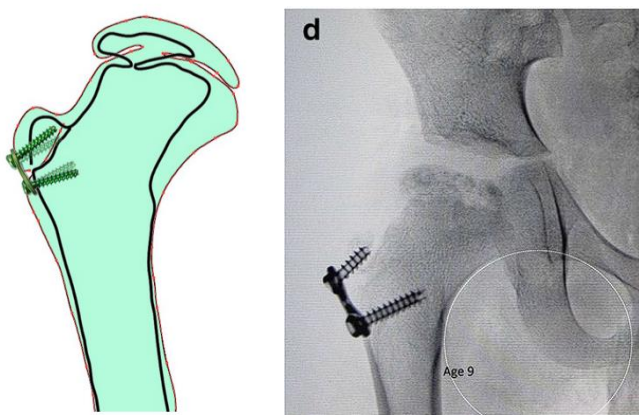


Рисунок 4.11 – Установка 8-образной пластины на область большого вертела (Stevens P. M., 2014)

4.6. Оценка эффективности малоинвазивной методики эпифизиодеза зон роста у пациентов со вторичной деформацией проксимального отдела бедренной кости

На момент анализа результатов из 15 пациентов, прошедших оперативное лечение с применением эпифизиодеза зон роста проксимального отдела бедренной кости, все пациенты окончили

лечение. В Таблице 4.5 представлена характеристика пациентов по возрасту и длительности фиксации металлоконструкциями у пациентов, завершивших лечение.

Таблица 4.5 – Характеристика пациентов по возрасту и длительности эпифизиодеза.

Сегмент	Количество пациентов	Возраст, лет		Длительность эпифизиодеза, дни	
		$M \pm SD$	95%-й ДИ	$M \pm SD$	Min – Max
Шейка	6	7,2 $\pm$ 2,28	4,37–10,03	486 $\pm$ 192,33	350–622
Вертел	9	11,3 $\pm$ 2,54	9,47–13,12	591,5 $\pm$ 135,89	168–817

Для оценки результатов эпифизиодеза зон роста проксимального отдела бедра мы оценивали величину шеечно-диафизарного угла у пациентов с деформацией шейки бедренной кости и величину артикуло-трохантерной дистанции у пациентов с гипертрофией большого вертела. Основная цель методики в данном случае предотвращение формирования деформации проксимального отдела бедренной кости или снижение скорости прогрессии деформации.

Полученные результаты мы разделили на две группы:

- 1) коррекция с сохранением изначальных показателей;
- 2) потеря коррекции.

Основными факторами, влияющими на положительный результат коррекции разновеликости нижних конечностей, является возраст установки металлоконструкций, так как от этого зависит функциональное состояние ростковой пластины, сегмент установки, и сроки фиксации.

По результатам лечения 15 пациентов у 13 пациентов нами отмечена положительная динамика с сохранением изначальных показателей, у 1 пациента уменьшение артикуло-трохантерной дистанции, и у 1 пациента отметили увеличение шеечно-диафизарного угла после удаления металлоконструкций из шейки бедренной кости, что в будущем может потребовать повторного оперативного вмешательства.

Таблица 4.6 – Результаты лечения пациентов с деформацией проксимального отдела бедренной кости

Сегмент	Количество пациентов	Этапы наблюдения		p
		До лечения ($M \pm SD$)	После лечения ($M \pm SD$)	
Шейка (угол)	4	132,2 $\pm$ 8,76	132,8 $\pm$ 11,06	0,821
Вертел (мм)	8	-4 $\pm$ 5,3	6,1 $\pm$ 7,6	0,015*
Примечание – * – изменения показателей статистически значимы ($p < 0,05$)				

Как видно из данных Таблицы 4.6, статистических различий у пациентов с эпифизиодезом шейки бедренной кости до и после лечения не отмечается. Данный результат связан, во-первых, с недостатком пациентов для проведения полноценной статистической обработки, во-вторых, со

сроками наблюдения данных пациентов, и в-третьих, с самим типом данной патологии. Медиальный эпифизиодез шейки бедренной кости проводится для коррекции деформации или предотвращения дальнейшего прогрессирования изменения шеечно-диафизарного угла. Таким образом усредненные результаты таблицы показывают, что величина шеечно-эпифизарного угла до и после лечения изменилась не выражено, что и требуется от данного вмешательства, и расценивается нами как положительная динамика.

При оценке изменения артикуло-трохантерной дистанции отмечается четкая статистическое изменение данного показателя до и после оперативного лечения. Увеличение артикуло-трохантерной дистанции указывает на изменение длины ягодичной группы мышц, снижения вероятности развития вертельно-тазового импиджмента, что положительно влияет на стабильность тазобедренного сустава, улучшая его функциональное состояние в статическом положении и в динамической нагрузке.

Клинический пример № 2

Пациентка М., 2013 г. р. Диагноз – Врожденный вывих правого бедра. Последствия асептического некроза по типу Kalamchi II. (Рисунок 4.12). Анамнез заболевания. В возрасте 4 месяцев поставлен диагноз врожденный вывих правого бедра. По месту жительства проведено консервативное лечение, дважды выполняли попытки закрытого вправления в возрасте 4 и 7 месяцев. В 2014 году консультированы в 10-м отделении ЦИТО.





Рисунок 4.12 – Пациентка М. Внешний вид пациентки и выполнение теста Тренделенбурга

На рентгенограммах тазобедренных суставов: слева головка бедра располагается в вертлужной впадине, справа – головка бедра в наацетабулярной области, впадина недоразвита, мелкая, ядро окостенения головки уменьшено в размерах (Рисунок 4.13)



Рисунок 4.13 – Пациентка М. Рентгенограмма тазобедренных суставов на момент поступления в отделение. Май 2014 года

Учитывая клинико-рентгенологическую картину пациентке проведено этапное оперативное вмешательство – открытое вправление головки правого бедра во впадину, реконструкция крыши правой вертлужной впадины – остеотомия таза по Солтеру, деторсионно-варизирующая остеотомия с фиксацией пластиной.

После стабилизации сустава пациентку наблюдали в амбулаторном режиме. В процессе роста ребенка в 2020 году отмечено нарастание нестабильности правого тазобедренного сустава (Рисунок 4.14).



Рисунок 4.14 – Пациентка М. Рентгенограмма тазобедренных суставов. 2020 год

На рентгенограммах отмечена деформация головки бедренной кости – сферичность головки нарушена, высота снижена. Нарушение функционирования латеральной зоны роста шейки бедренной кости по типу Kalamchi II типа. Шеечно-эпифизарный угол увеличен до 140 градусов.

С целью стабилизации тазобедренного сустава, для предотвращения формирования вальгусной деформации шейки бедренной кости за счет сохранившейся функции медиальной зоны роста, в июле 2021 года выполнена операция эпифизиодеза. Также для предотвращения деформации большого вертела также выполнена операция эпифизиодеза (Рисунок 4.15.)

Далее пациенту наблюдали динамически в амбулаторном режиме для оценки эффективности проведенного оперативного лечения (Рисунок 4.16).



Рисунок 4.15 – Пациентка М. Эпифизиодез медиальной зоны роста шейки бедренной кости и зоны роста большого вертела. Июль 2021 года

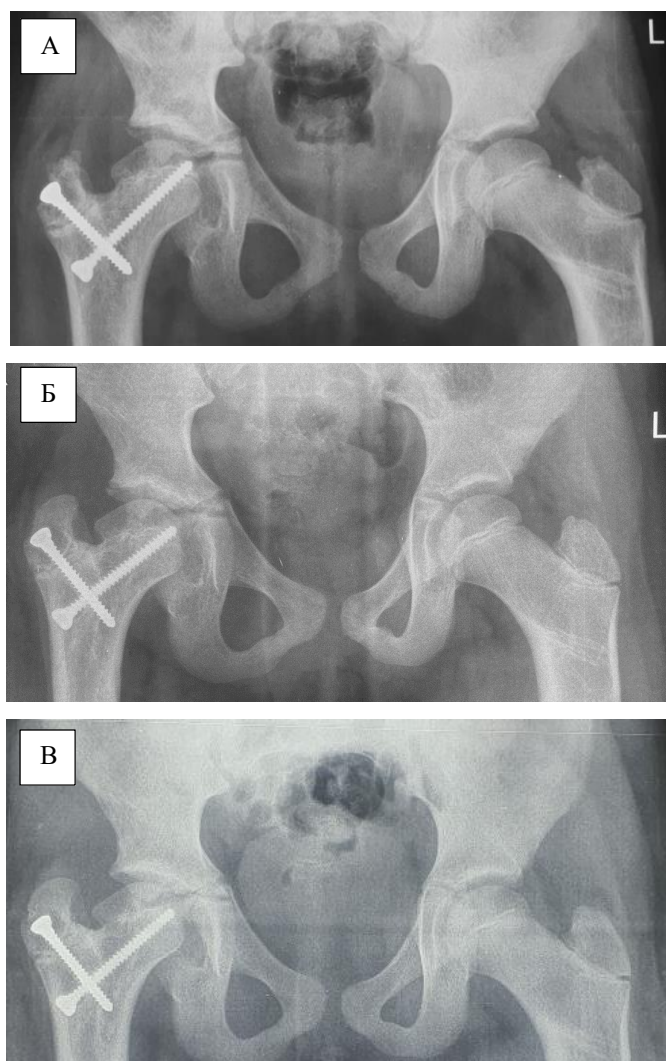
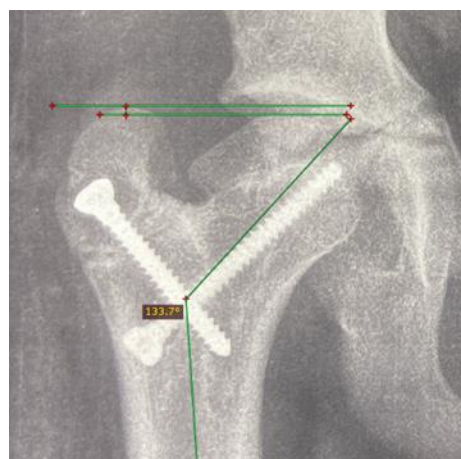


Рисунок 4.16 – Пациентка М. Этапы динамического наблюдения.
А. 2022 год. Б. 2023 год. В. 2024 год

Как видно на данных рентгенограммах шейчно-диафизарный угол правой бедренной кости сохраняется. Шейчно-эпифизарный угол не увеличился (Рисунок 4.17). Коррекция удовлетворительная. Однако, несмотря на эпифизиодез зоны роста большого вертела, отмечено его разрастание за счет апикальной части, что приводит к снижению артикуло-трохантерной дистанции до отрицательных чисел (-2 мм).



А



Б

Рисунок 4.17 – А. Рентгенограмма ТБС пациентки М., 2020 г. Б. Рентгенограмма ТБС пациентки М., 2024 г.

При клиническом осмотре пациентки отмечена удовлетворительная стабильность тазобедренных суставов – Тест Тренделенбурга отрицательный, полная амплитуда движений в тазобедренном суставе (Рисунок 4.18). Походка пациентки также удовлетворительная, хромоты, смещения оси тела и опущения таза во время ходьбы не отмечается.



Рисунок 4.18 – Пациентка М. Внешний вид пациентки и функциональные тесты

Клинический пример № 3

Мы провели одно оперативное вмешательство с применением методики временного эпифизиодеза трохантерной зоны роста с помощью 8-образной пластины по методике, предложенной Р. М. Stevens.

Пациент Е., 2011 года рождения. По месту жительства проводили наблюдение по поводу болезни Легга – Кальве – Пертеса правой бедренной кости. Получал консервативное лечение, 04.12.2020 проведена реваскуляризирующая остеоперфорация головки правой бедренной кости, 20.05.2021 проведена корригирующая деторсионно-варизирующая переднеротационная остеотомия правой бедренной кости (Рисунок 4.19).



А



Б



В



Г

Рисунок 4.19 – А. Рентгенограмма ТБС, март 2020 г. Б. Рентгенограмма ТБС, декабрь 2020 г. В. Рентгенограмма ТБС, май 2021 г. Г. Состояние после корригирующей остеотомии правой бедренной кости, май 2021 г.

Как видно на рентгенограммах тазобедренных суставов, за счет деформации головки бедренной кости и снижения ее высоты артикуло-трохантерная дистанция также снижалась (Рисунок 4.18 – А, Б, В). За счет переднеротационной остеотомии (Рисунок 4.19 – Г). из-за изменения положения головки бедренной кости она также уменьшилась, и составила 2 мм.

При динамическом наблюдении, после достижения полной консолидации бедренной кости в области остеотомии на рентгенограммах отметили изменение артикуло-трохантерной дистанции до отрицательного значения $-1,5$ мм (Рисунок 4.20).

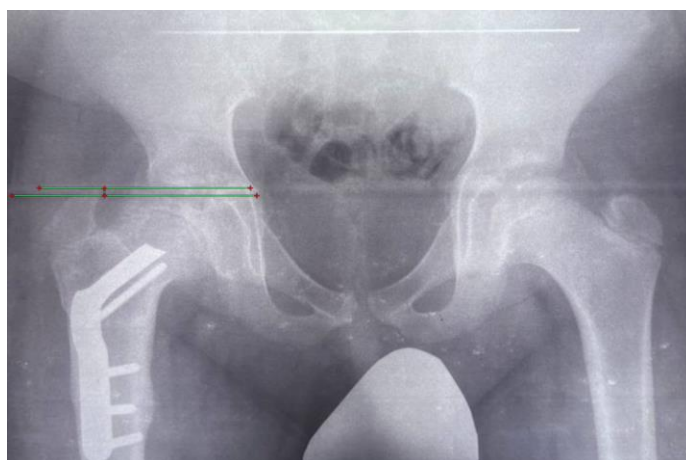


Рисунок 4.20 – Артикуло-трохантерная дистанция справа – $1,5$ мм

Для предотвращения дальнейшего разрастания большого вертела в марте 2022 года одновременно с удалением металлоконструкций из правой бедренной кости выполнен эпифизиодез зоны роста большого вертела с помощью 8-образной пластины (Рисунок 4.21).



Рисунок 4.21 – Эпифизиодез зоны роста большого вертела правой бедренной кости 8-образной титановой пластиной

При динамическом наблюдении на протяжении 2 лет по данным рентгенограмм отмечено завершение полного восстановления головки бедренной кости, изменение артикуло-трохантерной дистанции со значения $-1,5$ мм до 0 мм, таким образом верхушка большого вертела сравнялась с верхним краем головки (Рисунок 4.22).

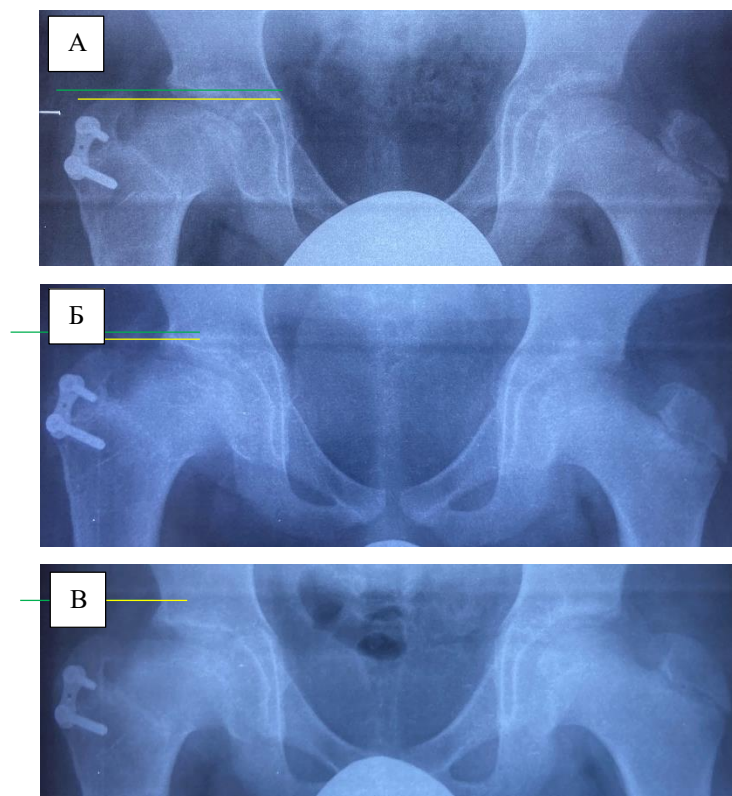


Рисунок 4.22 – А. Рентгенограмма ТБС, январь 2023 г. Б. Рентгенограмма ТБС, сентябрь 2023 г. В. Рентгенограмма ТБС, январь 2024 г.

Учитывая достаточный срок фиксации металлоконструкциями и прекращение функционирования зоны роста большого вертела правой бедренной кости в марте 2024 года выполнено удаление металлоконструкции.

4.7. Обсуждение полученных результатов

Применение методики временного эпифизиодеза проксимального отдела бедренной кости демонстрирует положительные результаты, однако эффективность вмешательства определяется тщательным отбором пациентов, соблюдением техники операции и длительным динамическим контролем.

Из 15 пациентов, завершивших лечение, у 13 (86,7%) достигнута положительная динамика с сохранением исходных показателей. У одного пациента отмечено уменьшение артикуло-трохантерной дистанции, у другого – нарастание шеечно-диафизарного угла после удаления конструкций, что в перспективе может потребовать повторного вмешательства.

Отсутствие статистически значимых изменений шеечно-диафизарного угла в группе в целом следует расценивать как положительный результат, поскольку основной целью медиального эпифизиодеза является не столько активная коррекция, сколько предотвращение прогрессирования деформации. Стабилизация показателя на фоне продолжающегося роста свидетельствует о достижении этой цели.

В отличие от этого, при оценке артикуло-трохантерной дистанции зафиксировано статистически значимое увеличение показателя, что имеет прямое клиническое значение: возрастает длина ягодичной группы мышц, снижается риск вертельно-тазового импиджмента, улучшается стабильность тазобедренного сустава как в статике, так и при динамической нагрузке.

При работе с медиальным эпифизиодезом шейки бедренной кости принципиальное значение приобретают правильность выполнения вмешательства и соблюдение техники установки металлоконструкций. Коррекция данной методикой осуществляется на протяжении нескольких лет, что требует регулярного рентгенологического контроля с оценкой не только шеечно-диафизарного угла, но и положения винта в шейке. В связи с продолжающимся ростом ребёнка возможна миграция винта как в каудальном, так и в латеральном направлении, что может потребовать проведения повторного вмешательства с заменой на более длинный винт, соответствующий размерам шейки.

Возраст выполнения эпифизиодеза является критическим фактором прогноза. У пациентов младшего возраста, особенно при исходно выраженной торсионно-вальгусной деформации проксимального отдела бедра, сохраняется риск рецидивирования вальгусной деформации шейки на фоне продолжающегося роста. В нашем исследовании у пациента, оперированного в возрасте 4 лет с удалением конструкций в 6 лет, через год наблюдения отмечено увеличение шеечно-диафизарного угла на 5 градусов. Это подчёркивает необходимость особенно тщательного динамического контроля у детей младшей возрастной группы и обосновывает целесообразность планирования повторных процедур эпифизиодеза при признаках прогрессирования деформации.

Эпифизиодез зоны роста большого вертела, несмотря на положительную динамику в нашей работе, не может рассматриваться как универсальный и безальтернативный метод. Хотя фиксация винтом является менее травматичной по сравнению с установкой 8-образной пластины или каудальным переносом вертела с рефиксацией, результат вмешательства остаётся труднопредсказуемым. При введении винта через апикальную часть, даже с использованием металлической шайбы, интраоперационно невозможно достоверно оценить площадь воздействия на зону роста. Как следствие, возможен рост большого вертела «в обход» металлоконструкции, что нивелирует ожидаемый эффект в отношении артикуло-трохантерной дистанции, функции ягодичной мышцы и стабильности тазобедренного сустава. В таких случаях в отдалённом периоде возникает необходимость в повторном вмешательстве с полноценным переносом большого вертела.

Дополнительным фактором, требующим учёта, является длительный срок фиксации металлоконструкций. Как и при эпифизиодезе шейки, продолжительное нахождение винта в кости сопровождается его миграцией, обрастанием костными и мягкими тканями, инкапсуляцией. Это существенно затрудняет последующее удаление конструкций, увеличивая объём вмешательства, травматизацию тканей и продолжительность операции.

Эпифизиодез проксимального отдела бедренной кости является эффективным методом профилактики и коррекции вторичных деформаций у детей после оперативного лечения патологии тазобедренного сустава. В отношении шейки бедра положительный эффект выражается в стабилизации шеечно-диафизарного угла, а при воздействии на зону роста большого вертела – в увеличении артикуло-трохантерной дистанции с улучшением биомеханики сустава. Однако успех методики напрямую зависит от возраста пациента, правильности установки конструкций и тщательного динамического наблюдения, включающего контроль положения имплантатов. Учитывая риск рецидивов у младших детей и потенциальные трудности при удалении конструкций, выбор тактики должен быть строго индивидуализирован, а пациенты – оставаться под наблюдением до завершения активного роста.

4.8. Хирургическое лечение детей с вальгусной деформацией нижних конечностей на уровне коленных суставов

Для коррекции вальгусной деформации на уровне коленного сустава пластины устанавливали по медиальной поверхности метаэпифиза бедренной кости у 5 пациентов (8 пластин). Пациентов с вальгусной деформацией нижних конечностей на уровне сегмента голени не было.

Пациенты со сформировавшейся вальгусной деформацией после проведенного оперативного лечения на тазобедренном суставе составляют наименьшую группу в нашей работе – 5 пациентов (6.58%). В данных литературы данная деформация также встречается реже остальных.

По итогам оперативного лечения неравенства длины нижних конечностей у 5 пациентов всего было установлено 8 пластин для временного эпифизиодеза. Во всех случаях выполнялся эпифизиодез медиального мыщелка бедренной кости. В 3 случаях выполнялся эпифизиодез обеих бедер, и в двух случаях временному блокированию подвергалась только одна конечность.

Оперативное вмешательство проводилось по методике, аналогичной при установке 8-образных пластин с целью коррекции неравенства длины нижних конечностей, описанной в параграфе .2. (Рисунок 4.23).

Иммобилизацию после проведения оперативного вмешательства не проводили. Вертикализацию пациентов с полной осевой нагрузкой на оперированную конечность проводили на следующий день после оперативного вмешательства.

Контрольные рентгенограммы и динамическое наблюдение после оперативного вмешательства выполняли через 3, 6, 12 месяцев. Во время клинического осмотра помимо визуальной составляющей деформации оценивали расстояние между лодыжками в положении стоя и в положении лежа. Постуральные рентгенограммы нижних конечностей или КТ-скиаграмму выполняли 1 раз в 6 месяцев.



Рисунок 4.23 – Временный гемиепифизиодез медиального мыщелка бедренной кости при вальгусной деформации

4.9. Оценка эффективности малоинвазивной методики временного эпифизиодеза у пациентов с вальгусной деформацией нижних конечностей после оперативного лечения на тазобедренном суставе

На момент анализа результатов все 5 пациентов с вальгусной деформацией нижних конечностей окончили лечение. При оценке анамнеза у 4 пациентов (девочки) ранее проводили оперативные вмешательства по поводу врожденного вывиха бедра, и у одного пациента (мальчик) по поводу Болезни Легга – Кальве – Пертеса.

Так как вальгусная деформация менее очевидна и ожидаема в динамике, чем неравенство длины нижних конечностей была проведена оценка возраста, в котором ранее проводилось оперативное лечение на тазобедренном суставе, и возраста, в котором выполнена операция эпифизиодеза (Таблица 4.7).

Таблица 4.7 – Динамика нарастания вальгусной деформации нижних конечностей и длительность коррекции

Количество пациентов	Возраст оперативного лечения на бедре (лет)		Возраст выполнения эпифизиодеза (лет)		Формирование вальгусной деформации (дни)		Длительность эпифизиодеза (дни)	
	M ± SD	Min – Max	M ± SD	Min – Max	M ± SD	Min – Max	M ± SD	Min – Max
5	4±2	2-7	7±1,3	6-9	1338±417,9	708-1835	366±145,9	238-593

Как видно из данных Таблицы 4.7 формирование вальгусной деформации нижних конечностей занимает большее время, нежели неравенство длины. Однако сроки коррекции оси конечности быстрее, и в среднем занимают один год. Максимальный срок коррекции – 593 дня, составил у пациента, которому временный эпифизиодез выполнен в возрасте 9 лет.

Основными факторами, влияющими на положительный результат коррекции осевой деформации нижних конечностей, также, как и при коррекции неравенства длины, является возраст

установки металлоконструкций. Также важным фактором является величина угла между бедренной и большеберцовой костью, так как при угле деформации более 30 градусов методика блокирования зон роста не рекомендована.

Для оценки результатов коррекции вальгусной деформации нижних конечностей мы оценивали величину бедренно-большеберцового угла (Таблица 4.8).

Таблица 4.8 – Результаты лечения пациентов с вальгусной деформацией нижних конечностей

	Количество пациентов	Этапы наблюдения		p
		До лечения (M ± SD)	После лечения (M ± SD)	
Бедренно-большеберцовый угол	5	166±2,74	175,6±1,95	0,004*
<i>Примечание</i> – * – изменения показателей статистически значимы ($p < 0,05$)				

За положительную коррекцию нами был принят бедренно-большеберцовый угол более 173 градусов, согласно данным литературы.

Как видно из данных Таблицы 4.8 по результатам лечения 5 пациентов у всех нами отмечена удовлетворительная коррекция осевой деформации нижних конечностей. При динамическом наблюдении этих пациентов на протяжении 18 месяцев коррекция сохраняется.

Клинический пример № 4

Пациентка С., 2015 года рождения. Диагноз – врожденный подвывих бедер, вальгусная деформация нижних конечностей (Рисунок 4.24).



Рисунок 4.24 – Пациентка С. Внешний вид пациентки

Анамнез заболевания – диагноз врожденный подвывих бедер поставлен в 4,5 месяца. Динамическое наблюдение и консервативное лечение проводили по месту жительства. Проводилась фиксация нижних конечностей в шине Шнейдера 3 месяца, далее с 8-месячного возраста перешли на фиксацию в шине Виленского на ночь. В возрасте 1 года 6 месяцев разрешена ходьба. В 2017 году на контрольном осмотре в Нижегородском ГИТО-НИИТО рекомендовано оперативное лечение, в 2018 году консультированы в НМИЦ ТО им Н.Н. Приорова, также рекомендовано оперативное лечение.

С целью стабилизации тазобедренных суставов в июле 2018 года выполнена реконструктивная операция на проксимальном отделе правой бедренной кости, в апреле 2019 года выполнена аналогичная операция на проксимальном отделе левой бедренной кости. Далее с возрастом пациентки отметили появление вальгусной деформации коленных суставов (Рисунок 4.25), в связи с чем в ноябре 2021 года выполнен временный гемиепифизиодез медиального мыщелка левого и правого бедра (Рисунок 4.26).

Пациентку динамически наблюдали в амбулаторном режиме в поликлинике ЦИТО. В апреле 2022 года отмечена положительная коррекция вальгусной деформации нижних конечностей, в связи с чем выполнено удаление металлоконструкций (Рисунок 4.27).



Рисунок 4.25 – Компьютерная скиаграмма нижних конечностей с определением осей нижних конечностей

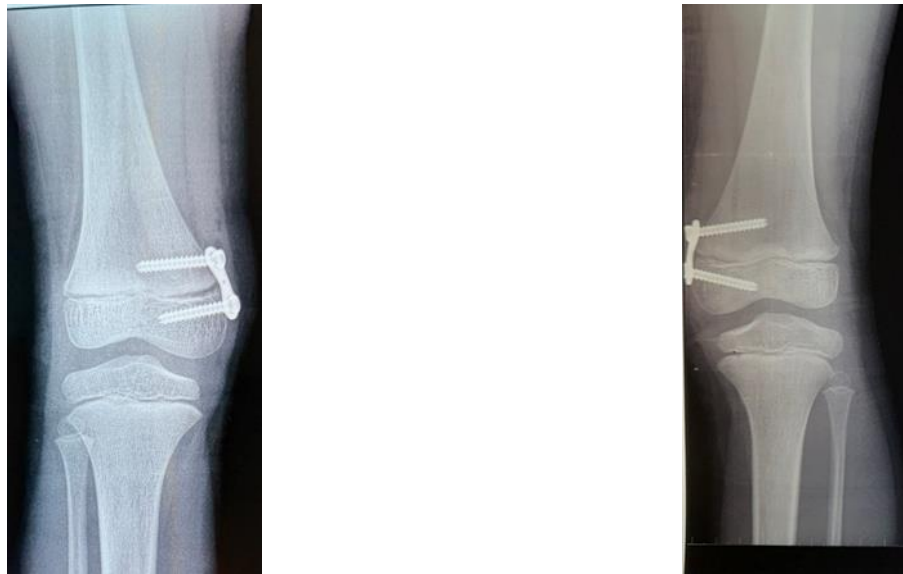


Рисунок 4.26 – Рентгенограмма коленных суставов пациентки после выполнения временного гемиепифизиодеза. Ноябрь 2021 г.



Рисунок 4.27 – Пациентка С. Апрель 2022 года. Удовлетворительная коррекция вальгусной деформации нижних конечностей

4.10. Обсуждение полученных результатов

На основании проведённого анализа применения временного гемиепифизиодеза у пациентов с вальгусной деформацией коленного сустава, развившейся после лечения патологии тазобедренного сустава, можно заключить следующее.

Вальгусная деформация нижних конечностей представляет собой отсроченное вторичное осложнение, возникающее у пациентов, перенесших вмешательства на проксимальном отделе бедра (по поводу врождённого вывиха бедра или болезни Легга – Кальве – Пертеса). В отличие от неравенства длины нижних конечностей, которое проявляется относительно рано, осевые

нарушения формируются в более поздние сроки и требуют длительного динамического наблюдения. Это обусловлено постепенным перераспределением нагрузки на дистальные отделы и неравномерным ответом ростковых зон на изменившиеся биомеханические условия.

При вальгусной деформации нижних конечностей на уровне коленного сустава происходит нарушение механической оси бедренной кости за счёт приведения её дистального отдела. Это приводит к децентрации головки бедренной кости в вертлужной впадине, что имеет принципиальное значение для пациентов с исходной патологией тазобедренного сустава. Нарушение конгруэнтности суставных поверхностей создаёт условия для неравномерного распределения нагрузки в уже диспластичном или ранее оперированном тазобедренном суставе, перегружая отдельные участки хряща и субхондральной кости. При длительном существовании такого патологического стереотипа нагрузки создаются условия для более раннего формирования коксартроза, что в свою очередь приводит к функциональным нарушениям и болевому синдрому. Биомеханический подход позволяет оценивать вальгусную деформацию на уровне коленных суставов не как изолированную проблему, а также рассмотреть влияние деформации на весь опорно-двигательный аппарат, и в первую очередь – на ранее оперированный тазобедренный сустав.

Полученные результаты демонстрируют высокую эффективность временного гемиепифизиодеза: у всех 5 пациентов (100%) достигнута удовлетворительная коррекция оси конечности с бедренно-большеберцовым углом более 173 градусов.

Крайне важным наблюдением является соотношение скорости формирования деформации и скорости её коррекции. Установлено, что темп исправления оси при гемиепифизиодезе примерно в 4 раза превышает скорость исходного развития деформации. Это означает, что при своевременном выявлении патологии и правильно выбранных показаниях метод позволяет быстро и эффективно восстановить физиологическую ось конечности, минимизируя период функциональных нарушений. Средняя продолжительность коррекции составила около одного года, при этом максимальный срок (593 дня) наблюдался у пациента, оперированного в возрасте 9 лет, что, вероятно, связано с индивидуальными особенностями ростовой активности.

Ключевыми условиями достижения положительного результата являются возраст пациента и исходная величина деформации. Скорость исправления вальгусной деформации напрямую зависит от темпов роста сохранившихся частей ростовой пластины и степени неравномерности этого роста. Чем выше функциональная активность зон роста, тем быстрее происходит коррекция. При этом сам механизм развития деформации (различия в темпах роста противоположных участков ростковой зоны из-за перераспределения нагрузки) определяет и высокий потенциал её исправления при правильно выполненном блокировании.

Учитывая, что вальгусная деформация формируется значительно позже других вторичных деформаций нижних конечностей, пациенты после операций на тазобедренном суставе точно также

нуждаются в динамическом наблюдении вплоть до завершения активного роста. Своевременный контроль позволяет выявить начинающееся нарушение оси и выполнить коррекцию до того, как деформация станет выраженной и потребует более сложного травматичного вмешательства.

Важной особенностью является возможность появления рецидива деформации в периоды скачков роста. В таких случаях возможно выполнить повторное блокирование зон роста, однако это преимущество сохраняется только для пациентов с высоким ростовым потенциалом.

Таким образом, временный гемизэпифизиодез является эффективным и прогнозируемым методом коррекции вальгусной деформации коленного сустава у детей, перенесших оперативное лечение патологии тазобедренного сустава. Метод позволяет достичь стойкого исправления оси конечности в относительно короткие сроки (в среднем 1 год). Высокая скорость коррекции (в 4 раза превышающая скорость формирования деформации) свидетельствует о хорошей адаптационной способности ростковых зон и обосновывает активную хирургическую тактику при своевременном выявлении осевых нарушений.

Особую клиническую значимость вальгусного отклонения как вторичной деформации придаёт её биомеханическое влияние на пораженный тазобедренный сустав. Восстановление физиологической оси бедра предотвращает децентрацию головки бедренной кости, обеспечивая нормальное распределение нагрузки в диспластичном тазобедренном суставе, позволяя сохранить функцию сустава и улучшить отдалённые результаты ранее проведенного лечения.

Учитывая отсроченный характер развития вальгусной деформации, пациенты после операций на тазобедренном суставе должны оставаться под наблюдением ортопеда до завершения роста, а при выявлении нарушения оси – своевременно направляться на корригирующее вмешательство. Такой подход позволяет не только устранить уже сформировавшуюся деформацию, но и предотвратить её прогрессирование и негативное влияние на проксимальные отделы конечности, сохранив физиологическую биомеханику на всех уровнях опорно-двигательного аппарата.

Глава 5. АНАЛИЗ ОШИБОК И ОСЛОЖНЕНИЙ ХИРУРГИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ

Несмотря на кажущуюся простоту и малотравматичность методики временного блокирования зон роста, её применение в коррекции неравенства длины конечностей у детей сопряжено с риском осложнений и ошибок. Воздействие на активно растущий организм требует предельной точности в расчетах, тщательного предоперационного планирования и динамического наблюдения, так как даже незначительные погрешности могут привести к гиперкоррекции, недокоррекции или другим нежелательным последствиям.

В ходе выполнения работы у 9 пациентов (11,8%) был отмечен ряд осложнений после хирургического лечения (Таблица 5.1), которые включали в себя:

- гиперкоррекцию неравенства длины нижних конечностей;
- нарушение оси нижних конечностей;
- миграцию металлоконструкций;
- ограничение движений в коленном суставе;
- явления синовита коленного сустава.

Таблица 5.1 – Осложнения, возникшие у пациентов, закончивших оперативное лечение методикой временного эпифизиодеза зон роста коленного сустава

Пациенты	Осложнения									
	Гиперкоррекция		Нарушение оси		Миграция		Ограничение движений		Синовит	
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
76	3	3,9	1	1,3	2	2,6	2	2,6	1	1,3

Инфекционных осложнений ни у одного пациента отмечено не было.

Осложнений у пациентов, которым было проведено оперативное вмешательство по поводу коррекции деформаций проксимального отдела бедра методикой блокирования зон роста отмечено не было.

Гиперкоррекция неравенства длины нижних конечностей

Как ранее было указано в ходе работы – срок, когда выполнен временный эпифизиодез зон роста, должен быть индивидуален для каждого ребенка. Правильное время выполнения временного эпифизиодеза для коррекции неравенства длины нижних конечностей (НК) является критически важным по следующим причинам:

1. Предотвращение гиперкоррекции:

1.1) если операция выполнена слишком рано, особенно у детей с большим остаточным ростом, может произойти избыточное замедление роста оперированной конечности, что приведет к обратному неравенству (гиперкоррекции);

1.2) риск возрастает при высокой скорости роста кости (например, в период пубертатного скачка).

2. Избежание недокоррекции:

2.1) при слишком позднем проведении эпифизиодеза оставшегося роста может быть недостаточно для полной коррекции, и разница в длине конечностей сохранится;

2.2) особенно актуально при небольших исходных различиях (2–4 см), где требуется точный расчет.

3. Индивидуальный расчет сроков. Успех операции зависит от точного прогноза остаточного роста ребенка.

4. Динамическое наблюдение. Даже после операции необходим мониторинг роста для своевременного удаления фиксирующих конструкций и предотвращения осложнений.

Гиперкоррекция неравенства длины нижних конечностей была отмечена у 3-х пациентов (3,9%). У двух пациентов она составила 0,5 см и 1 см. Данные изменения связаны с нарушением режима динамического наблюдения пациентами в указанные сроки, в связи с эпидемической обстановкой и в связи с удаленностью места проживания, а также отсутствия возможности проведения телемедицинской консультации. Таким образом в связи с более поздним обращением произошла гиперкоррекция с укорочением оперированной конечности. После общения с родителями было принято не проводить повторное оперативное вмешательство методикой временного эпифизиодеза, так как данные изменения, как было описано ранее, являются благоприятными для функции нижних конечностей и тазобедренных суставов.

У одной пациентки мы получили гиперкоррекцию неравенства длины нижних конечностей в связи с ранней установкой металлоконструкций, что привело к нарастанию разновеликости и повторному оперативному лечению.

Клинический пример № 5

Из анамнеза пациентки А., 2015 года рождения: наблюдалась с раннего возраста по поводу дисплазии тазобедренных суставов, врожденного вывиха бедер у ортопеда по месту жительства. Проводилось консервативное лечение с помощью отводящих шин. Со слов матери в 5-летнем возрасте диагноз дисплазии был снят. Однако с ростом ребенка родители отметили нарушение походки. В феврале 2022 года обратились в поликлинику ЦИТО. На рентгенограммах – подвывих, суставные щели тазобедренных суставов расширены в переднемедиальных отделах за счет смещения головки бедра кнаружи, больше справа. Крыши вертлужных впадин укорочены, крыша правой вертлужной впадины скошена, передние края вертлужных впадин гипоплазированы. Структура головок бедренных костей равномерна. Истинная антеверсия шейки бедра справа 38 гр, слева 35 гр. ШДУ проекционный справа 150 градусов, слева 146 градусов. Истинный ШДУ

справа – 135 градусов, слева 138 градусов. Ацетабулярный индекс – справа 24 градуса, слева 15 градусов. Угол Виберга справа 20 градусов, слева 28 градусов. Коэффициент покрытия крыши справа 0,7, слева 0,8 (Рисунок 5.1).



А



Б

Рисунок 5.1 – Пациентка А. А. Рентгенография тазобедренных суставов в прямой проекции.
Б. Рентгенография тазобедренных суставов в положении внутренней ротации

21.04.2022 проведена операция: «Реконструкция проксимального отдела правой бедренной кости – деторсионно-варизирующая остеотомия» (Рисунок 5.2).



Рисунок 5.2 – Пациентка А. Деторсионно-варизирующая остеотомия правой бедренной кости

При динамическом наблюдении у пациентки отметили нарастание неравенства длины нижних конечностей до 1 см за счет бедренного сегмента правой конечности.

Для коррекции неравенства и предупреждения нарастающей разновеликости нижних конечностей 02.03.2023 проведена операция временного эпифизиодеза зон роста с дистального метаэпифиза левого бедра (Рисунок 5.3).

В динамике отмечена коррекция неравенства длины, в связи с чем 21.03.2024 выполнено удаление металлоконструкций. Срок коррекции разновеликости нижних конечностей за счет бедренного сегмента составил 385 дней.



Рисунок 5.3 – Пациентка А. Временное блокирование зон роста дистального метаэпифиза левой бедренной кости

Далее пациенту планово наблюдали в амбулаторном режиме. На этапном осмотре в апреле 2025 года у пациентки выявили нарушение походки в виде хромоты. При функциональной оценке тазобедренных суставов – слева тест Тренделенбурга отрицательный, справа слабоположительный. В статическом положении отмечается перекос таза и нарушение треугольников талии. При клиническом измерении длины нижних конечностей при помощи сантиметровой ленты вновь выявлена разноразмерность уже за счет удлинения правой нижней конечности. Выполнены рентгенограммы тазобедренных суставов в положении лежа (Рисунок 5.4) и постуральный рентгенограммы нижних конечностей в прямой проекции (Рисунок 5.5).



Рисунок 5.4 – Пациентка А. Рентгенография тазобедренных суставов в прямой проекции в положении лежа

Проведена оценка рентгенанатомических показателей, описанных в главе 2. Коэффициент покрытия головки правой бедренной кости в положении покоя – 0,77, левой – 0,8. Произведена оценка тазово-вертельного расстояния: справа – 33,6 мм, слева 32,9 мм.



Рисунок 5.5 – Пациентка А. Постуральная рентгенография нижних конечностей в прямой проекции

При измерении длины нижних конечностей – длина справа 71,13 см, слева 69,23 см. Длина правого бедра – 39,5 см, левого бедра – 37,96 см. Длина правой голени – 31,8 см, левой – 31,6 см. Таким образом выявлена разновеликость нижних конечностей за счет бедренного сегмента 1,54 см. Также на постуральных рентгенограммах проведена оценка рентгенанатомических показателей положения таза (Рисунок 5.6).



Рисунок 5.6 – Пациентка А. Рентгенография тазобедренных суставов в прямой проекции при выполнении постурального снимка

Коэффициент покрытия головки правой бедренной кости в положении стоя – 0,64, левой – 1,0. Тазово-вертельное расстояние справа – 37,5 мм, слева – 27,6 мм. Таким образом мы можем отметить наличие позиционного подвывиха головки правой бедренной кости в связи с неравенством длины нижних конечностей на стороне более длинной ноги.

Также при оценке рентгенограмм можно отметить утолщение диафиза правой бедренной кости, что говорит о гипертрофированном ее росте. Данные изменения связаны чаще всего связаны с проведенным оперативным вмешательством на данной области.

Таким образом в связи с продолжающимся ростом девочки, а также явлением гипертрофического роста костной ткани правой бедренной кости изначальное укорочение правой нижней

конечности в 1 см в динамике привело к ее удлинению на 1,5 см, в связи с чем пациентке вновь была проведена операция временного блокирования зон роста, но уже на сегменте правой бедренной кости.

Нарушение оси нижних конечностей

Нарушение оси нижних конечностей отмечено у одной пациентки.

Клинический пример № 6

В анамнезе у пациентки Ф., 2011 года рождения, в 2018–2019 гг. многоэтапное оперативное вмешательство на обоих тазобедренных суставах по поводу двустороннего врожденного вывиха бедер (деторсионно-варизирующая остеотомия бедренной кости, открытое вправление головки бедренной кости, остеотомия костей таза по Солтеру). После окончания лечения на тазобедренных суставах пациентка наблюдалась в амбулаторном режиме. При динамическом наблюдении у пациентки в 2021 году отмечено неравенство длины нижних конечностей. Выполнена компьютерная скиаграмма – длина правой нижней конечности – 638,3 мм. Длина правого бедра – 340,9 мм. Длина правой голени – 297,3 мм. Длина левой нижней конечности – 627,9 мм. Длина левого бедра – 329,8 мм. Длина левой голени – 294,9 мм. Таким образом разница в длине нижних конечностей составила 11 мм за счет бедренного сегмента. Нарастание неравенства произошло в течение 2 лет после последнего оперативного вмешательства (Рисунок 5.7).



Рисунок 5.7 – Пациентка Ф. Внешний вид пациентки. Клиническая оценка неравенства длины нижних конечностей методикой подставных блоков

При клиническом осмотре у пациентки отмечается умеренное изменение в уровне надплечий, изменение треугольников талии, невыраженный перекос таза. Оси нижних конечностей клинически правильные, патологического отклонения не отмечается.

Для коррекции разновеликости в августе 2021 года выполнено временное блокирование зон роста дистального метаэпифиза правой бедренной кости (Рисунок 5.8).

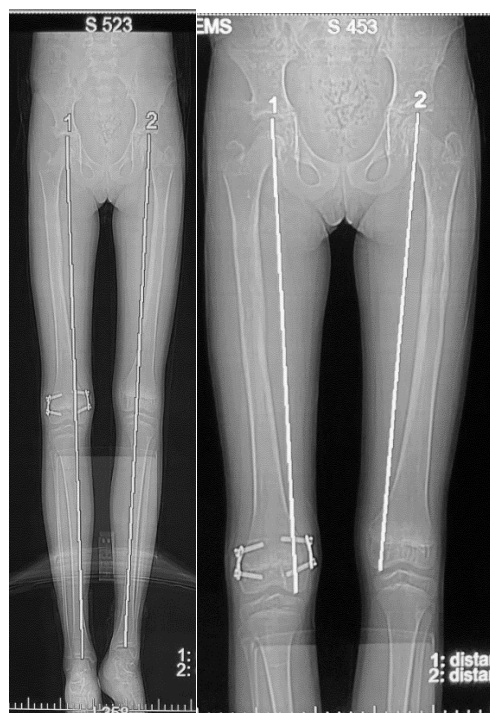


Рисунок 5.8 – Пациентка Ф. Компьютерная скиаграмма длины нижних конечностей. Январь 2022 года.

При динамическом наблюдении через полгода нарушения оси нижних конечностей не отмечается. При дальнейшем наблюдении через 1 год после оперативного вмешательства на этапной консультации была отмечено нарушение оси оперированной нижней конечности с формированием варусной деформации на уровне коленного сустава (Рисунок 5.9).

Данные изменения мы связываем с произошедшим у пациентки скачком роста за период наблюдения, а также асинхронной работой металлоконструкций в медиальном и латеральном мышечках бедренной кости, в связи с чем при коррекции неравенства длины произошло формирование варусной деформаций нижней конечности. Было принято решение об удалении металлоконструкции из медиального мышечка правой бедренной кости для восстановления оси. При динамическом наблюдении ось правой нижней конечности восстановилась, в связи с чем произведено удаление металлоконструкций из латерального мышечка (Рисунок 5.10).

**А****Б**

Рисунок 5.9 – Пациентка Ф. Внешний вид нижних конечностей.
 А – январь 2022 года. Б – Сентябрь 2022 года



Рисунок 5.10 – Пациентка Ф. Восстановление оси правой нижней конечности. Июнь 2023 года

Клинический пример № 7

На момент удаления металлоконструкций из латерального метаэпифиза бедренной кости (июнь 2023 года) у пациентки оставалось остаточное неравенство 0,5 см, однако данная разница в длине является прогностически удовлетворительной, в связи с чем повторная коррекция длины после восстановления оси не проводилась. При дальнейшем наблюдении данная разница в длине не увеличивалась.

Миграция металлоконструкций

Миграция металлоконструкций из мыщелка бедренной кости отмечена у двух пациенток.

У первой пациентки Г., 2011 года рождения, во время динамического наблюдения при коррекции неравенства длины отмечена миграция латеральной металлоконструкции из дистального метаэпифиза левой бедренной кости (Рисунок 5.11).



Рисунок 5.11 – Пациентка Г. Миграция металлоконструкции из латерального метаэпифиза левой бедренной кости

Миграция металлоконструкции отмечена через 364 дня после проведения оперативного вмешательства. При миграции металлоконструкции головка проксимального винта пальпировалась под кожей, что причиняло пациентке дискомфорт и болевые ощущения при сгибании коленного сустава. Также миграция металлоконструкции резко снижала возможности коррекции неравенства длины нижних конечностей методикой временного эпифизиодеза, и могла привести к формированию осевой деформации на уровне коленного сустава в связи с асимметричным воздействием на зоны роста. Данной пациентке выполнено полноценное повторное временное блокирование обеих зон роста левой бедренной кости в связи с продолжающейся коррекцией неравенства длины (Рисунок 5.12).



Рисунок 5.12 – Пациентка Г. Повторное выполнение временного блокирования зон роста дистального метаэпифиза левой бедренной кости

Клинический пример № 8

У второй пациентки Т. 2013 года рождения проводилась коррекция неравенства длины за счет сегмента левого бедра (Рисунок 5.13). Неравенство длины составляло 2 сантиметра.

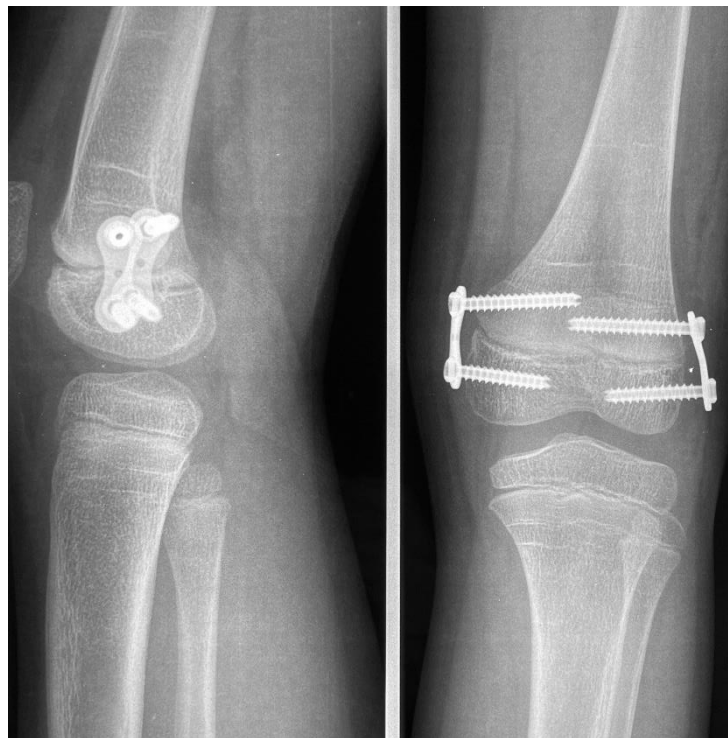


Рисунок 5.13 – Пациентка Т. Временное блокирование зон роста дистального метаэпифиза левой бедренной кости

При динамическом наблюдении через 448 дней у пациентки отмечена миграция проксимального винта из медиального мыщелка бедренной кости (Рисунок 5.14).



Рисунок 5.14 – Пациентка Т. Миграция проксимального винта из медиального мыщелка бедренной кости

Клинически миграция металлоконструкции никак не беспокоила пациентку, не ограничивала движений коленного сустава и общей жизнедеятельности ребенка. Пациентке была выполнена КТ-скиаграмма длины нижних конечностей (Рисунок 5.15).

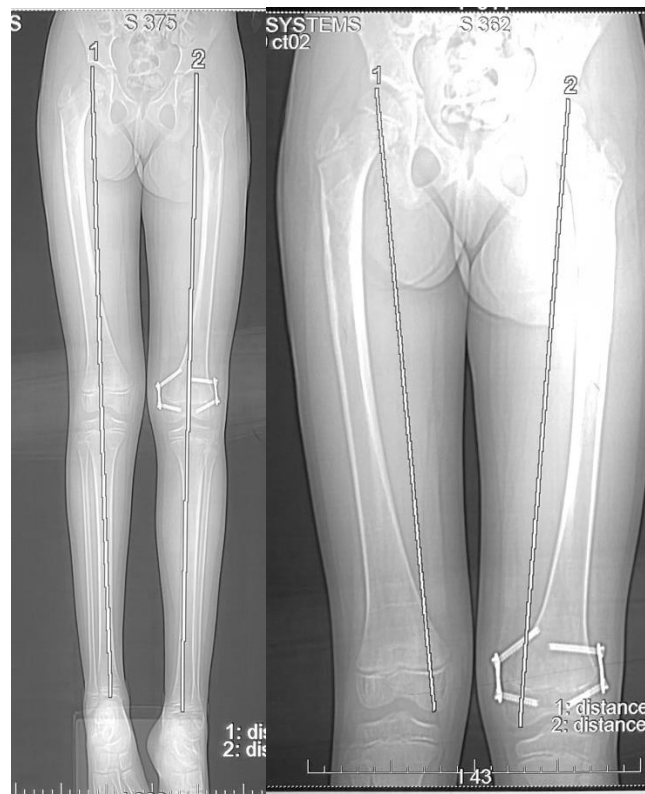


Рисунок 5.15 – Пациентка Т. КТ-скиаграмма длины нижних конечностей

При изменении длины нижних конечностей, отмечено, что коррекция за счет бедренного сегмента состоялась, разница между костями составила 1 мм, в связи с чем принято решение об удалении металлоконструкций. Таким образом, несмотря на миграцию винта в связи с ростом

ребенка и асимметричным функционированием зон роста нижних конечностей коррекция неравенства длины полностью состоялась. Однако при возможной необходимости дальнейшей коррекции разновеликости из-за миграции винта могло нарушиться воздействие на медиальную зону роста дистального метаэпифиза бедренной кости, что могло привести к формированию осевой деформации на уровне коленного сустава, как было описано ранее.

Ограничение амплитуды движений

Несмотря на то, что временное блокирование зон роста считается малоинвазивной операцией, в раннем послеоперационном периоде у пациентов может наблюдаться временное ограничение движений в коленном суставе, что является нормальным явлением и проходит в процессе реабилитации.

Причины ограничения подвижности:

1. Послеоперационный болевой синдром – боль и дискомфорт после вмешательства приводят к рефлекторному более щадящему отношению к конечности.

2. Отек и воспаление мягких тканей – в области установки имплантата возможна локальная воспалительная реакция, затрудняющая сгибание и разгибание.

3. Рефлекторная мышечная ригидность – напряжение мышц (особенно квадрицепса) в ответ на хирургическое вмешательство.

4. Механическое раздражение имплантатом – в редких случаях пластина или винты могут контактировать с связками или капсулой сустава, вызывая дискомфорт при движениях.

У большинства пациентов объем движений полностью восстанавливается в течение 2–4 недель. Однако при наличии сопутствующих патологий (например, контрактур или неврологических нарушений) реабилитация может затягиваться. Также немаловажным фактором в восстановлении объема движений играет психоэмоциональное состояние ребенка, его толерантность к болевому синдрому и объем тканей, вокруг коленного сустава. Так, например, дети астенического типа телосложения с минимальным объемом тканей вокруг коленного сустава периодически отмечают перекачивание сухожилия илиотибиального тракта поверх наружной металлоконструкции, однако данные ощущения чаще всего не носят болевой характер.

В нашей работе ограничение амплитуды движений в коленном суставе отмечено у двух пациентов. У обоих пациентов в позднем периоде при длительном наблюдении были отмечены контрактуры коленных суставов сгибательного типа – при клиническом осмотре активное сгибание в коленном суставе составляло 90 градусов. При попытке дальнейшего активного сгибания пациенты отмечали чувство ограничения и умеренного дискомфорта, без болевого синдрома. Инфекционного, воспалительного и мышечного субстратов, способных выявить ограничение движений у данных пациентов выявлено не было. По данным рентгенограмм и КТ коленных суставов – миграции и нестабильности металлоконструкций не отмечено.

С точки зрения биомеханики для физиологичной ходьбы коленный сустав должен обеспечивать не менее 60° сгибания и полное разгибание (0°). Так как объем движений у пациентов был функционально достаточен для повседневной активности и больше беспокоил родителей, чем самих детей, повторное оперативное лечение не проводили. После удаления металлоконструкций объем движений полностью восстанавливался после проведения реабилитационных мероприятий.

Синовит коленного сустава

Явление синовита возникло у одной пациентки после прямого травматического воздействия на область коленного сустава в проекции установленной металлоконструкции по наружной поверхности коленного сустава. Проводилось консервативное лечение для купирования явлений синовита со слабовыраженной динамикой. Так как травматизация произошла на завершающем этапе коррекции, металлоконструкции были удалены. Остаточное неравенство длины у пациентки составило 6 мм.

Обсуждение полученных результатов

Несмотря на полученные осложнения у 9 пациентов, связи этих осложнений с самим процессом оперативного вмешательства и дальнейшей коррекции мы не отметили.

Важность своевременного динамического наблюдения позволяет правильно оценить степень коррекции и сроков удаления металлоконструкций, не позволяя допустить гиперкоррекцию неравенства длины или осевой деформации нижних конечностей.

Правильный реабилитационный процесс позволяет в кратчайшие сроки полностью восстановить объем движений в коленном суставе, правильный стереотип ходьбы и полноценную жизнедеятельность ребенка.

Соблюдение ортопедического режима также является важным компонентом, так как у некоторых пациентов в связи со сниженным объемом мягких тканей вокруг коленного сустава металлоконструкции лежат достаточно «поверхностно», что облегчает травматизацию данной области.

Касательно миграции металлоконструкций мы определяем следующие возможные причины:

1. Анатомические особенности зоны роста:

- физиологическая резорбция кости в области эпифизарной пластинки может ослабить фиксацию;
- высокая нагрузка на коленный сустав (особенно у активных детей) способствует смещению импланта.

2. Технические ошибки при установке:

- неправильный подбор размера пластины/винта;
- недостаточная фиксация (слабая компрессия, неполное погружение винтов);
- размещение импланта слишком близко к суставной поверхности или связкам.

3. Динамический рост кости:

- быстрый рост ребёнка может вызвать «выталкивание» конструкции из-за неравномерного давления на пластину;
- асимметричный рост после частичного эпифизиодеза (например, при одностороннем блокировании).

4. Физическая активность пациента:

- ранние интенсивные нагрузки (спорт, бег) до формирования стабильной фиксации.

С нашей точки зрения преобладающие факторы в данном случае – это анатомические особенности зон роста и динамический рост ребенка. Так как проведение временного блокирования зон роста проводилось пациентам, ранее получавшим многоэтапное оперативное лечение по поводу патологии тазобедренного сустава, дальнейшее развитие нижних конечностей и функционирование зон роста, на наш взгляд, отличается от пациентов с изолированной разноразмерностью или осевым нарушением, и является труднопредсказуемым. Однако, как было отмечено ранее – своевременное динамическое наблюдение позволяет выявить нестабильность металлоконструкций и их миграцию на ранних этапах, что позволяет скорректировать тактику лечения.

Таким образом, несмотря на удобство и простоту методика временного блокирования зон роста области коленного сустава не лишена недостатков, однако все они поддаются коррекции при правильном динамическом наблюдении.

По итогу – в ходе нашего исследования полученные осложнения не оказывали значимого влияния на результат лечения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Тазобедренные суставы у детей часто подвержены различным патологиям, составляющим около 3% всех медицинских обращений (Zucker E. J., Lee E. Y., Restrepo R., Eisenberg R. L.). Формирование проксимальной части бедренной кости определяется генетическими факторами и зависит от работы трех ростовых зон: головки бедра, верхнего края шейки и большого вертела (Weinstein S. L., Mubarak S. J., Wenger D. R.). Если одна из этих зон подвергается негативному воздействию, нарушается нормальное развитие кости. В большинстве случаев стабилизация тазобедренного сустава требует хирургического вмешательства, которое может вызывать вторичные деформации пораженной конечности.

Одной из основных проблем является различие в длине ног. Даже если эта разница невелика – всего 1–2 см, она вызывает беспокойство у родителей пациента, чаще чем сама патология тазобедренного сустава. Несмотря на то, что разница длины может составлять 1–2 см, неравенство беспокоит родителей пациентов. Клинически заметная хромота, необходимость изготовления и ношения индивидуальной ортопедической обуви и компенсаторных стелек, проблема с подбором одежды – все это значимые факторы, влияющие на психоэмоциональное состояние, как ребенка, так и родителя.

При поражении зон роста проксимального отдела бедра могут возникнуть такие вторичные деформации в следствие нарушения их функции, такие как увеличение размера большого вертела, деформация Каламчи II типа и нарушение подвижности тазобедренного сустава. Если эти состояния вовремя не корректируются, они могут приводить к хронической боли, мышечной атрофии ягодиц и соседних суставов из-за неправильного распределения нагрузок, что в конечном счёте может вызвать артроз тазобедренного сустава.

Хотя за последнее время было предложено несколько методов коррекции осложнений после операций (Stevens P. M., Shin C. H., Hong W. K.), единое мнение специалистов пока отсутствует. Некоторые считают вторичные деформации отдельными заболеваниями опорно-двигательной системы и рассматривают их лечение как отдельный процесс, другие же в свою очередь вовсе не считают их значимыми и требующими коррекцию. Однако мы считаем важным своевременно прогнозировать и предотвращать их путём индивидуализированного подхода к лечению и детальной подготовки перед операциями.

Целью настоящего исследования являлось улучшить результаты лечения детей с патологией тазобедренного сустава путем выявления и своевременной коррекции вторичных деформаций нижних конечностей с использованием методики временного блокирования зон роста.

Задача 1 состояла в том, чтобы определить виды вторичных деформаций нижних конечностей после оперативного лечения на тазобедренном суставе и проследить их частоту в зависимости от патологии/нозологической патологии поражения ТБС.

Для определения спектра и частоты вторичных деформаций нижних конечностей, возникающих после оперативного лечения патологии тазобедренного сустава, проведён ретроспективный анализ 570 историй болезни пациентов, проходивших лечение в 10-м отделении ФГБУ «НМИЦ ТО им. Н. Н. Приорова». По итогам оценки документации отобрано 76 пациентов с документально подтверждёнными вторичными деформациями, что составило 13,33% от общего числа пролеченных детей.

Полученный показатель является клинически значимым: практически каждый шестой ребёнок, перенёсший оперативное вмешательство на тазобедренном суставе, в отдалённом периоде сталкивается с развитием новой ортопедической патологии, требующей дополнительной коррекции. Данная частота свидетельствует о том, что операция на тазобедренном суставе, даже будучи успешной в отношении коррекции первичной патологии, создаёт предпосылки для формирования новых биомеханических нарушений в нижележащих отделах опорно-двигательного аппарата. Это объясняется перераспределением нагружения, изменением векторов действия мышечных сил и адаптивной перестройкой ростковых зон в условиях изменившейся статики и динамики.

В связи с этим проблема вторичных деформаций не может игнорироваться при планировании долгосрочного ведения пациентов. Необходимо выявление закономерностей и рисков их развития, а также определение путей коррекции на основе анализа анамнеза заболевания, вида проведённого лечения и динамического наблюдения в послеоперационном и амбулаторном периоде.

Весь клинический материал был разделен на четыре группы по типу вторичной деформации нижней конечности:

1. Неравенство длины нижних конечностей – доминирующий вид деформации, диагностированный у 56 пациентов, что составило 73,68% от всей группы. Это подтверждает, что асимметрия роста конечностей является наиболее частым и ожидаемым последствием вмешательств на проксимальном отделе бедра.

2. Гипертрофия большого вертела – выявлена у 9 пациентов (11,84%).

3. Патология зоны роста шейки бедренной кости (изменения шеечно-диафизарного угла) – отмечена у 6 пациентов (7,89%).

4. Вальгусная деформация на уровне коленных суставов – диагностирована у 5 пациентов (6,56%).

Таким образом, более чем в 70% случаев вторичные изменения представлены разновеликостью конечностей. Однако остальные три типа деформаций, хотя и встречаются реже, в сумме составляют

почти 27% и также требуют прицельного внимания, поскольку затрагивают как проксимальные (шейка бедра, большой вертел), так и дистальные (коленный сустав) отделы конечности.

Для определения прогностических факторов риска проведена оценка формирования вторичных деформаций в зависимости от нозологии. Анализ показал, что наиболее часто к развитию вторичных изменений приводят три патологии: дисплазия тазобедренных суставов, болезнь Легга – Кальве – Пертеса и асептический некроз головки бедренной кости.

Таблица 6.1 – Доля вторичной деформации в зависимости от нозологии

Нозология	Общее число пациентов	Число с деформациями	Доля
Дисплазия тазобедренных суставов	504	49	9,72%
Болезнь Легга – Кальве – Пертеса	26	12	46,15%
Асептический некроз головки бедра	40	10	25%

Полученные результаты демонстрируют выраженную вариабельность риска в зависимости от характера первичного поражения. Дисплазия тазобедренных суставов является самой многочисленной группой, даёт относительно невысокий, но стабильный процент вторичных изменений – практически каждый десятый пациент. Данная патология является достаточно распространенной, что позволяет экстраполировать данные значения на популяцию и увеличивает значимость организации системного наблюдения.

Асептический некроз головки бедренной кости сопровождается формированием вторичных деформаций у каждого четвёртого ребёнка (25%).

Болезнь Легга – Кальве – Пертеса оказалась наиболее прогностически неблагоприятной. Вторичные деформации развиваются практически у каждого второго пациента (46,15%), так как патологический процесс при болезни Пертеса нарушает не только форму головки, но и зоны роста проксимального отдела бедра.

Выявленные закономерности позволяют сформулировать несколько ключевых пунктов:

1. Вторичные деформации нижних конечностей после оперативного лечения патологии тазобедренного сустава встречаются с клинически значимой частотой (13,33%), что требует длительного динамического наблюдения для всех пациентов данной группы.

2. Структура деформаций неоднородна: доминирует разновеликость конечностей (73,68%), однако в четверти случаев развиваются осевые и вертельные нарушения (гипертрофия большого вертела, патология шейки бедра, вальгусная деформация колена), требующие иных подходов к диагностике и коррекции.

4. Риск развития вторичных изменений напрямую зависит от исходной нозологии:

– пациенты с болезнью Пертеса составляют группу **наивысшего риска** (46%);

- при асептическом некрозе риск также высок (25%);
- при дисплазии абсолютное число пациентов диктует необходимость настороженности в отношении вторичных изменений, несмотря на относительный меньший риск (9,7%).

Полученные результаты служат основой для дальнейшего анализа закономерностей развития каждой конкретной деформации и разработки дифференцированных подходов к их профилактике и лечению. Тот факт, что практически каждый шестой пациент после успешного лечения патологии тазобедренного сустава сталкивается с необходимостью дополнительной коррекции, подчёркивает: операция на тазобедренном суставе не является финальным этапом лечения, а лишь одним из звеньев в длинной цепи реабилитационных и реконструктивных мероприятий.

Задача 2 состояла в оценке биомеханических нарушений у пациентов со вторичными деформациями нижних конечностей, определении их воздействия на течение заболевания тазобедренного сустава.

Для оценки функции тазобедренного сустава и нижних конечностей в статическом положении и в фазе нагрузки нами проведено биомеханическое исследование на аппарате Habilect MotionLAB (Хабилект) в условиях лаборатории биомеханики под руководством заведующего отделением реабилитации ЦИТО им. Н. Н. Приорова, доктора медицинских наук, профессора Цыкунова Михаила Борисовича.

Каждый пациент проходил два теста – статический и динамический. Каждый тест выполнялся 30 секунд. Во время выполнения статического теста оценивалось положение центра тяжести, положение пояса верхних и нижних конечностей, смещение тела в сторону. Во время динамического теста проводили оценку положения таза, отклонения общей оси тела от центра, смещение центра тяжести, распределение нагрузки на конечности. Все результаты тестов фиксировали в таблицах и графиках на экране аппарата Habilect, после чего проведено сравнение результатов контрольной и основной групп пациентов.

В результате проведенного исследования было установлено, что разная длина конечностей влияет на смещение центра тяжести в сторону более короткой ноги, отклонения корпуса во время статического и динамического положения более выражены, а стабилизация правильного положения затруднена и требует больших энергетических затрат организма. Также исследование подтвердило, что вторичные деформации приводят к значительным биомеханическим нарушениям, усугубляющим течение основного заболевания.

Ключевые патологические изменения, выявленные нами в ходе исследования:

1. Перекос таза во фронтальной плоскости (в среднем на $9,69 \pm 4,2^\circ$) при разнице в длине конечностей более 1,5 см.

2. Позиционный подвывих головки бедренной кости на стороне более длинной конечности в положении стоя в связи со смещением таза:

- снижение коэффициента покрытия головки бедренной кости ($p < 0,001$).
- уменьшение угла Виберга ($p = 0,002$), что повышает риск развития коксартроза.

3. Нарушение походки (укорочение фазы опоры на пораженную конечность, смещение центра тяжести).

4. У пациентов с разницей в длине конечностей >2 см отмечалось:

- смещение центра тяжести в сторону укороченной ноги ($p \leq 0,001$);
- увеличение нагрузки на короткую конечность (в среднем 55,5% против 44,5%);
- удлинение траектории центра тяжести ($p = 0,006$), что свидетельствует о повышенных энергозатратах при ходьбе.

Таким образом нарушение биомеханики нижних конечностей может приводить к следующим клиническим последствиям:

- 1) хроническая перегрузка тазобедренного сустава $\rightarrow$ ранний деформирующий артроз $\rightarrow$ раннее эндопротезирование и ранняя инвалидность;
- 2) формирование сколиотической осанки из-за компенсаторного наклона позвоночника по биомеханической системе «позвоночник – таз»;
- 3) вертельно-тазовый импинджмент при гипертрофии большого вертела.

Задача 3 состояла в выработке алгоритма коррекции вторичных деформаций нижних конечностей с использованием малотравматичной методики временного блокирования зон роста.

В ходе работы установлено, что у пациентов с неравенством длины нижних конечностей методика временного эпифизиодеза наиболее эффективна в младших возрастных группах (4–11 лет), что обусловлено максимальным потенциалом роста в этом периоде. С увеличением возраста пациентов эффективность метода закономерно снижается: в старшей возрастной группе (12–16 лет) процент частичной коррекции в разы превышает долю полного выравнивания длины конечностей.

Проведена оценка скорости нарастания неравенства длины после оперативного лечения на тазобедренном суставе. Согласно полученным данным, клинически значимая разница длины нижних конечностей формируется в среднем через 2 года после операции. Наиболее ранние сроки выявления разновеликости отмечены у пациентов, оперированных по поводу болезни Легга – Кальве – Пертеса и асептического некроза головки бедренной кости. Это объясняется тем, что данные патологии сами по себе способствуют укорочению поражённой конечности за счёт коллапса головки бедренной кости и снижения её высоты, что потенцирует развитие постоперационной асимметрии.

На основании полученных данных разработана тактика коррекции вторичных деформаций нижних конечностей с применением методики временного эпифизиодеза зон роста:

1. У детей 4–11 лет показано динамическое наблюдение за нарастанием разноразмерности длины нижних конечностей на протяжении 12–18 месяцев от проведенного оперативного лечения на тазобедренном суставе.

2. Для пациентов 12 лет и старше при разнице длины нижних конечностей более 1,2–1,5 см целесообразно проведение временного блокирования зон роста в пределах 6–9 месяцев после оперативного лечения.

3. Для пациентов с разноразмерностью 1,5–2 см, обусловленной преимущественно бедренным сегментом, в возрасте, близком к завершению роста, рекомендуется выполнение эпифизиодеза обоих сегментов (бедренного и голени) для достижения оптимального результата.

4. При остаточном неравенстве менее 1 см результат расценивается как функционально удовлетворительный, и дополнительная коррекция не требуется.

Разработанная тактика коррекции вторичных деформаций нижних конечностей с использованием временного эпифизиодеза зон роста схематично представлена на блок-схеме (Рисунок 6.1). Предложенный алгоритм позволяет дифференцированно подходить к выбору сроков и объема вмешательства в зависимости от возраста пациента, темпов нарастания деформации и сегментарного вклада в разноразмерность, что обеспечивает персонализацию лечения и минимизацию риска неудовлетворительных исходов.

Задача 4 заключалась в оценке результатов и эффективности коррекции различных видов вторичных деформаций методикой блокирования зоны роста, анализе ошибок и осложнений. Для решения данной задачи нами проведен анализ документации 51-го пациента, полностью закончивших коррекцию вторичных деформаций с применением методики временного блокирования зон роста. По итогам оценки мы выявили коррекцию неравенства длины:

- полная компенсация достигнута у 72,7% пациентов;
- частичная коррекция (остаточная разница 0,5–1 см) – у 25%;
- неэффективность (3,2 см остаточного укорочения) – у 2,3% (тяжелая исходная деформация).

Факторы, влияющие на результат:

1. Возраст:

- 4–7 лет – 87,5% полной коррекции;
- 8–11 лет – 76,2% полной коррекции;
- 12–16 лет – только 28,6% (из-за снижения ростового потенциала).

2. Сегмент вмешательства:

- коррекция за счет бедренной кости эффективнее, чем за счет голени.

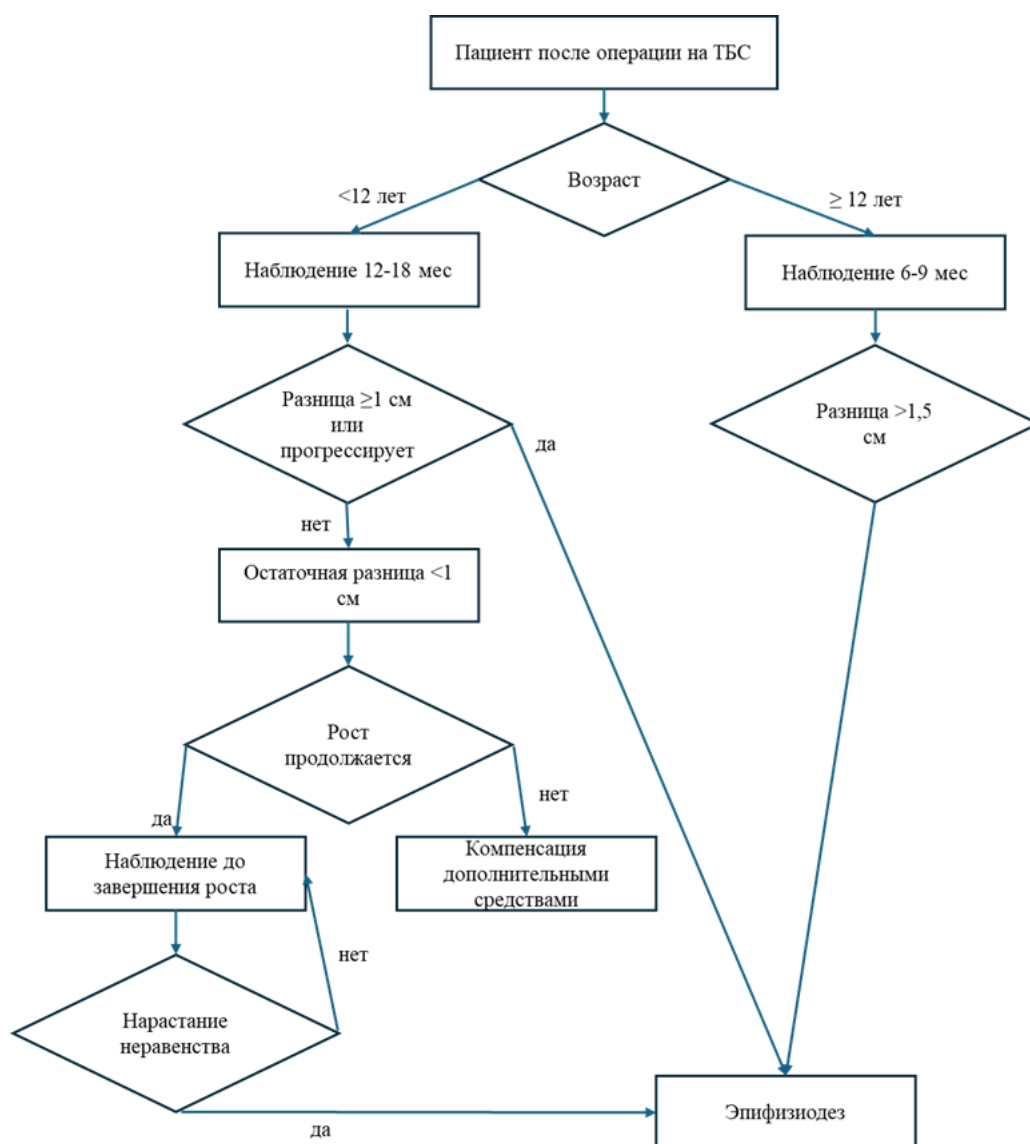


Рисунок 6.1 – Блок-схема алгоритма коррекции вторичной деформации нижних конечностей

По результатам анализа мы выявили, что методика временного эпифизиодеза зон роста демонстрирует высокую клиническую эффективность у пациентов с послеоперационным неравенством длины нижних конечностей. Блокирование роста позволяет либо полностью устранить разницу в длине конечностей, либо уменьшить её до физиологически приемлемых показателей, в результате чего будут созданы благоприятные условия для восстановления нормальной биомеханики и функциональности нижних конечностей.

При оценке результатов применения методики временного эпифизиодеза зон роста проксимального отдела бедра мы выявили:

- 1) достигается стабилизация шейечно-диафизарного угла (без прогрессирования деформации);
- 2) увеличивается артикуло-трохантерная дистанция (с $-4 \pm 5,3$ мм до $6,1 \pm 7,6$ мм, $p = 0,015$), что улучшает стабилизацию тазобедренного сустава, позволяя более качественно реабилитировать ягодичную группу мышц, а также снизить риски возникновения вертельно-тазового импиджмента.

Исходя из представленных данных применение методики временного эпифизиодеза зон роста проксимального отдела бедренной кости показывает положительные результаты по результатам своего лечения.

На основании историй болезни пациентов, закончивших лечение, проведен анализ ошибок и осложнений:

1. Гиперкоррекция неравенства длины нижних конечностей была связана с ранней установкой металлоконструкций.

2. У одной пациентки возникла варусная деформация из-за асинхронной работы металлоконструкций в зонах роста. Своевременное удаление имплантата позволило восстановить ось конечности.

3. Миграция имплантатов была вызвана анатомическими особенностями зон роста и динамическим ростом кости.

4. Временное ограничение движений в коленном суставе и синовит были связаны с послеоперационным восстановлением и травматизацией. Эти осложнения устранялись консервативными методами или удалением конструкций, что подтверждает их управляемый характер.

Таким образом, в ходе выполнения диссертационного исследования удалось решить все четыре поставленные задачи и реализовать поставленную цель.

Проведенное исследование подтверждает, что вторичные деформации после операций на тазобедренном суставе требуют тщательного подхода, включающего раннюю диагностику, индивидуальный выбор тактики лечения и динамическое наблюдение. Временный эпифизиодез является эффективным методом коррекции, однако его результативность зависит от возраста пациента и точности предоперационного планирования. Дальнейшие исследования должны быть направлены на оптимизацию хирургических методик для пациентов подросткового возраста с низким ростовым потенциалом.

Выводы

1. После оперативного лечения на тазобедренном суставе у детей вторичные деформации нижних конечностей наблюдаются в 13,3% случаев (из них неравенство длины - 73,9%, гипертрофия большого вертела – 11,84%, патология шейки бедренной кости – 7,89%, вальгусная деформация нижних конечностей 6,56%). Вторичные деформации при дисплазии тазобедренных суставов проявляются в 9,72% случаев, при болезни Легга – Кальве – Пертеса в 46,15%, асептическом некрозе головки бедренной кости – 25%.

2. Биомеханический анализ показал статистически значимые изменения постурального контроля в связи с наличием вторичных деформаций нижних конечностей: смещение центра тяжести смещено каудально на ≈ 20 см ($p \leq 0,001$), увеличенная длина траектории ЦТ в 2,3 раза при ходьбе

($p \leq 0,01$), рост площади рассеивания точек ЦТ (С90) и показателей REC/RMS в 2–2,5 раза ($p \leq 0,01$), а также увеличение разброса данных (СКО) в 3–5 раз ($p \leq 0,001$). Совокупность этих изменений формирует патологический стереотип походки с повышенной нагрузкой на опорно-двигательную систему, перекосом таза с асимметричным распределением кинетических параметров, что создает биомеханические предпосылки для формирования позиционного подвывиха головки бедренной кости и повышает риск ранних дегенеративно-дистрофических изменений в тазобедренном суставе.

3. Применение методики управляемого роста продемонстрировало высокую клиническую эффективность при коррекции неравенства длины как вторичной деформации: полная коррекция достигнута у 72,7% пациентов, частичная – у 25%. Наибольшая результативность отмечена в группе детей 4–11 лет, у пациентов 12–16 лет эффективность метода снижалась (28,6% случаев).

4. Разработан алгоритм применения методики временного блокирования зон роста, определены показания и оптимальные сроки оперативной коррекции в зависимости от типа деформации и возраста ребенка. Соблюдение выработанной стратегии позволяет статистически достоверно добиться более стабильной положительной коррекции деформации или предотвратить ее формирование ($p \leq 0,001$).

Практические рекомендации

1. Пациенты, которые перенесли оперативное вмешательство на тазобедренном суставе, должны динамически наблюдаться не реже одного раза в год до момента полного окончания роста. Оценивать нарастание разницы длины нижних конечностей у детей младше 12 лет рекомендуется в течение 12–18 месяцев после операции. Своевременное выявление неравенства длины позволяет использовать методику временного блокирования зон роста на этапе активного роста,

2. У детей в возрасте 12 лет и старше с исходно высоким риском развития разновеликости (после коррекции болезни Легга – Кальве – Пертеса или асептического некроза головки бедренной кости) при выявлении разницы длины конечностей более 1,2–1,5 см рекомендуется выполнение временного эпифизиодеза зон роста в пределах 6–9 месяцев после операции на проксимальном отделе бедра.

3. У пациентов в возрасте близком к завершению роста и при исходной разнице 1,5–2 см рекомендуется выполнение эпифизиодеза обоих сегментов – бедра и голени. Это позволяет достичь оптимальной суммарной коррекции с учётом более раннего закрытия зон роста бедренной кости по сравнению с большеберцовой.

4. Решение о возможности использования методики временного блокирования зон роста должно основываться на костном возрасте пациента для более прогнозируемой коррекции.

5. Пациенты, оперированные по поводу болезни Легга – Кальве – Пертеса и асептического некроза головки бедренной кости, составляют группу наивысшего риска развития вторичных деформаций нижних конечностей. Наблюдение таких пациентов должно проводиться чаще (каждые 6 месяцев в течение первых двух лет после операции), с обязательным клиническим измерением длины конечностей и рентгенологическим контролем тазобедренных суставов.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

АИ – ацетабулярный индекс

АТД – артикуло-трохантерная дистанция

АТД – артикуло-трохантерная дистанция

ДТ – длина траектории

КП – коэффициент покрытия

СКО – Standard Concentration Offset

ТВР – тазово-вертельное расстояние

ЦТ – центр тяжести

ШДУ – шейно-диафизарный угол

ШЭУ – шейно-эпифизарный угол

ЭОП – электронно-оптический преобразователь

REC – Reconstruction Error

RMS – Root Mean Square

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белецкий, А. В. Особенности формирования деформации проксимального отдела бедренной кости (II тип по Kalamchi) и ее диагностика / А. В. Белецкий, О. А. Соколовский, Ю. В. Лихачевский, О. В. Ковальчук // Ортопедия, травматология и протезирование. – 2011. – № 4. – С. 5–12.
2. Дольницкий, О. В. Формы поражения головки бедренной кости при болезни Пертеса / О. В. Дольницкий, А. А. Радомский // Ортопедия, травматология и протезирование. – 1991. – № 5. – С. 55–61.
3. Евсеев, В. И. Биомеханическая концепция патогенеза дегенеративно-дистрофических процессов в тазобедренном суставе / В. И. Евсеев // Коксартроз (патогенез, клиника, лечение). – Л. : ЛНИИТО, 1980. – С. 3–15.
4. Ершов, Э. В. Диагностика и коррекция деформаций позвоночного столба больных с односторонним укорочением нижней конечности : автореф. дис. ... канд. мед. наук : 14.00.22 / Ершов Эдуард Витальевич. – Курган; 2007. – 30 с.
5. Камоско, М. М. Транспозиция вертлужной впадины при хирургическом лечении дисплазии тазобедренного сустава / М. М. Камоско // Вестник хирургии имени И. И. Грекова. – 2006. – Т. 165, № 2. – С. 60–66.
6. Кенис, В. М. Коррекция деформаций нижних конечностей у детей с помощью метода управляемого роста / В. М. Кенис, И. Ю. Клычкова, Е. В. Мельченко [и др.] // Вестник травматологии и ортопедии им. Н. Н. Приорова. – 2013. – № 4. – С. 50–55.
7. Кожевников, О. В. Болезнь Легг-Кальве-Пертеса: этиология, патогенез, диагностика и лечение / О. В. Кожевников, В. А. Лысыков, А. В. Иванов. – DOI 10.17816/vto201724177-87 // Вестник травматологии и ортопедии им. Н. Н. Приорова. – 2017. – № 1 (24). – С. 77–87.
8. Краснов, А. И. Многоплоскостные деформации проксимального отдела бедренной кости после консервативного лечения врожденного вывиха бедра у детей: (Патогенез, клиника, диагностика, лечение) : автореф. дис. ... канд. мед. наук : 14.00.22 / Краснов Андрей Иванович ; Ленингр. НИИ травматологии и ортопедии им. Р. Р. Вредена. – Ленинград, 1990. – 50 с.
9. Кузнецов, А. С. Оценка методики временного эпифизиодеза при неравенстве длины нижних конечностей у детей / А. С. Кузнецов, О. В. Кожевников, С. Э. Кралина // Приоровские чтения 2023 : Сб. работ. – М. : НМИЦ им. Н. Н. Приорова, 2023. – С. 104–106.
10. Лагунова, И. Г. Рентгеноанатомия скелета / И. Г. Лагунова. – Москва : Медицина, 1981. – 368 с.
11. Малахов, О. А. Развитие тазобедренного сустава у детей и подростков (экспериментальное анатомо-рентгенологическое исследование) / О. А. Малахов, А. К. Морозов, Е. В. Огарев, И.

А. Косова. – DOI 10.17816/vto99952 // Вестник травматологии и ортопедии им. Н. Н. Приорова. – 2002. – Т. 9, № 3. – С. 70–75.

12. Малахов, О. А. Нарушения развития тазобедренного сустава: клиника, диагностика, лечение / О. А. Малахов, М. Б. Цыкунов, В. Д. Шарпарь. – Ижевск : Удм. ун-т; 2005. – 167 с.

13. Маркс, В. О. Ортопедическая диагностика: руководство для врачей / В. О. Маркс. – Минск : Наука и техника, 1978. – 512 с.

14. Макушин, В. Д. Рентгенологическая классификация врожденной дисплазии тазобедренного сустава / В. Д. Макушин, М. П. Тепленький // Гений ортопедии. – 2010. – № 2. – С. 103–108.

15. Осьминина, А. Т. Клиническая анатомия тазобедренных суставов новорожденных : автореф. дис. на соискание ученой степени кандидата медицинских наук / А. Т. Осьминина ; Второй Моск. гос. мед. ин-т им. Н. И. Пирогова. – Москва, 1968. – 24 с.

16. Петрова, Д. А. Коррекция разноразмерности нижних конечностей у детей методом управляемого роста : автореф. дис. ... канд. мед. наук : 3.1.8. / Петрова Дарья Александровна. – Санкт-Петербург, 2022. – 24 с. – Место защиты: ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени Р. Р. Вредена» Министерства здравоохранения Российской Федерации.

17. Поздникин, И. Ю. Апофизеодез большого вертела в комплексном лечении детей с патологией тазобедренного сустава / И. Ю. Поздникин, В. Е. Басков, Д. Б. Барсуков [и др.]. – DOI 10.17816/PTORS33942 // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. – 2020. – № 3 (8). – С. 249–258.

18. Привес, М. Г. Кровоснабжение длинных трубчатых костей человека / М. Г. Привес. – Л. : Медгиз, 1938. – 260 с.

19. Реутов, А. И. Клинико-биомеханическое обоснование лечения больных с укорочениями и деформациями нижней конечности с нарушением функции крупных суставов : автореф. дис. ... д-ра мед. наук : 14.00.22 / Александр Иванович Реутов. – Курган, 2003. – 50 с.

20. Рыжов, П. В. Применение метода временного блокирования зон роста при лечении деформаций нижних конечностей у детей / П. В. Рыжов, Н. В. Пирогова, А. В. Шмельков // Наука и инновации в медицине. – 2017. – № 3 (7). – С. 58–62.

21. Садофьева, В. И. Нормальная рентгеноанатомия костно-суставной системы детей / В. И. Садофьева. – Ленинград : Медицина; Ленингр. отд-ние, 1990. – 219 с.

22. Синельников, Р. Д. Атлас анатомии человека : в 3 томах. Т. 3 / Р. Д. Синельников, Я. Р. Синельников. – М. : Медицина, 1992. – С. 116–118.

23. Соколовский, О. А. Обоснование современных реконструктивно-восстановительных вмешательств при дисплазии тазобедренного сустава у подростков : автореф. дис. ... д-ра мед. наук : 14.00.22 / Соколовский Олег Анатольевич. – Минск, 2005. – 37 с.

24. Тихоненков, Е. С. Остаточные подвывихи бедра у детей и их оперативное лечение : автореф. дис. ... д-ра медицинских наук : 14.00.22 / Тихоненков Егор Селиверстович. – Ленинград, 1981. – 43 с.

25. Фаддеев, Д. И. Чрескостный остеосинтез по Илизарову при удлинении, исправлении деформаций, замещении дефектов длинных костей нижних конечностей у детей, подростков и взрослых / Д. И. Фаддеев // Актуальные вопросы детской травматологии и ортопедии. – СПб., 2002. – С. 95–96.

26. Хусаинов, Н. О. Фемороацетабулярный импинджмент: обзор литературы / Н. О. Хусаинов. – DOI 10.17816/PTORS3242-47 // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. – 2015. – Т. 3, № 2. – С. 42–47.

27. Agus, H. Medial percutaneous hemi-epiphysiodesis improves the valgus tilt of the femoral head in developmental dysplasia of the hip (DDH) type-II avascular necrosis / H. Agus, B. Önvural, C. Kazimoglu [et al.]. – DOI 10.3109/17453674.2015.1037222 // Acta Orthop. – 2015. – № 4 (86). – P. 506–510.

28. Alassaf, N. Predictors of femoral shortening for pediatric DDH surgery / N. Alassaf. – DOI 10.1186/s13037-018-0176-y // Patient Saf. Surg. – 2018. – № 12. – P. 29.

29. Antolic, V. Hip biomechanics in orthopaedic clinical practice / V. Antolic, V. Kralj-Iglic, A. Iglic, B. Pompe // J. Cell. Mol Biol. – 2002. – № 2 (7). – P. 311–315.

30. Belchier, J. An account of the bones of animals being changed to a red colour by aliment only / J. Belchier // Philos Trans R. Soc. – 1736. – № 39. – P. 287–288.

31. Belchier, J. A further account of the bones of animals being made red by aliment only / J. Belchier // Philos Trans R. Soc. – 1736. – № 39. – P. 299–300.

32. Bergmann, G. Hip joint contact forces during stumbling / G. Bergmann, F. Graichen, A. Rohlmann // Lang Arch Surg. – 2004. – № 1 (389). – P. 53–59.

33. Bertram, J. E. Mechanics of avian fibrous periosteum: tensile and adhesion properties during growth / J. E. Bertram, Y. Polevoy, D. M. Cullinane. – DOI 10.1016/s8756-3282(98)00035-0 // Bone. – 1998. – № 6 (22). – P. 669–675.

34. Blumer, M. J. Structure, formation and role of cartilage canals in the developing bone / M. J. Blumer, S. Longato, H. Fritsch. – DOI 10.1016/j.aanat.2008.02.004 // Ann. Anat. – 2008. – № 4 (190). – P. 305–315.

35. Blount, W. P. Control of bone growth by epiphyseal stapling; a preliminary report / W. P. Blount, G. R. Clarke. – PMID: 18153890 // J. Bone Joint Surg. Am. – 1949. – № 31 A (3). – P. 464–478.

36. Blount, W. P. A mature look at epiphyseal stapling / W. P. Blount. – PMID: 5140445 // Clin. Orthop. Relat. Res. – 1971. – № 77. – P. 158–163.

37. Bowen, J. R. Percutaneous epiphysiodesis / J. R. Bowen, W. J. Johnson. – PMID: 6488627 // Clin. Orthop. Relat. Res. – 1984. – № 190. – P. 170–173.
38. Brax, P. L'épiphysiodèse percutanée. Premiers essais concernant les os longs des membres inférieurs / P. Brax, P. Gille. – PMID: 2630114 // Chir. Pediatr. – 1989. – № 6 (30). – P. 263–265.
39. Brighton, C. T. The growth plate / C. T. Brighton. – PMID: 6387573 // Orthop. Clin. North Am. – 1984. – № 4 (15). – P. 571–595.
40. Buess, P. Die schenkelhalsverlängernde Osteotomie mit Distalisierung des Trochanter major bei Coxa vara nach Hüftluxation / P. Buess, E. Morscher. – PMID: 3217108 // Orthopäde. – 1988. – № 6 (17). – P. 485–490.
41. Burger, K. Long-term results and comparison of the Green-Anderson and multiplier growth prediction methods after permanent epiphysiodesis using Canale's technique / K. Burger, S. Farr, J. Hahne [et al.]. – DOI 10.1302/1863-2548.13.190024 // J. Child Orthop. – 2019. – № 4 (13). – P. 423–430.
42. Burghardt, R. D. Temporary hemiepiphysal arrest using a screw and plate device to treat knee and ankle deformities in children: a preliminary report / R. D. Burghardt, J. E. Herzenberg, S. C. Standard, D. Paley // J. Child Orthop. – 2008. – № 2. – P. 187–197.
43. Burr, D. B. Sexual dimorphism and mechanics of the human hip: a multivariate assessment / D. B. Burr, D. P.-V. Gerven, B. L. Gustav // Am. J. Phys. Anthropol. – 1977. – № 2 (47). – P. 273–278.
44. Campbell, P. Lateral tethering of the proximal femoral physis complicating the treatment of congenital hip dysplasia / P. Campbell, S. D. Tarlow. – PMID: 2105338 // J. Pediatr. Orthop. – 1990. – № 1 (10). – P. 6–8.
45. Canale, S. T. Techniques for epiphysiodesis about the knee / S. T. Canale, C. A. Christian. – PMID: 2347169 // Clin. Orthop. Relat. Res. – 1990. – № 255. – P. 81–85.
46. Canale, S. T. Percutaneous epiphysiodesis: experimental study and preliminary clinical results / S. T. Canale, T. A. Russell, R. L. Holcomb. – PMID: 3958167 // J. Pediatr. Orthop. – 1986. – № 2 (6). – P. 150–156.
47. Carter, C. O. Genetic and environmental factors in the aetiology of congenital dislocation of the hip / C. O. Carter, J. A. Wilkinson // Clin. Orthop. Relat. Res. – 1964. – № 33. – P. 119–128.
48. Chang, C. H. Progressive coxa vara by eccentric growth tethering in immature pigs / C. H. Chang, C. H. Chi, Z. L. Lee. – DOI 10.1097/01202412-200607000-00014 // J. Pediatr. Orthop. B. – 2006. – № 4 (15). – P. 302–306.
49. Chhina, H. What matters to children with lower limb deformities: an international qualitative study guiding the development of a new patient-reported outcome measure / H. Chhina, A. F. Klassen, J. A. Kopec [et al.]. – DOI 10.1186/s41687-021-00299-w. – PMID: 33792793. – PMCID: PMC8017030 // J. Patient Rep. Outcomes. – 2021 Apr 1. – № 1 (5). – P. 30.

50. Choi, W. Y. Leg length discrepancy, overgrowth, and associated risk factors after a pediatric tibial shaft fracture / W. Y. Choi, M. S. Park, K. M. Lee [et al.]. – DOI 10.1186/s10195-021-00575-x // J. Orthop. Traumatol. – 2021. – № 1 (22). – P. 12.
51. Clement, D. A. Overgrowth of the femur after fracture in childhood. An increased effect in boys / D. A. Clement, C. L. Colton. – DOI 10.1302/0301-620X.68B4.3733825 // J. Bone Joint Surg. Br. – 1986. – № 4 (68). – P. 534–536.
52. Compere, E. L. Deformities of the femur from growth arrest of capital and trochanteric epiphyses / E. L. Compere, M. Garrison, J. J. Fahey // J. Bone Joint Surg. Am. – 1940. – № 22. – P. 909–915.
53. d'Heurle, A. Proximal Femoral Growth Modification: Effect of Screw, Plate, and Drill on Asymmetric Growth of the Hip / A. d'Heurle, J. McCarthy, D. Klimaski, K. Stringer. – DOI 10.1097/BPO.0000000000000771 // J. Pediatr. Orthop. – 2018. – № 2 (38). – P. 100–104.
54. Davids, J. R. Juvenile hallux valgus deformity: surgical management by lateral hemiepiphysodesis of the great toe metatarsal / J. R. Davids, D. McBrayer, D. W. Blackhurst. – DOI 10.1097/BPO.0b013e3181558a7c // J. Pediatr. Orthop. – 2007. – № 7 (27). – P. 826–830.
55. Duhamel, H. L. Sur le developpment et la crue des os des animaux / H. L. Duhamel // Mem. Acad. Roy des Sci. Paris. – 1742. – № 55. – P. 354–370.
56. Ecklund, K. Imaging of growth disturbance in children / K. Ecklund, D. Jaramillo. – DOI 10.1016/s0033-8389(05)70313-4 // Radiol. Clin. North Am. – 2001. – № 4 (39). – P. 823–841.
57. Edgren, W. Coxa plana. A clinical and radiological investigation with particular reference to the importance of the metaphyseal changes for the final shape of the proximal part of the femur / W. Edgren. – PMID: 5850148 // Acta Orthop. Scand. Suppl. – 1965. – № suppl. 84. – P. 1–129.
58. Forrester-Brown, M. F. The Lorenz Bifurcation Osteotomy for Irreducible Congenital Dislocation of Hip: (Section of Orthopaedics) / M. F. Forrester-Brown. – DOI 10.1177/003591573803100506. – PMID: 19991428. – PMCID: PMC2076713 // Proc. R. Soc. Med. – 1938 Mar. – № 5 (31). – P. 454–461.
59. Foroohar, A. Head-shaft angle measurement in children with cerebral palsy / A. Foroohar, J. McCarthy, D. Yucha [et al.]. – DOI 10.1097/BPO.0b013e31819bceee // J. Pediatr. Orthop. – 2009. – № 3 (29). – P. 248–250.
60. Frantz, C. H. Epiphyseal stapling: a comprehensive review / C. H. Frantz. – PMID: 5140444 // Clin. Orthop. Relat Res. – 1971. – № 77. – P. 149–157.
61. Gage, J. R. The effects of trochanteric epiphysodesis on growth of the proximal end of the femur following necrosis of the capital femoral epiphysis / J. R. Gage, J. M. Cary. – PMID: 7391102 // J. Bone Joint Surg. Am. – 1980. – № 5 (62). – P. 785–794.
62. Glicenstein, J. Jacques Mathieu Delpech et l'École de Montpellier: 1ère partie Jacques Mathieu Delpech (1777–1832) = Jacques Mathieu Delpech and School of Montpellier: 1st part Jacques Mathieu

Delpech (1777–1832) / J. Glicenstein. – DOI 10.1016/j.anplas.2012.04.008. – PMID: 22633660 // *Ann. Chir. Plast Esthet.* – 2012 Jun. – № 3 (57). – P. 185–191. [French].

63. Gordon, J. E. Leg Length Discrepancy: The Natural History (And What Do We Really Know) / J. E. Gordon, L. E. Davis. – DOI 10.1097/BPO.0000000000001396 // *J. Pediatr. Orthop.* – 2019. – № 39 (Iss. 6, suppl. 1). – P. S10–S13.

64. Grover, J. P. Mechanical behavior of the lamb growth plate in response to asymmetrical loading: a model for Blount disease / J. P. Grover, R. Vanderby, E. M. Leiferman [et al.]. – DOI 10.1097/BPO.0b013e318070cb9b. – PMID: 17585254 // *J. Pediatr. Orthop.* – 2007 Jul-Aug. – № 5 (27). – P. 485–492.

65. Grzegorzewski, A. Leg length discrepancy in Legg-Calve-Perthes disease / A. Grzegorzewski, M. Synder, P. Kozłowski [et al.]. – DOI 10.1097/01.bpo.0000148497.05181.51 // *J. Pediatr. Orthop.* – 2005. – № 2 (25). – P. 206–209.

66. Guille, J. T. Physeal surgery: indications and operative treatment / J. T. Guille, A. Yamazaki, J. R. Bowen. – PMID: 9181191 // *Am. J. Orthop (Belle Mead NJ)*. – 1997. – № 5 (26). – P. 323–332.

67. Haas, S. L. Mechanical retardation of bone growth / S. L. Haas. – PMID: 18912314 // *J. Bone Joint Surg. Am.* – 1948. – № 30A (2). – P. 506–512.

68. Haas, S. L. Retardation of bone growth by a wire loop / S. L. Haas // *J. Bone Joint Surg. Am.* – 1945. – № 27. – P. 25–36.

69. Halanski, M. A. Periosteal Fiber Transection During Periosteal Procedures Is Crucial to Accelerate Growth in the Rabbit Model / M. A. Halanski, T. Yildirim, R. Chaudhary [et al.]. – DOI 10.1007/s11999-015-4646-6 // *Clin. Orthop. Relat Res.* – 2016. – № 4 (474). – P. 1028–1037.

70. Harvey, W. F. Association of leg-length inequality with knee osteoarthritis: a cohort study / W. F. Harvey, M. Yang, T. D. Cooke [et al.]. – DOI 10.7326/0003-4819-152-5-201003020-00006 // *Ann. Intern. Med.* – 2010. – № 5 (152). – P. 287–295.

71. Helms, C. A. CT scanograms for measuring leg length discrepancy / C. A. Helms, S. McCarthy. – DOI 10.1148/radiology.151.3.6718746 // *Radiology*. – 1984. – Vol. 151, № 3. – P. 802–802.

72. Herring, J. A. Legg-Calve-Perthes disease. Part I: Classification of radiographs with use of the modified lateral pillar and Stulberg classifications / J. A. Herring, H. T. Kim, R. Browne. – PMID: 15466719 // *J. Bone Joint Surg. Am.* – 2004. – № 10 (86). – P. 2103–2120.

73. Horton, G. A. Epiphysiodesis of the lower extremity: results of the percutaneous technique / G. A. Horton, B. W. Olney. – DOI 10.1097/00004694-199603000-00008 // *J. Pediatr. Orthop.* – 1996. – № 2 (16). – P. 180–182.

74. Hsieh, H. C. Guided Growth Improves Coxa Valga and Hip Subluxation in Children with Cerebral Palsy / H. C. Hsieh, T. M. Wang, K. N. Kuo [et al.]. – DOI 10.1097/CORR.0000000000000903 // *Clin. Orthop. Relat Res.* – 2019. – № 11 (477). – P. 2568–2576.

75. Iannotti, J. P. Growth plate physiology and pathology / J. P. Iannotti. – PMID: 2404230 // Orthop. Clin. North Am. – 1990. – № 1 (21). – P. 1–17.
76. Inan, M. The correction of leg-length discrepancy after treatment in developmental dysplasia of the hip by using a percutaneous epiphysiodesis / M. Inan, G. Chan, J. R. Bowen. – DOI 10.1097/BPB.0b013e3282e61af7 // J. Pediatr. Orthop. B. – 2008. – № 1 (17). – P. 43–46.
77. Iwersen, L. J. Relative trochanteric overgrowth after ischemic necrosis in congenital dislocation of the hip / L. J. Iwersen, V. Kalen, C. Eberle. – PMID: 2732315 // J. Pediatr. Orthop. – 1989. – № 4 (9). – P. 381–385.
78. Jain, M. J. Tension Band Plate (TBP)-guided Hemiepiphysiodesis in Blount Disease: 10-Year Single-center Experience With a Systematic Review of Literature / M. J. Jain, I. A. Inneh, H. Zhu, W. A. Phillips. – DOI 10.1097/BPO.0000000000001393 // J. Pediatr. Orthop. – 2020. – № 2 (40). – P. e138–e143.
79. Jaramillo, D. Gadolinium-enhanced MR imaging demonstrates abduction-caused hip ischemia and its reversal in piglets / D. Jaramillo, O. L. Villegas-Medina, D. K. Doty [et al.]. – DOI 10.1007/BF02011824. – PMID: 8570310 // Pediatr. Radiol. – 1995. – № 8 (25). – P. 578–587.
80. Joseph, B. Morphological changes in the acetabulum in Perthes' disease / B. Joseph. – DOI 10.1302/0301-620X.71B5.2584244. – PMID: 2584244 // J. Bone Joint Surg. Br. – 1989 Nov. – № 5 (71). – P. 756–763.
81. Kalamchi, A. Avascular necrosis following treatment of congenital dislocation of the hip / A. Kalamchi, G. D. MacEwen. – PMID: 7430175 // J. Bone Joint Surg/ Am. – 1980. – № 6 (62). – P. 876–888.
82. Kaufman, K. R. Gait asymmetry in patients with limb-length inequality / K. R. Kaufman, L. S. Miller, D. H. Sutherland. – PMID: 8742288 // J. Pediatr. Orthop. – 1996. – № 2 (16). – P. 144–150.
83. Keret, D. Growth disturbance of the proximal part of the femur after treatment for congenital dislocation of the hip / D. Keret, G. D. MacEwen. – PMID: 2002079 // J. Bone Joint Surg. Am. – 1991. – № 3 (73). – P. 410–423.
84. Kim, H. W. Acetabular development in developmental dysplasia of the hip complicated by lateral growth disturbance of the capital femoral epiphysis / H. W. Kim, J. A. Morcuende, L. A. Dolan, S. L. Weinstein. – DOI 10.2106/00004623-200012000-00002 // J. Bone Joint Surg. Am. – 2000. – № 12 (82). – P. 1692–1700.
85. Kollitz, K. M. Classifications in brief: the Herring lateral pillar classification for Legg-Calvé-Perthes disease / K. M. Kollitz, A. O. Gee. – DOI 10.1007/s11999-013-2992-9 // Clin. Orthop. Relat. Res. – 2013. – № 7 (471). – P. 2068–2072.
86. Kwon, K. S. Effect of greater trochanteric epiphysiodesis after femoral varus osteotomy for lateral pillar classification B and B/C border Legg-Calvé-Perthes disease: A retrospective observational

study / K. S. Kwon, S. I. Wang, J. H. Lee [et al.]. – DOI 10.1097/MD.00000000000007723 // *Medicine* (Baltimore). – 2017. – № 31 (96). – P. e7723.

87. Laor, T. MR imaging insights into skeletal maturation / T. Laor, D. Jaramillo. – DOI 10.1148/radiol.2501071322 // *Radiology*. – 2009. – № 1 (250). – P. 28–38.

88. Langenskiöld, A. Epiphyseodesis of the greater trochanter / A. Langenskiöld, P. Salenius. – DOI 10.3109/17453676708989634 // *Acta Orthop. Scand.* – 1967. – № 2 (38). – P. 199–219.

89. Laurent, L. E. Growth disturbances of the proximal end of the femur in the light of animal experiments / L. E. Laurent. – DOI 10.3109/17453675908988630 // *Acta Orthop. Scand.* – 1959. – № 28. – P. 255–261.

90. Lee, W. C. Guided Growth of the Proximal Femur for Hip Displacement in Children With Cerebral Palsy / W. C. Lee, H. K. Kao, W. E. Yang [et al.]. – DOI 10.1097/BPO.0000000000000480 // *J. Pediatr. Orthop.* – 2016. – № 5 (36). – P. 511–515.

91. Lloyd-Roberts, G. C. Trochanteric advancement for premature arrest of the femoral capital growth plate / G. C. Lloyd-Roberts, M. H. Wetherill, M. Fraser. – DOI 10.1302/0301-620X.67B1.3968136 // *J. Bone Joint Surg. Br.* – 1985. – № 1 (67). – P. 21–24.

92. Liu, X. C. Accuracy and reproducibility of a new method for measuring leg length discrepancies using stereo radiography / X. C. Liu, G. Fabry, G. Molenaers [et al.]. – PMID: 9496218 // *J. Pediatr. Orthop.* – 1998. – № 2 (18). – P. 187–189.

93. Lykissas, M. G. Guided growth for the treatment of limb length discrepancy: a comparative study of the three most commonly used surgical techniques / M. G. Lykissas, V. V. Jain, V. Manickam [et al.]. – DOI 10.1097/BPB.0b013e32836132f0 // *J. Pediatr. Orthop B.* – 2013. – № 4 (22). – P. 311–317.

94. MacEwen, W. The growth of bone. Observations on osteogenesis / W. MacEwen. – Glasgow : J. Maclehose & Sons, 1912.

95. Macnicol, M. F. Distal transfer of the greater trochanter / M. F. Macnicol, D. Makris. – DOI 10.1302/0301-620X.73B5.1894678 // *J. Bone Joint Surg. Br.* – 1991. – № 5 (73). – P. 838–841.

96. Maheshwari, R. Pelvic osteotomy techniques and comparative effects on biomechanics of the hip: a kinematic study / R. Maheshwari, S. S. Madan // *Orthopedics*. – 2011. – № 34. – P. 821–826.

97. Masquijo, J. J. Growth modulation with tension-band plates for the correction of paediatric lower limb angular deformity: current concepts and indications for a rational use / J. J. Masquijo, C. Artigas, J. de Pablos. – DOI 10.1302/2058-5241.6.200098. – PMID: 34532073. – PMCID: PMC8419796 // *EFORT Open Rev.* – 2021 Aug 10. – № 6 (8). – P. 658–668.

98. Matan, A. J. Combination trochanteric arrest and intertrochanteric osteotomy for Perthes' disease / A. J. Matan, P. M. Stevens, J. T. Smith, S. D. Santora. – DOI 10.1097/00004694-199601000-00003 // *J. Pediatr. Orthop.* – 1996. – № 1 (16). – P. 10–14.

99. Mavcic, B. Cumulative hip contact stress predicts osteoarthritis in DDH / B. Mavcic, A. Iglic, V. Kralj-Iglic [et al.] // Clin. Orthop. Relat Res. – 2008. – № 466. – P. 884–891.
100. McCarthy, J. J. Guided growth of the proximal femur: a pilot study in the lamb model / J. J. McCarthy, K. J. Noonan, B. Nemke, M. Markel. – DOI 10.1097/BPO.0b013e3181edef71 // J. Pediatr. Orthop. – 2010. – № 7 (30). – P. 690–694.
101. McCarthy, J. J. Greater trochanteric epiphysiodesis / J. J. McCarthy, D. S. Weiner. – DOI 10.1007/s00264-007-0346-5 // Int. Orthop. – 2008. – № 4 (32). – P. 531–534.
102. McGillion, S. Lateral growth arrest of the proximal femoral physis: a new technique for serial radiological observation / S. McGillion, N. M. Clarke. – DOI 10.1007/s11832-011-0339-1 // J. Child. Orthop. – 2011. – № 3 (5). – P. 201–207.
103. Mendes, D. G. Intertrochanteric osteotomy for degenerative hip disease. Indications / D. G. Mendes. – DOI 10.1097/00003086-197501000-00009 // Clin. Orthop. Relat Res. – 1975. – № 106. – P. 60–74.
104. Merchant, R. M. The Importance of Monitoring and Factors That May Influence Leg Length Difference in Developmental Dysplasia of the Hip / R. M. Merchant, J. J. Tolk, A. A. Ayub [et al.]. – DOI 10.3390/children9121945 // Children (Basel). – 2022. – № 9 (12). – P. 1945.
105. Métaizeau, J. P. Percutaneous epiphysiodesis using transphyseal screws (PETS) / J. P. Métaizeau, J. Wong-Chung, H. Bertrand, P. Pasquier. – PMID: 9600565 // J. Pediatr. Orthop. – 1998. – № 3 (18). – P. 363–369.
106. Mirovsky, Y. Residual shortening after osteotomy for Perthes' disease. A comparative study / Y. Mirovsky, A. Axer, D. Hendel. – DOI 10.1302/0301-620X.66B2.6707053 // J. Bone Joint Surg. Br. – 1984. – № 2 (66). – P. 184–188.
107. Murray, K. J. Leg length discrepancy and osteoarthritis in the knee, hip and lumbar spine / K. J. Murray, M. F. Azari. – PMID: 26500356 // J. Can. Chiropr. Assoc. – 2015. – № 3 (59). – P. 226–237.
108. Nouth, F. Percutaneous epiphysiodesis using transphyseal screws (PETS): prospective case study and review / F. Nouth, L. A. Kuo. – PMID: 15502577 // J. Pediatr. Orthop. – 2004. – № 6 (24). – P. 721–725.
109. O'Brien, T. The early identification and classification of growth disturbances of the proximal end of the femur / T. O'Brien, M. B. Millis, P. P. Griffin. – PMID: 3745260 // J. Bone Joint Surg. Am. – 1986. – № 7 (68). – P. 970–980.
110. Oestreich, A. E. The acrophysis: a unifying concept for enchondral bone growth disorders / A. E. Oestreich. – DOI 10.1007/s00256-003-0735-9 // Skeletal Radiol. – 2004. – № 3 (33). – P. 119–128.
111. Ogden, J. A. The pathology of neonatal osteomyelitis / J. A. Ogden, G. Lister. – PMID: 1128955 // Pediatrics. – 1975. – № 4 (55). – P. 474–478.

112. Ogilvie, J. W. Epiphysiodesis: evaluation of a new technique / J. W. Ogilvie. – PMID: 3958166 // J. Pediatr. Orthop. – 1986. – № 2 (6). – P. 147–149.
113. Oh, C. W. A radiological classification of lateral growth arrest of the proximal femoral physis after treatment for developmental dysplasia of the hip / C. W. Oh, S. Y. Joo, S. J. Kumar, G. D. Macewen. – DOI 10.1097/BPO.0b013e3181a5b09c // J. Pediatr. Orthop. – 2009. – № 4 (29). – P. 331–335.
114. Pang, H. Risk factors for femoral overgrowth after femoral shortening osteotomy in children with DDH / H. Pang, R. Guo, H. Zhuang [et al.]. – DOI 10.3389/fped.2023.1104014 // Front Pediatr. – 2023. – № 11. – P. 1104014.
115. Park, K. W. Can residual leg shortening be predicted in patients with Legg-Calvé-Perthes' disease? / K. W. Park, K. S. Jang, H. R. Song. – DOI 10.1007/s11999-013-3009-4 // Clin. Orthop. Relat Res. – 2013. – № 8 (471). – P. 2570–2577.
116. Pekmezci, M. Salter osteotomy: an overview / M. Pekmezci, M. Yazici // Acta Orthop Traumatol. Turc. – 2007. – № 41 (suppl. 1). – P. 90.
117. Pendleton, A. M. Guided growth for the treatment of moderate leg-length discrepancy / A. M. Pendleton, P. M. Stevens, M. Hung. – DOI 10.3928/01477447-20130426-18 // Orthopedics. – 2013. – Vol. 36, № 5. – P. e575–e580.
118. Phemister, D. B. Operative arrestment of longitudinal growth of bones in the treatment of deformities / D. B. Phemister // J. Bone Joint Surg. – 1933. – № 1 (15). – P. 1–15.
119. Pompe, B. Hip joint contact stress as an additional parameter for determining hip dysplasia in adults: Comparison with Severin's classification / B. Pompe, V. Antolic, B. Mavcic [et al.] // Med. Sci. Monitor. – 2007. – № 13. – P. 215–219.
120. Porat, S. Cure of the limp in children with congenital dislocation of the hip and ischaemic necrosis / S. Porat, G. C. Robin, C. B. Howard. – PMID: 8175855 // J. Bone Joint Surg. Br. – 1994. – № 3 (76). – P. 463–467.
121. Portinaro, N. Guided Growth of the Proximal Femur for the Management of Hip Dysplasia in Children With Cerebral Palsy / N. Portinaro, M. Turati, M. Cometto [et al.]. – DOI 10.1097/BPO.0000000000001069 // J. Pediatr. Orthop. – 2019. – № 8 (39). – P. e622–e628.
122. Ramseier, L. E. Minimal invasive epiphysiodesis using a modified "Canale"-technique for correction of angular deformities and limb leg length discrepancies / L. E. Ramseier, A. Sukthankar, G. U. Exner. – DOI 10.1007/s11832-008-0155-4 // J. Child. Orthop. – 2009. – № 1 (3). – P. 33–37.
123. Rivas, R. Structural stages in the development of the long bones and epiphyses: a study in the New Zealand white rabbit / R. Rivas, F. Shapiro. – DOI 10.2106/00004623-200201000-00013 // J. Bone Joint Surg. Am. – 2002. – № 1 (84). – P. 85–100.

124. Rosenbaum, D. G. MR Imaging in Postreduction Assessment of Developmental Dysplasia of the Hip: Goals and Obstacles / D. G. Rosenbaum, S. Servaes, E. A. Bogner [et al.]. – DOI 10.1148/rg.2016150159 // Radiographics. – 2016. – № 3 (36). – P. 840–854.
125. Salter, R. B. The first fifteen year's personal experience with innominate osteotomy in the treatment of congenital dislocation and subluxation of the hip / R. B. Salter, J. P. Dubos. – DOI 10.1097/00003086-197401000-00009. – PMID: 4817246 // Clin. Orthop. Relat. Res. – 1974 Jan-Feb. – № 98. – P. 72–103.
126. Schneidmueller, D. Surgical treatment of overgrowth of the greater trochanter in children and adolescents / D. Schneidmueller, C. Carstens, M. Thomsen. – DOI 10.1097/01.bpo.0000226281.01202.94 // J. Pediatr. Orthop. – 2006. – № 4 (26). – P. 486–490.
127. Seeber, E. Revalgisierung und Wachstumstendenz am proximalen Femur nach intertrochanteren Osteotomien = Recurrence of coxa valga and growth tendency of the proximal femur after intertrochanteric osteotomies / E. Seeber. – PMID: 999606 // Beitr. Orthop. Traumatol. – 1976 Jul. – № 7 (23). – P. 391–398. [German]
128. Shah, H. Effect of prophylactic trochanteric epiphyseodesis in Perthes' disease / H. Shah, N. D. Siddesh, B. Joseph, S. N. Nair. – DOI 10.1097/BPO.0b013e3181c1e943 // J. Pediatr. Orthop. – 2009. – № 8 (29). – P. 889–895.
129. Shin, C. H. Percutaneous medial hemi-epiphysiodesis using a transphyseal screw for caput valgum associated with developmental dysplasia of the hip / C. H. Shin, W. K. Hong, D. J. Lee [et al.]. – DOI 10.1186/s12891-017-1833-5 // BMC Musculoskelet Disord. – 2017. – № 18. – P. 451.
130. Siffert, R. S. Patterns of deformity of the developing hip / R. S. Siffert. – PMID: 7285414 // Clin. Orthop. Relat Res. – 1981. – № 160. – P. 14–29.
131. Stevens, P. M. Guided growth of the trochanteric apophysis combined with soft tissue release for Legg-Calve-Perthes disease / P. M. Stevens, L. A. Anderson, J. M. Gililland, E. Novais. – DOI 10.1007/s11751-014-0186-y // Strategies Trauma Limb Reconstr. – 2014. – № 1 (9). – P. 37–43.
132. Stevens, P. M. Coxa breva: pathogenesis and management / P. M. Stevens, S. S. Coleman. – DOI 10.1007/s11751-006-0003-3. – PMID: 4044808 // J. Pediatr. Orthop. – 1985. – № 5 (5). – P. 515–521.
133. Stevens, P. M. Guided growth: 1933 to the present / P. M. Stevens // Strat Traum Limb Recon. – 2006. – № 1. – P. 29–35.
134. Stephens, D. C. Epiphysiodesis for limb length inequality: results and indications / D. C. Stephens, W. Herrick, G. D. MacEwen. – PMID: 729301 // Clin. Orthop. Relat Res. – 1978. – № 136. – P. 41–48.
135. Stokes, I. A. Mechanical effects on skeletal growth / I. A. Stokes. – PMID: 15758453 // J. Musculoskelet Neuronal. Interact. – 2002. – № 2 (3). – P. 277–280.

136. Tallroth, K. Preoperative leg-length inequality and hip osteoarthritis: a radiographic study of 100 consecutive arthroplasty patients / K. Tallroth, M. Ylikoski, H. Lamminen, K. Ruohonen. – DOI 10.1007/s00256-004-0831-5 // *Skeletal Radiol.* – 2005. – № 3 (34). – P. 136–139.
137. Thomas, S. R. Outcome at forty-five years after open reduction and innominate osteotomy for late-presenting developmental dislocation of the hip / S. R. Thomas, J. H. Wedge, R. B. Salter // *J. Bone Joint Surg. Am.* – 2007. – № 89. – P. 2341–2350.
138. Tolk, J. J. Leg length discrepancy in patients with Perthes' disease / J. J. Tolk, D. M. Eastwood, A. Hashemi-Nejad. – DOI 10.1302/0301-620X.103B11.BJJ-2020-2583.R2 // *Bone Joint J.* – 2021. – № 103–B (11). – P. 1736–1741.
139. Tolk, J. J. The Development of Leg Length Difference in Developmental Dysplasia of the Hip / J. J. Tolk, R. Merchant, D. M. Eastwood [et al.]. – DOI 10.1007/s43465-021-00492-5 // *Indian J. Orthop.* – 2021. – № 6 (55). – P. 1568–1575.
140. Torode, I. P. Caput valgum associated with DDH: management by transphyseal screw fixation / I. P. Torode, J. L. Young. – DOI 10.1007/s11832-015-0681-9 // *J. Child. Orthop.* – 2015. – № 5 (9). – P. 371–379.
141. Tukenmez, M. Salter innominate osteotomy for treatment of developmental dysplasia of the hip / M. Tukenmez, G. Tezeren // *J. Orthop. Surg.* – 2007. – № 15. – P. 286–290.
142. Van Tongel, A. Epiphysiodesis of the greater trochanter in Legg-Calvé-Perthes disease: The importance of timing / A. Van Tongel, G. Fabry. – PMID: 16889142 // *Acta Orthop. Belg.* – 2006. – № 3 (72). – P. 309–313.
143. Vengust, R. Biomechanical evaluation of hip joint after Salter innominate osteotomy: a long-term follow-up study / R. Vengust, M. Daniel, V. Antolic [et al.] // *Arch Orthop Trauma Surg.* – 2001. – № 121. – P. 511–516.
144. Weinstein, J. N. Congenital coxa vara. A retrospective review / J. N. Weinstein, K. N. Kuo, E. A. Millar. – DOI 10.1097/01241398-198401000-00015 // *J. Pediatr. Orthop.* – 1984. – № 1 (4). – P. 70–77.
145. Weinstein, S. L. Developmental hip dysplasia and dislocation: Part II / S. L. Weinstein, S. J. Mubarak, D. R. Wenger. – PMID: 15116642 // *Instr. Course Lect.* – 2004. – № 53. – P. 531–542.
146. Weinstein, S. Congenital hip dislocation / S. Weinstein // *Clin. Orthop.* – 1992. – № 281. – P. 69–74.
147. Westh, R. N. A simple calculation for the timing of epiphysial arrest: a further report / R. N. Westh, M. B. Menelaus. – P. 117–119. – DOI 10.1302/0301-620X.63B1.7204464 // *J. Bone Joint Surg. Br.* – 1981. – № 63–B (1).

148. Westin, G. W. Total avascular necrosis of the capital femoral epiphysis in congenital dislocated hips / G. W. Westin, F. W. Ilfeld, J. Provost. – PMID: 954329 // Clin. Orthop. Relat Res. – 1976. – № 119. – P. 93–98.
149. Yoon, C. Overgrowth of the lower limb after treatment of developmental dysplasia of the hip / C. Yoon, C. H. Shin, D. O. Kim [et al.]. – DOI 10.1080/17453674.2019.1688485 // Acta Orthop. – 2020. – № 2 (91). – P. 197–202.
150. Zadeh, H. G. Test of stability as an aid to decide the need for osteotomy in association with open reduction in developmental dysplasia of the hip / H. G. Zadeh, A. Catterall, A. Hashemi-Nejad, R. E. Perry. – DOI 10.1302/0301-620x.82b1.9618 // J. Bone Joint Surg. Br. – 2000. – № 1 (82). – P. 17–27.
151. Zakrzewski, A. M. Proximal Femoral Screw Hemiepiphysiodesis in Children With Cerebral Palsy Improves the Radiographic Measures of Hip Subluxation / A. M. Zakrzewski, J. R. Carl, J. J. McCarthy. – DOI 10.1097/BPO.0000000000002152 // J. Pediatr. Orthop. – 2022. – № 6 (42). – P. e583–e589.
152. Zucker, E. J. Hip disorders in children / E. J. Zucker, E. Y. Lee, R. Restrepo, R. L. Eisenberg. – DOI 10.2214/AJR.13.10623. – PMID: 24261385 // AJR Am. J. Roentgenol. – 2013 Dec. – № 6 (201). – P. W776–796.